7.ULUSLARARASI

Gaziantep

Bilimsel Araştırmalar Kongresi

12-13 EYLÜL 2026

GAZİANTEP

EDİTÖRLER;

Prof. Dr. Mustafa METE

Assoc. Prof. Dr. İlker GÜNEL

www.isarcacademy.com

KONGRE KİTABI

İKSAD Publishing House

ISARC Academy

INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

INTERNATIONAL **GAZİANTEP** SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS-VII

September 12-13, 2026 GAZİANTEP, TÜRKİYE

PROCEEDINGS BOOK

EDITOR

Prof. Dr. Mustafa METE
Assoc. Prof. Dr. İlker GÜNEL

by
IKSAD PUBLISHING HOUSE®

All rights of this book belong IKSAD Publishing House
Authors are responsible both ethically and juridically
IKSAD Publications – 2026©
Issued: 24.09.2026

ISBN: '978-625-378-727-1'

CONGRESS ID

CONGRESS TITLE
INTERNATIONAL GAZİANTEP SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS-VII

DATE and PLACE
SEPTEMBER 12-13 GAZİANTEP / TÜRKİYE

PARTICIPATION
Keynote & Invited

PARTICIPANTS COUNTRY
Türkiye,

CONGRESS PRESIDENT
Prof. Dr. Mustafa METE
Gaziantep University

GENERAL COORDINATOR
Melike KAYA
ISARC Academy,Türkiye

NUMBER of ACCEPTED PAPERS- (Türkiye-67 , Other Countries-72)

'Compliance With Publication Ethics İs The Sole Responsibility Of The Authors; Accordingly, They Bear Both Ethical And Legal Accountability'

ORGANIZING COMMITTEE:

Prof. Dr. Cenk YAVUZ

Prof. Dr. Mahire HÜSEYNOVA

Prof. Dr. İbrahim BAYRAMOV

Prof. Dr. Hilmi YÜCEL

Prof. Dr. Mehmet DEMİR

Assoc. Prof. Dr. Ahmet AKKÖSE

Assoc. Prof. Dr. Başak Gül AKAR

Assoc. Prof. Dr. Caner YERLİ

Assoc. Prof. Dr. Çiğdem BOGENÇ

Assoc. Prof. Dr. Elif Feyza TOPDAŞ

Assoc. Prof. Dr. Erhan ERDEL

Assoc. Prof. Dr. Filiz RANDA ZELYÜT

Assoc. Prof. Dr. Gamze Ebru ÇİFTÇİ

Assoc. Prof. Dr. Gönül HASANOVA

Assoc. Prof. Dr. Hüseyin Murat IŞIK

Assoc. Prof. Dr. Orhan TURAN

Dr. Abdullah ATILGAN

Dr. Canan TERCAN

Dr. Elvan CAFEROV

Dr. Fatma AZİZOĞLU

Dr. Gönül GÖKÇAY

SCIENTIFIC AND ADVISORY BOARD:

Prof. Dr. Adil AKINCI
Bilecik Şeyh Edebali University

Prof. Dr. Ahmet AKKÖSE
Atatürk University

Prof. .Dr. Aparna SRIVASTA
Noida International University

Prof. Dr. Ahmet Niyazi ÖZKER
Bandırma Onyedi Eylül University

Prof. Dr. Ali AKİL
Saiyed Parul University

Prof. Dr. Ali OKATAN
İstanbul Aydın University

Prof. Dr. Anvar ABBASOV
Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti

Prof. Dr. Anwar Ali Shah G. SYED
University Of Sindh Jamshoro

Prof. Dr. Asım KAYGUSUZ
Inonu University

Prof. Dr. Arif BABANLI
Süleyman Demirel University

Prof. Dr. Cengiz SARIKÜRKCÜ
Afyonkarahisar University

Prof. Dr. Cenk YAVUZ
Sakarya University

Prof. Dr. Ekrem Yaşar AKÇAY
Süleyman Demirel University

Prof. Dr. Emrullah FATİŞ
Kırşehir Ahi Evran University

Prof. Dr. Faiz Muhammad SHAİKH
Sindh Agriculture University Tando Jam

Prof. Dr. Gülçin YAHYA KAÇAR
Ankara Hacı Bayram Veli University

Prof. Dr. Hasan Hüseyin DOĞAN
Selçuk University

Prof. Dr. Hazim Abd Mohammed ALJEWAREE
Alkıtab University

Prof. Dr. Halil BOLU
Dicle University

Prof. Dr. Haluk ÖZPARLAK
Selçuk University

Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK
Gaziantep University

Prof. Dr. Gülsen ASMAN
Gazi University

Prof. Dr. Ivan PAVLOVİC
Scientific Institute of Veterinary Medicine of Serbia

Prof. Dr. İbrahim BAYRAMOV
Azerbaycan Devlet Pedagoji University

Prof. Dr. İshak KESKİN
İstanbul University

Prof Dr. Manole COJOCARU
Carol Davıla University

Assoc. Prof. Dr. Eda ÖZ ÇELİKBAŞ
Karabük University

Assoc. Prof. Dr. Erhan ERDEL
Iğdır University

Assoc. Prof. Dr. Fariz AHMADOV
Azerbaycan Devlet İktisat University

Assoc. Prof. Dr.Fouzia BENOUDJIT
M'hamed Bougara university, Boumerdes, Algeria/Materials Science and Engineering

Assoc. Prof. Dr. Faruk KALAY
Yüzüncü Yıl University

Assoc. Prof. Dr. Gönül SAMEDOVA
Azerbaycan Devlet Pedagoji University

Assoc. Prof. Dr. Kalsoom TARIQ
Khyber Girls Medical Collage

Assoc. Prof. Dr. Naseem AKHTER
Shaheed Benazir Bhutto Women University

Assoc. Prof. Dr. Nursen IŞIK

Dicle University

Assoc. Prof. . Dr. Orhan TURAN
Batman University

Assoc. Prof. Dr. Özlem GÜNDOĞDU AYTAÇ
Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Özlem KAYA
Uşak University

Assoc. Prof. Dr. Reyhan DADAŞOVA
Azerbaycan Bakü Biznes University

Assoc. Prof. Dr. Rozina KHATTAK
Shaheed Benazir Bhutto Women University

Assoc. Prof. Dr. Seyfaddin JAFAROV
Nakhchivan State University/AZERBAIJAN

Assoc. Prof. Mulıkat Folashade USMAN
Usmanu Danfodıyo Unıversıty

Asst.Prof.Dr. Ferhat ATİK
Girne Amerikan Üniversitesi

Dr. Ajay B. GADİCHA
Sant Gadge Baba Amravati University

Dr. Andaç Kutay SAKA
Ordu University

Dr. Aqil MEMMEDOV
Azerbaycan Devlet İktisat University

Dr. Aynure Eliyeva
Azerbaycan Devlet Pedaqoji Universiteti

Dr. Babak SAFAEI
Tsinghua University

Dr. E. Vildan BURGAZ
Doğu Akdeniz Üniversitesi/KKTC

Dr. Elşen MEMMEDLİ
Azerbaycan Devlet İktisat University

Dr. Faisal SULTAN
Hazara University

Dr. Ghanshyam BARMAN
Uka Tarsadia University

Dr. Gülnar MİRZEYEVA
Azerbaycan Devlet İktisat University

Dr. Gülşen MEHERREMOVA
Azerbaycan Diller University

Dr. Hassan ZARIOUH
Mohammed First University

Dr. Iram Liaqat AWAN
Government College University

Dr. Irina-Ana DROBOT
Technical University of Civil Engineering
Bucharest, Romania

Dr. Joanna HERNİK
West Pomeranian University of Technology

Dr.Tasawar IQBAL
Riphah International University

Dr.B.Mahadevan
Annamalaı Unıversıty

Dr. Ramshin Rahiman
University Of Hyderabad

Dr. S. Kalaiselvan
Rathinam Technical Campus, Coimbatore, Tn, India

Dr. Tegegne Getachew Legass
Mekdela Amba University (MAU), Ethiopia

Dr. Khadija Oumghar
Hassan II University

Dr.Saimah Khan
Integral University, India

Scientific Development and Innovative Approach

*INTERNATIONAL **GAZİANTEP***
SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS-VII

SEPTEMBER 12-13, 2026 Gaziantep, Türkiye

Congress Program

Participant Countries:

Türkiye,Albania,Algeria,Azerbaijan,Bangladesh,Belarus,Brazil,Cambodia,France, Georgia,India,Kazakhistan,Malaysia,Makedonia,Moldova,Morocco,Serbia,Nigeria, Romania,Russia,Pakistan,Palestine,Ukraine,Vietnam

Meeting ID: 833 5604 7033

Passcode: 873221

ZOOM LINK:

https://us06web.zoom.us/j/83356047033?pwd=aYRkWWYaSabXawApXkwGfY5V6V3e03.1

IMPORTANT, PLEASE READ CAREFULLY

To be able to make a meeting online, login via **https://zoom.us/join** site, enter ID instead of “Meeting ID or Personal Link Name” and solidify the session. The presentation will have **15 minutes** (including questions and answers). The Zoom application is free and no need to create an account. The Zoom application can be used without registration. The application works on tablets, phones and PCs. Speakers must be connected to the session **10 minutes before** the presentation time. All congress participants can connect live and listen to all sessions. During the session, your camera should be turned on at least %70 of session period. Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session.

TECHNICAL INFORMATION

Make sure your computer has a microphone and is working. You should be able to use screen sharing feature in Zoom. Attendance certificates will be sent to you as pdf at the end of the congress. Moderator is responsible for the presentation and scientific discussion (question-answer) section of the session. **Before you login to Zoom please indicate your name surname and hall number, exp. Hall-1, Fatih KARİPOĞLU**

ÖNEMLİ, DİKKATLE OKUYUNUZ LÜTFEN

Kongremizde Yazım Kurallarına uygun gönderilmiş ve bilim kurulundan geçen bildiriler için online (video konferans sistemi üzerinden) sunum imkanı sağlanmıştır. Sunumlar için **15 dakika** (soru ve cevaplar dahil) süre ayrılmıştır. Online sunum yapabilmek için **https://zoom.us/join** sitesi üzerinden giriş yaparak “Meeting ID or Personal Link Name” yerine ID numarasını girerek oturuma katılabilirsiniz. Zoom uygulaması ücretsizdir ve hesap oluşturmaya gerek yoktur. Zoom uygulaması kaydolmadan kullanılabilir. Uygulama tablet, telefon ve PC’lerde çalışıyor. Her oturumdaki sunucular, sunum saatinden **10 dk öncesinde** oturuma bağlanmış olmaları gerekmektedir. Tüm kongre katılımcıları canlı bağlanarak tüm oturumları dinleyebilir. Moderatör – oturumdaki sunum ve bilimsel tartışma (soru-cevap) kısmından sorumludur.

TEKNİK BİLGİLER

Bilgisayarınızda mikrofon olduğuna ve çalıştığına emin olun. Zoom'da ekran paylaşma özelliğine kullanabilmelisiniz. Katılım belgeleri kongre sonunda tarafınıza pdf olarak gönderilecektir. Kongre programında yer ve saat değişikliği gibi talepler dikkate alınmayacaktır. **Zoom'a giriş yaparken önce lütfen adınızı, soyadınızı ve SALON numaranızı yazınız, Örnek: Hall-1, Fatih KARİPOĞLU**

13.09.2026/ Hall-1, Session-1

Ankara Local Time

10 00 : 12 00

Meeting ID: 833 5604 7033

Passcode: 873221

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. İlker GÜNEL

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Algorıthmıc Management In Sport Organızatıons: Managerıal And Ethıcal Dımensıons Of Aı-Assısted Decısıons	Assoc. Prof. Dr. İlker GÜNEL	Osmaniye Korkut Ata University
Resistance To Digital Transformation İn Sport Organizations: Leadership, Organizational Culture, And Technology Acceptance	Assoc. Prof. Dr. İlker GÜNEL	Osmaniye Korkut Ata University
An Examination Of The Film “Strings Of Sorrow” In Terms Of Attitudes Towards Individuals With Disabilities	Assoc. Prof. Dr. Nisa Gökden KAYA	Hitit University
Chrısty Brown’s Struggle To Overcome Obstacles With Hıs Left Foot	Assoc. Prof. Dr. Nisa Gökden KAYA	Hitit University
The Relatıonshıp Between Teacher Self-Efficacy And Job Satısfactıon In Physıcal Educatıon And Sports Teachers: An Examınatıon In Terms Of Gender And Instıtutıonal Varıables	Assist. Prof. Dr. Özlem EKİZOĞLU	Erzincan Binali Yıldırım University
The Place Of The Neurophysiology Of Unsafe Behaviors In Biopsychosocial Prevention Strategıes	Lect. Dr. Fatih Mehmet ATEŞ	Bayburt University
The Relatıonshıp Of Flexıbılıty And Statıc Balance Wıth Kıck Reach Dıstance In Taekwondo Athletes	Lect. Dr. Deniz GÜNAY DEREBAŞI Prof. Dr. Tülin AKMAN Assoc. Prof. Dr. Şaban ÜNVER	Ondokuz Mayıs University
Investıgatıon Of The Effect Of Two-Wheeled Vehıcle Use On Statıc Balance Performance	Lect.. Dr. Deniz GÜNAY DEREBAŞI Prof. Dr. Tülin AKMAN Assoc. Prof. Dr. Şaban ÜNVER	Ondokuz Mayıs University

Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics

13.09.2026/ Hall-2, Session-1

Ankara Local Time

10 00 : 12 15

Meeting ID: 833 5604 7033

Passcode: 873221

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Mehmet KAPLAN

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
The Potentıal Of Predatory Arthropods For Bıologıcal Control In Pest Management Of Agrıcultural Ecosystems	Prof. Dr. Mehmet KAPLAN	Siirt University
Effects Of Industrıal Pollutıon On Arthropoda	Prof. Dr. Mehmet KAPLAN	Siirt University
Process Improvement In Livestock Operations: The Lean Six Sigma Methodology In Herd Management And Feeding Practices	Yılmaz GÖKSU Assoc. Prof. Dr. İrfan ÖZTÜRK Assist. Prof. Dr. Cansu ÇELİK	Harran University/Gaziantep University
2023-2027 Dönemi İçin İran'da Koyun Eti Üretim Tahminleri	Gülsüm DEMİR Ahmet Semih UZUNDUMLU	Atatürk University
Yeni Zelanda'da 2023-2027 Yıllarına Dair Koyun Eti Üretim Projeksiyonu	Gülsüm DEMİR Ahmet Semih UZUNDUMLU	Atatürk University
Use Of Anthocyanins In Food Systems: Stability Challenges And Next-Generation Protection Technologies	Assist. Prof. Dr. Zehra GUNEL	Osmaniye Korkut Ata University
Upcycling In The Food Industry: From By-Products To Next- Generation Functional Ingredients	Assist. Prof. Dr. Zehra GUNEL	Osmaniye Korkut Ata University
A Prelımınary Revıew And Evaluatıon On The Efect Of Cherry Stem	Assist. Prof. Dr. Elif GÜLLÜ	Gaziantep University
A Prelımınary Revıew And Evaluatıon On The Efect Of Celery Juıce	Assist. Prof. Dr. Elif GÜLLÜ	Gaziantep University

Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics

13.09.2026/ Hall-3, Session-1

Ankara Local Time		Meeting ID: 833 5604 7033	
$10^{00} : 12^{00}$		Passcode: 873221	

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Ferit YÜCEBAŞ

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Mınor Polıtıcs And Palestıne	Assist. Prof. Dr. Cihan PALANCI	Munzur University
Lıabılıty For Statutory Attorney's Fees In Enforcement Proceedıngs: Legal Consequences Of Payment Before And After Commencement Of Enforcement	Vedat ÇALIŞKAN	Erciyes University
The Assyrıan Questıon On The Türkıye-Iraq Border: Settlement Efforts And Türkıye's Securıty Concerns (1932-1937)	Assoc. Prof. Dr. Ferit YÜCEBAŞ	Van Yüzüncü Yıl University
The Social And Historical Background Of Lineage Bifurcation As Reflected In The Alevi Collective Memory Of The Seth Myth	Assist. Prof. Dr. Hulusi YILMAZ	Nevşehir Hacı Bektaş Veli University
Dıgıtalızatıon And Adolescent Delınquency: A Comparatıve Qualıtatıve Study Of Hıgh School Students And Juvenıles Drawn Into Delınquency In Konya	Assist. Prof. Dr. Hurigül EKEN	Selçuk University
Turkıye's Posıtıon In The Internatıonal Press In The Context Of The Us – Iran War	Lecturer Burcu AKDEMİR Prof. Dr. Aslı YURDİGÜL	Ataturk University
Bıblıometrıc Analysıs Of Academıc Studıes On Aı-Supported News Productıon	Nergis Gizem KIZILÇİM Prof. Dr. Aslı YURDİGÜL	Ataturk University
Features Of Renal And Lumbar Hemodynamics During Muscle Contraction And After Coffee Intake In Students	Ruslan SHEVERDIN Assoc. Prof. Dr. Victor KAZAKEVICH	Belarusian State University/BELARUS

Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics

13.09.2026/ Hall-4, Session-2

Ankara Local Time

10 30 : 11 45

Meeting ID: 833 5604 7033

Passcode: 873221

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Semra TETİK

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
An Examination Of Second-Grade Students' Perceptions Of The Concept Of Empathy İn Social Studies Through Metaphors	Demet ÖZTEPE Assoc. Prof. Dr. Nur ÜTKÜR GÜLLÜHAN	İstanbul University- Cerrahpaşa
An Analysıs Of Prımary School Pupıls' Storıes Wıthın The Framework Of Trends In The Tymm Lıfe Skılls Currıculum	Demet ÖZTEPE Assoc. Prof. Dr. Nur ÜTKÜR GÜLLÜHAN	İstanbul University- Cerrahpaşa
A Study On The Crıtıcal Thınkıng Skılls Of Generatıon Z	Assoc. Prof. Dr. Semra TETİK	Manisa Celal Bayar University
An Examınatıon Of The Relatıonshıp Between Unıversıty Students' Empathy Skılls And Theır Envıronmental Awareness	Assoc. Prof. Dr. Semra TETİK	Manisa Celal Bayar University
Research On Determining Students' Vocabulary In Türkiye: A Systematic Review Of The 2000–2025 Period	Dr. Mehmet TÜRKYILMAZ	Milli Eğitim Bakanlığı, Cumhuriyet Ortaokulu

Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics

13.09.2026/ Hall-5, Session-2

Ankara Local Time

10 30 : 12 15

Meeting ID: 833 5604 7033

Passcode: 873221

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Bülent KURT

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Fınıte Element Analysıs And Structural Verıfıcatıon Of A Laboratory-Scale Rotary Feedstock Feedıng System For Addıtıve Frıctıon Stır Depositıon	Ege ERTEK Çağrı TAVŞANCI Assist. Prof. Dr. Özgür POYRAZ	Eskişehir Technical University
Optımızatıon Of Process Parameters In The Projectıon Weldıng Of Axle Lıft Bellows Plate Part Usıng The Fınıte Element Method And Taguchı Experımental Desıgn	Sezgin KABAHASAN Berkan HASDEMİR Arif Çobanoğlu Prof. A. Alper Özalp	Şahince Otomotiv San. ve Tic. A.Ş./Uludağ University
Predıctıon Of Drag Force In A Catamaran Floater Model Usıng Artıfıcıal Neural Networks	Assist. Prof. Dr. Bülent KURT	Balıkesir University/Edremit Civil Aviation College
Tradıtıonal Materıal Use And Constructıon Systems In Hıstorıcal Houses Of Gumushane: The Akagün House Example	Lect. Dr. Özgül DEMİRAĞ	Gumushane University
Comparatıve Structural Analysys Of Alternatıve Floorıng Systems In The Reconstructıon Of A Hıstorıcal Buıldıng	Lect. Dr. Özgül DEMİRAĞ	Gumushane University
Adaptıng Tradıtıonal Carpet Motıfs To Contemporary Carpet Desıgn Through A Cubıst Approach	Betül TURAN Ece Nisa ÇELİK Assist. Prof. Dr. Gülbin FİDAN	Gaziantep University /Dokuteks Tekstil (Koza Halı Tasarım Merkezi)
Adaptatıon Of Wabı-Sabı Aesthetıcs To Contemporary Carpet Desıgn	Ece Nisa ÇELİK Betül TURAN Assist. Prof. Dr. Gülbin FİDAN	Gaziantep University /Dokuteks Tekstil (Koza Halı Tasarım Merkezi)

Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics

13.09.2026/ Hall-6, Session-2

Ankara Local Time

10 30 : 11 30

Meeting ID: 833 5604 7033

Passcode: 873221

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Aliye YILMAZ

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
A General Assessment Of The Hüveydâ Divan İn Chagatai Literature	Assist. Prof. Dr. Aliye YILMAZ	Süleyman Demirel University
The Ewer In Omar Khayyam's Rubaiyat: The Relationship Between Humanity And Earth	Assist. Prof. Dr. Aliye YILMAZ	Süleyman Demirel University
The Narrativization of Anger and Character Typology: A Rhetorical Approach to the Masnavi	Dr. Oğuz Çetin	Bağımsız Araştırmacı
Bıblıometrıc And Thematıc Analysıs Of Artıcles On Islamıc Law Publıshed In Dergiabant Journal (2013–2026)	Prof. Dr. Said Nuri AKGÜNDÜZ Assoc. Prof. Dr. Cemalettin ŞEN Assoc. Prof. Dr. Seyyid SANCAK Assoc. Prof. Dr. Murat KOBYA Assoc. Prof. Dr. Murat TARHAN Assist. Prof. Dr.Yasin GÖKGÖZ	Bolu Abant İzzet Baysal University

Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics

13.09.2026/ Hall-7 Session-3

Ankara Local Time

10 30 : 12 15

Meeting ID: 833 5604 7033

Passcode: 873221

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Ertürk KARAAĞAÇ

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
The Effect Of Structured Health Counseling After Coronary Artery Bypass Surgery On Lifestyle And Risk Factor Management In The First Postoperatiie Year	Assist. Prof. Dr. Ertürk KARAAĞAÇ	Izmir Katip Celebi University
Mıcrobıologıcal Knowledge And Its Implıcatıons For Isolatıon Precautıons In Nursıng Practıce	Assist. Prof. Dr. Sevil YILMAZ Lect. Dr. Ozge OZTUNA ARAS	Izmir Katip Celebi University
Antimikrobiyal Direncin Önlenmesi Ve Kontrolünde Hemşirenin Rolü	Lect. Dr. Ozge OZTUNA ARAS Assist. Prof. Dr. Sevil YILMAZ	Izmir Katip Celebi University
Organizational Silence In Health Institutions: A Literature Review On The Causes, Organizational Factors And Consequences	Fatma İVERENDİ TÜRKMEN Assist. Prof. Dr. Mustafa METE	İstanbul Aydın University
Bacteriophage-Based Therapeutic Approaches For Multidrug-Resistant Infections	Eczacı Nadia MOHAMMADİAN Eczacı Melisi SALOOR Assoc. Prof. Dr. Pınar MURSALOĞLU KAYNAR	Ankara Medipol University
Bacterıologıcal Spectrum And Antımıcrobıal Susceptıbılıty Profıles Of Bacterıal Isolates From Sterıle Body Fluıds In A Tertıary Care Hospıtal In Mogadıshu, Somalıa: A Retrospectıve Study	Uzman Dr. Serpil DOĞAN	Necip Fazıl Şehir Hospital
Childhood Trauma And Psychological Resilience In Late Adolescents With Substance Use Disorder	Kübra GÜNER Asst. Prof. Dr. İbrahim KARAKAYA Prof. Dr. Mustafa Kayhan BAHALI	Nevsehir Private Cappadocia Hospital/Private Psychiatric Practice

Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics

13.09.2026/ Hall-8, Session-3

Ankara Local Time

11 00 : 12 30

Meeting ID: 833 5604 7033

Passcode: 873221

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Ahmet DURGUNGÖZ

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Global Agricultural Policies In The Age Of Artificial Intelligence	Assist. Prof. Dr. Savaş NALİNCİ	Amasya University
Öğretmen Eğitiminde Bir Yapay Zekâ Okuryazarlığı Modülünün Tasarımı: Tasarım Kararları Ve Uygulamadan Çıkarımlar	Assist. Prof. Dr. Ahmet DURGUNGÖZ	Mersin University
Assessment Of Flıght Tıme Budget And Coverage Effıcıency In Unmanned Aerıal Vehıcle Image Collectıon Studıes	Fadiş Rabia YILDIRIM Fatma YILDIRIM DALKIRAN Mehmet KONAR	Erciyes University
Socıal Medıa As An Ideologıcal State Apparatus: A Multımodal Crıtıcal Dıscourse Analysıs Of The Instagram Posts Of The Mınıstry Of Famıly And Socıal Servıces Of Türkiye	Res. Assist. Burak ÖZDEMİR	Bahçeşehir University
Modularity In Education	Hidayatova Firangiz Shahmurad gizi	Azerbaijan State Pedagogical University/AZERBAİJAN
Characteristics Of The Levels Of Problem-Based Learning And Its Role In The Educational Process	Hidayatova Firangiz Shahmurad gizi	Azerbaijan State Pedagogical University/AZERBAİJAN

Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics

13.09.2026/ Hall-9 Session-3

Ankara Local Time

11 00 : 12 30

Meeting ID: 833 5604 7033

Passcode: 873221

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr Yasemin ÜSTÜNDAĞ

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Exploratory Analysıs Of Braınstem Proteomıc Patterns Associated Wıth Adenosıne A2a Receptor Blockade Durıng Chronıc Hypoxıa	Dr.Seher Berna KIRDÖK-TANSU Mustafa Burak ACAR Kemal Erdem BAŞARAN	Ankara University/Osmaniye Korkut Ata University/Erciyes University
The Effect Of Ferulıc Acıd On The Vıabılıty And Mıgratıon Of SH-SY5Y Neuroblastoma Cells	Assist. Prof. Dr. Çiğdem KARACA Assist. Prof. Dr Nihal ÜREN Assist. Prof. Dr Mustafa ÖZTATLICI Assist. Prof. Dr Seçil EROĞLU Prof. Dr. Mehmet YÜNCÜ Assist. Prof. Dr Ayşegül Burçin YILDIRIM Dr.Öğr.Üyesi Nilgün OKŞAK	Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji University /Hoca Ahmat Yesevi Turkish-Kazakh University/Harran University /KAZAKHİSTAN
Cyp24a1 Rs1570669 Ve Rs2762934 Polimorfizmleri İle Mesane Kanseri Yatkınlığı Arasındaki İlişki: Türk Toplumunda Bir Olgu-Kontrol Çalışması	Hasan Sulhan Assist. Prof. Yakup AKKOÇ Ersin Akgöllü	Adıyaman University Ardahan University /Ağrı İbrahim Çeçen University
The Effect of Damnacanthal on Cell Viability in A549 Lung Adenocarcinoma Cells	Uzm. Dr. Manolya Sancaktar Assoc. Prof. Dr. Nuray Bostancıeri Assist. Prof. Dr Çiğdem Karaca	Gaziantep University/Gaziantep Islam Science and Technology University/Gaziantep City Hospital
Callus Inductıon in Rheum ribes L. Naturally Growıng in Van Provınce	Assist. Prof. Dr Metin KOÇAK	Van Yüzüncü Yıl University
Non-Invasıve Age Estımatıon In Dogs Based On Radıographıc And Tomographıc Dental Pulp Ratıos	Assist. Prof. Dr Yasemin ÜSTÜNDAĞ	Dokuz Eylül University

Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics

13.09.2026/ Hall-10, Session-3			
Ankara Local Time 11 00 : 12 15		Meeting ID: 833 5604 7033 Passcode: 873221	
HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Mustafa GÜLER			
TOPIC TITLE		**AUTHORS**	**AFFILIATION**
Fragmentation And Sea Connection Of A Lagoon Barrier: Analysis Of Liman Lagoon In The Kızılırmak Delta Using A Sentinel-2 Time Series (2017–2026)		Assoc. Prof. Dr. Mustafa GÜLER	Ondokuz Mayıs University
Temporal Change In Woody Cover Of The Kızılırmak Delta Floodplain Forest And The Effect Of Classification Method On The Results (1985-2025)		Assoc. Prof. Dr. Mustafa GÜLER	Ondokuz Mayıs University
Black Envıronmentalısm In The Context Of Envıronmental Injustıce: A Theoretıcal Assessment		Assist. Prof. Dr. Filiz ASLAN	Mardin Artuklu University
The Paradox of Artificial Intelligence and Job Satisfaction in the Workplace: A Conceptual Approach		Asst. Prof. Dr. Enes Uğur TOHUM	Kastamonu University
Role Of Human Capıtal In Ensurıng Green Economıc Growth		Assist.Prof. Dr. Mohammad Nadimur RAHMAN	Niğde Ömer Halisdemir University
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics			

13.09.2026/ Hall-11 Session-3

Ankara Local Time

11 00 : 12 15

Meeting ID: 833 5604 7033

Passcode: 873221

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Mehmet Ersin AYTEKİN

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Pouch-Cell Study Of Additive-Enhanced Pegda/Dtmpta Gel Polymer Electrolytes For Long-Life And High-Voltage Lithium-Ion Batteries	Assist. Prof. Dr. Gulsah YAMAN UZUNOGLU	Istanbul Health and Technology University
Chalcogenide Materials For Energy Storage And Catalytic Applications	Lect. Dr. Fahriye SARI	Selcuk University
Heterojunction Engineering In Graphitic Carbon Nitride-Based Nanocomposites: Energy And Environmental Applications	Lect. Dr. Fahriye SARI	Selcuk University
Finite Element Analysis Of Two Chisel Plough Shank Designs Using Different Steel Materials	Assist. Prof. Dr. Medet İTMEÇ	Çukurova University
The Role Of Nano-Sized Zn Substituting In Strontium Sites On Flux Pinning Properties	Assist. Prof. Dr. Mehmet Ersin AYTEKİN	Tarsus University

Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics

13.09.2026/ Hall-1 Session-4

Ankara Local Time

11 30 : 13 30

Meeting ID: 833 5604 7033

Passcode: 873221

HEAD OF SESSION: Dr.S.Selvam

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Fuzzy Uncertainty Propagation and Finite-Time Tangent Dynamics in a -Caputo Lorenz System	Mohamed OUALD-MOUNTI Aziz EL GHAZOUANI Hamid SADIKI	Sultan Moulay Slimane University/MOROCCO
Adaptive AI in Video Games	B. KOPIKA Dr.S.Selvam	Nadar Mahajana Sangam S. Vellaichamy Nadar College
AI in Sports Performance and Injury Prevention	J.Jeyavarshana Dr.S.Selvam	Nadar Mahajana Sangam S. Vellaichamy Nadar College
Epıgenetıc Regulatıon In Breast Cancer: Emergıng Mechanısms And Therapeutıc Opportunıtıes	Maroua RIAD , Ahmad AL-SHAMI, Jamal MABROUKI	Mohammed V University
Use Of Artificial İntelligence For Medication Adherence Assessment İn Patients With Type 2 Diabetes: An Exploratory Study İn Morocco Using Chatgpt And The Validated General Medication Adherence Scale	Maryem Arraji , Mohamed Khalis, Mohamed Chahboune	Hassan First University/ Mohammed V University/
Adaptıve Agentıc Aı Systems For Autonomous Decısıon-Makıng In Dynamıc Computıng Networks	Moses Adeolu AGOI Samuel Olayiwola AJAGA Olajuwon Victor OLAYINKA Oluwanifemi Opeyemi AGOI	Obafemi Awolowo University/ Lagos State University of Education/Nigeria.
Epıdemıology And Molecular Characterızatıon Of Eımerıa Specıes Infectıng Poultry In Selected Dıstrıcts Of Central Punjab, Pakıstan	Sundas Afresham	University of Agriculture/PAKİSTAN
Implementation and Challenges of Education Governance in Autonomous Public Schools: A Case Study of New Generation Schools in Phnom Penh, Cambodia	Dr. Robraw ANN	National Institute of Education Phnom Penh, CAMBODİA

Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics

13.09.2026/ Hall-2 Session-4

Ankara Local Time

11 30 : 13 30

Meeting ID: 833 5604 7033

Passcode: 873221

HEAD OF SESSION: EKENE ERIC NNAEMEKA

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
AI-Powered Diagnosis vs Traditional Medical Diagnosis	F.Joshwa Santhosh B.Ameer Raffi Dr. S. Selvam	Nadar Mahajana Sangam S.Vellaichamy Nadar College
Heart Failure Mortality Prediction Using Machine Learning: A Comprehensive Framework With Explainable Ai	Sajida Afrin Sinha, Akmal Ahmmed, Md Touhidul Islam Rahat	Sher-E-Bangla Medical College/Aviation and Aerospace University/Green University of Bangladesh/BANGLADESH
Enhancing General Security and Minimizing Proxy through RFID Embedded ID card in the University of Abuja	EKENE ERIC NNAEMEKA AKANBI BELLO MUHAMMED PhD	University of Abuja, Nigeria
Design and Green Synthesis of Novel 1,2,3-Triazole-Based Hybrid Molecules: Integrated Computational Drug Discovery and Biological Evaluation Against Drug-Resistant Pathogens	Ummy Rubab , Muhammad Ibrahim, Irfa sakandar, Athar Javed	Government College University/PAKİSTAN
Influence Of Time-Dependent Dispersion And Periodic Initial Distributions On Solute Transport İn Heterogeneous Fluid-Saturated Porous Media	Ravi Shankar Singh Pintu Das	Sarala Birla University/INDİA
Designing Beyond Compliance: Integrating Evidence Based Architecture Into Healthcare Regulatory Frameworks In Punjab, Pakistan	Ar. Rida Zahra, Prof. Dr. Fariha Tariq, Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti, Dr. Ali Arsal, Prof. Dr. M. Asad Ghufran,	School of Architecture & Planning/DMS Tertiary Care Hospital Nishtar
Climate Vulnerability And The State Duty To Adapt: An Analysis Of The Brazilian Law No. 14,904/2024 From The Perspective Of Fundamental Rights	Deilton RIBEIRO BRASIL	University of Itaúna (UIT)/BRAZİL

Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics

13.09.2026/ Hall-3 Session-4

Ankara Local Time

11 30 : 13 30

Meeting ID: 833 5604 7033

Passcode: 873221

HEAD OF SESSION: Dr. Amit Joshi

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
The Impact Of Pıckleball On The Mental Well-Beıng And Socıal Interactı On Skılls Of Students At The Unıversıty Of Danang, Vıet Nam	MSc. Nguyen Xuan Bach MSc. Phan Ngoc Thiet Ke	The University of Danang/VİETNAM
Artificial Intelligence and the Need for International Legislation: Challenges and Perspectives	PhD Roxana Mihaela Moisoiu	Prof Colegiul German Goethe/U.S.P.E.E. „C. Stere" Chișinău/MOLDOVA-ROMANİA
Indole-3-Butyric Acid-Derived Hydrazones as Antibacterial and Antioxidant Agents: Integrated Experimental, DFT, Molecular Docking and ADMET Investigations	Ummy Rubab, Muhammad Ibrahim, Irfa Sakandar	Government College University/PAKİSTAN
Design, Synthesis, Characterization, and Biological Evaluation of Novel Cholic Acid-Based Functionalized Amides	Ummy Rubab, Muhammad Ibrahim * , Irfa Sakandar	Government College University/PAKİSTAN
From Microbial Pigment to Functional Textiles: Sustainable Prodigiosin-Based Coloration and Bio-Mordanting	Mahwish Salman , Muhammad Asim Nawaz , Shahid Adeel , Muhammad Usama	Government College University/PAKİSTAN
Monetary Polıcy Under A Cost-Push Energy Shock: How Should The Bank Of England Balance Inflatıon Expectatıons And Output Stabılısatıon?	Dr Amit Joshi Neil Siddharth Bibhabaree	United World Academy/INDİA
Terrorism, Territorial Control, and the Changing Norms of Intervention in International Relations	Danyaya Muhammad Shehu	Federal University/NİGERİA
Comparative Study of the Phytochemical Composition of Fumaria parviflora from Casablanca, El Jadida and Khouribga of Morocco	Salma MAKDOUF, Karima El Bouqdaoui, Abdelhakim El Makssoudi, Mounia Cherki	Hassan II University/MOROCCO

Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics

13.09.2026/ Hall-5 Session-4

Ankara Local Time
11 30 : 13 30

Meeting ID: 833 5604 7033
Passcode: 873221

HEAD OF SESSION: Afsheen Mahmood

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
The Rise and Fall of the Thamudic Civilization in Northwest Arabia and the Southern Levant	Mohammed Waheeb	The Hashemite University
Where Do We Stand in Blood Transfusion Practices: Insights From the First Clinical Audit From Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan	Afsheen Mahmood	Khyber Girls Medical College/PAKİSTAN
Biogenic Titanium Nanomaterials for Targeted Control of Oral Microbial Biofilms	Monisha S Ranjani Soundhararajan	B.S. Abdur Rahman Crescent Institute of Science and Technology/INDIA
The Effect Of Compensatıon Practıces On Employee Productıvıty, Access Bank Plc. Gusau Zamfara State Nıgerıa	SIRAJO SHEHU ALIYU OKPANACHI	FEDERAL POLYTECHNIC KAURA NAMODA ZAMFARA STATE, NIGERIA
Understanding Environmental Consequences of Quarry Operations: Residents' Perception Study in the Neighbourhood of a Quarry in Osun state, Nigeria	Temitope Mary OLAYIWOLA	--
Sustainable Livestock Production Through Precision Feeding: Opportunities and Challenges in Enhancing Animal Performance and Environmental Sustainability	Ibrahim Umar Malumfashi Abubakar Abdulkadir AbuAbdin	Federal University/Ahmadu Bello University
Artificial Intelligence And The Future Of Employment: Assessing The Trade-Off Between Labour Substitution, Productivity Gains And Inclusive Economic Growth	Jyoshna Reddy Vihaan Shetty Gunashree Seegehalli	---------
Iportance Of Skrjabınema Ovıs In Sheep Pathology	Academician Prof Dr Ivan PAVLOVIĆ Prof Dr Jovan BOJKOVSKI Prof Dr Vesna KARAPETKOVSKA HRISTOVA MSc Ivanka HADŽIĆ	Scientific Institute of Veterinary Medicine of Serbia/University in Belgrade/University "St. Kliment Ohridski" – Bitola/MACEDONİA-SERBİA

Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics

13.09.2026/ Hall-6 Session-5

Ankara Local Time

12 00 : 14 00

Meeting ID: 833 5604 7033

Passcode: 873221

HEAD OF SESSION: Dr. RAHMOUNI Hanane

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
An Ab-Initio Study Of The Adsorption Of H 2 O, Nacl, And Salt Water On Graphite And Graphene	El Habib EL FAKIR , , Hayat LOUKILI , Khalid ZAROUAL , Faycel BENDIDI , Brahim ACHIOU , Abdellah SELLAM , Younes ABROUKI	Hassan II University/Mohammed V University/MOROCCO
Land Tenure Integratıon For Conflıct Resolutıon: Bassa-Egbura Dıspute In Kogı And Nassarawa State, Nıgerıa	Guma, Edward Pishikeni Musa, Gbaje Wumani Musa, Richard	Kogi State Polytechnic, Lokoja, Nigeria
Flood Rısk Assessment Of Lokoja Metropolıs Usıng Geospatıal Technıques	Guma, Edward Pishikeni Musa, Gbaje Wumani Musa, Richard Haruna Favour John Abdulahi Gbenga David	Kogi State Polytechnic, Lokoja, Nigeria
AI Powered Liquid Biopsy For Early Detection Of Lung Cancer: Clinical Applications And Limitations	Maryam Bashir , Muhammad Adnan Sabir Mughal, Kashif Hussain	Bahauddin Zakariya University/MNS University of Agriculture
Impact Of Spıder Advance Organısers On Academıc Achıevement Of Low-Achıevıng Secondary School Chemıstry Students In Mınna Metropolıs, Nıgerıa	Yahaya, F. ,Salihu, Fatima , Abdulazeez, Amina D. , Isah, Fatima, A. , Ndatsu, A.	Federal University of Technology/Ibrahim Badamasi Babagida University
Evaluation Of Performance And Production Efficiency Indicators İn A Broiler Flock Based On Farm Management Practices	PROF. DR.Lumturi Sena Sabah Sena	University of Tirana/ALBANİA
Investor Protection in the Age of Finfluencers: An Indian Perspective	Dr. Anwesha Ghosh Ms. Snigdha Kuriyal	Kirit P Mehta School of Law, SVKM's NMIMS, Mumbai, India
A Thought Towards A Professıonal Academıc Return To Unıversıty	Dr. RAHMOUNI Hanane	University of Oran 2 Mohamed Ben Ahmed/ALGERİA

Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics

13.09.2026/ Hall-7 Session-5

Ankara Local Time

12 00 : 14 00

Meeting ID: 833 5604 7033

Passcode: 873221

HEAD OF SESSION: Dr. Khursheed Alam

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Automated Market Basket Analysis and Personalized Product Recommendation Using Association Rule Mining	Dr. Khursheed Alam	Sharda University
HAp/Cellulose Biofilms Derived from Moroccan Natural Resources: Preparation, Characterization, and Methylene Blue Adsorption	Soumia Berrahou, Souhayla Latifi Sanaa Saoiabi	Mohammed V University
Activated Sludge Processes for Sustainable Wastewater Treatment: Principles,Challenges and Recent Advances	Abderrazzak Ihouaten Khadija El-Moustaqim Jamal Mabrouki	Ibn Tofaïl University/Mohammed V University
Evaluatıon Of Algal Properties And Chlorophyll Content For Lıght Reductıon In The Built Envıronment	Muhammad Hanafi Ismail,Rashidi Othman ,Wan Syibrah Hanisah Wan Sulaiman	International Islamic University MALAYSİA
A Block Hybrıd Lınear Multı-Step Method For The Solutıons Of Stıff Inıtıal Value Problems Of Ordınary Dıfferentıal Equatıons	M. M. Maitala, J.P. Chollom , C.Y. Ishola ,A. Adams	National Open University/University of Jos
The Effects of Financial and Non-Financial Rewards on Employee Motivation: Evidence from a Branch-Level Panel of ASA Bangladesh	Fatematuz Zohora Nigar Sultana,	University of Rajshahi/University of Barishal/BANGLADESH
The Effect of Chopper Blade Patterns on the Performance of a Multifunctional Chopper Machine	Muhammad Zaky Rizqullah Nurrosidi	University of Jember
Aqueous Wastewater Treatment: Modeling the Adsorption Isotherms of Organic Pollutants on Red Spruce Sawdust Activated Carbon	ELANZAOUI Said	University IBN ZOHR

Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics

13.09.2026/ Hall-8 Session-5

Ankara Local Time

12 00 : 14 00

Meeting ID: 833 5604 7033

Passcode: 873221

HEAD OF SESSION: Dr. Tahir Qureshi

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Human Rights Violations in Armed Conflicts: The Role of the International Criminal Court	Dr. Tahir Qureshi	Presidency University/INDİA
Engineering Interfacial Conduction in TiO2 Nanostructures for enhancement the Performance of CdS Quantum Dot-Sensitized Solar Cells	Hussam Musleh , Abdelylah Daoudi , Samy Mansy , Naji AlDahoudi, Abdelilah Lahmar,Yahia Boussoualem, Khaoula Ferchichi , Hadjer soufi	Université Littoral Côte d'Opale/Al-Azhar University-Gaza/University College of Science and Technology/Université de Picardie Jules Verne/FRANCE-PALESTİNE
Technology-Enhanced Preservation Of Indigenous Culture For Inclusive And Resilient Early Childhood Education	Shaima'u Aliyu YUNUSA Oladiran Amidu, OKUNLOLA	Federal University of Education
AI Powered Smart Drug Delivery System	Keerthana, Ameerah, Avinash, Dr. R Saravanan	-----
Fecal Mıcrobıota Transplantatıon For Decolonızatıon Of Multıdrug-Resıstant Organısms:An Emergıng Strategy Agaınst Antımıcrobıal Resıstance	SWETHA J PHARM D-V YEAR Dr. K. Bharathi Priya	-----
Calcium and Magnesium Status of Peripartum Dairy Cows: A Comparative Assessment of Sétif and Mila, Eastern Algeria	Mohamed Sif Islam Cherif Soumeya Kaouche	University M'Hamed Bougara
Global Perspectives on Terrorism and Its Implications to International Relations	Danyaya Muhammad Shehu Adamu Aminu	Federal University

Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics

13.09.2026/ Hall-9 Session-5

Ankara Local Time

12 00 : 12 30

Meeting ID: 833 5604 7033

Passcode: 873221

HEAD OF SESSION: Akighirga Luter Richard

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Sustainable Desalination And İnnovative Technological Solutions To Climate Change	Ayoub Ghailane, , Khadija El-Moustaqim, Jamal Mabrouki, and Younes Abrouki	Mohammed V University/Ibn Tofaïl University
Impact Of Teachers' Motıvatıon On The Job Performance Of Prımary School Teachers In Chanchaga Local Government Area Of Nıger State, Nıgerıa	AMINU GARBA (Ph.D) MOHAMMED MUSA AHMED ABDULLAHI BARKUTA ABDULRAHMAN JIMADA	UMARU SANDA AHMADU COLLEGE
Counsellıng For Skılls Acquısıtıon, Entrepreneurshıp And Self-Relıance Among Nıgerıan Youths: A Conceptual And Theoretıcal Analysıs	MOHAMMED MUSA AMINU GARBA (Ph.D) AHMED ABDULLAHI BARKUTA ABDULRAHMAN JIMADA	UMARU SANDA AHMADU COLLEGE
Binary Logistic Analysis of Quality of Life Among Single Parents in Lagos Mainland Local Government Area, Yaba, Lagos, Nigeria	Ayodeji, A. A , Adesanya, C. O ,Oriloye, E. M	Yaba College of Technology
When The Nıght Never Gets Dark: Artıfıcıal Lıght And Nocturnal Anımal Behavıor	Khansa Atique	Government College University
St. Petersburg State Electrotechnıcal Unıversıty "Letı" Named After V.I. Ulyanov (Lenıne)	Akighirga Luter Richard	MINISTRY OF EDUCATION RUSSIA
The Scholarly Dıscourse On Monoclonal Antıbody-Based Immunotherapy: Global Scıentıfıc Perspectıves, Molecular Mechanısms, Therapeutıc Applıcatıons, Clınıcal Innovatıons, Precısıon Medıcıne, Bıoengıneerıng, Bıomarker Dıscovery, Immunologıcal Targetıng And Future Dırectıons	Nodar Sulashvili , Nana Gorgaslidze , Nato Alavidze ,Marika Sulashvili, Lasha Tchelidze , Marina Giorgobiani ,Ada (Adel) Tadevosyan , Lali Patsia , Igor Seniuk , Giorgi Pkhakadze ,Vira Kravchenko , Magda Davitashvili , Olga Shapoval ,Nino Abuladze , Ketevani Gabunia , David Aphkhazava	Georgian National University/ Tbilisi State Medical University/ East European University University of Pharmacy/UKRAİNE-GEORGİA
Scıentıfıc Dıscourse On Academıc Freedom Under Sıege: Global Challenges, Organızatıonal Intrusıons, Intellectual Autonomy, Scholarly Integrıty, Democratıc Values, Polıtıcal Interference,Censorshıp, Research Independence, Academıc Rıghts, Instıtutıonal Autonomy And Knowledge Productıon Globally	Nodar Sulashvili , Nana Gorgaslidze , Nato Alavidze ,Marika Sulashvili , Lasha Tchelidze , Marina Giorgobiani ,Ada (Adel) Tadevosyan , Lali Patsia , Igor Seniuk , Giorgi Pkhakadze ,Vira Kravchenko , Magda Davitashvili , Olga Shapoval ,Nino Abuladze , Ketevani Gabunia , David Aphkhazava	Georgian National University/ Tbilisi State Medical University/ East European University University of Pharmacy/UKRAİNE-GEORGİA

Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics

13.09.2026/ Hall-10 Session-5

Ankara Local Time

12 00 : 13 30

Meeting ID: 833 5604 7033

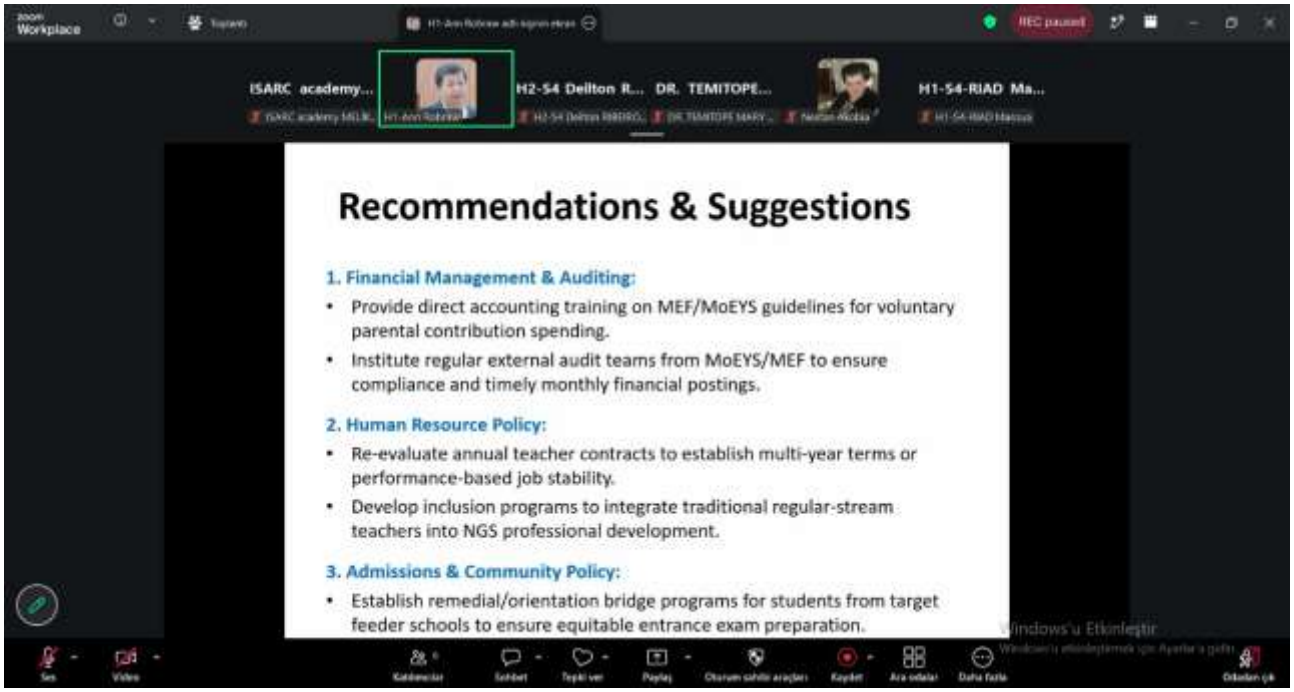
Passcode: 873221

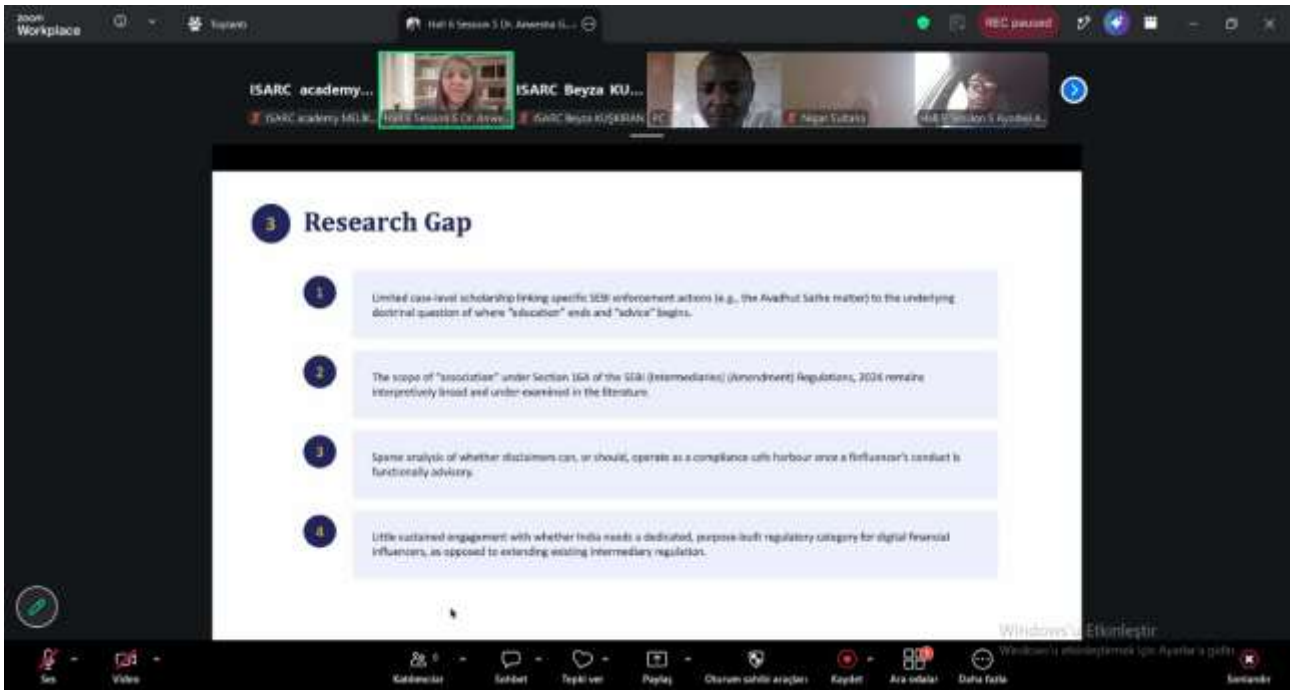
HEAD OF SESSION: Dr.Nino Bochorishvili

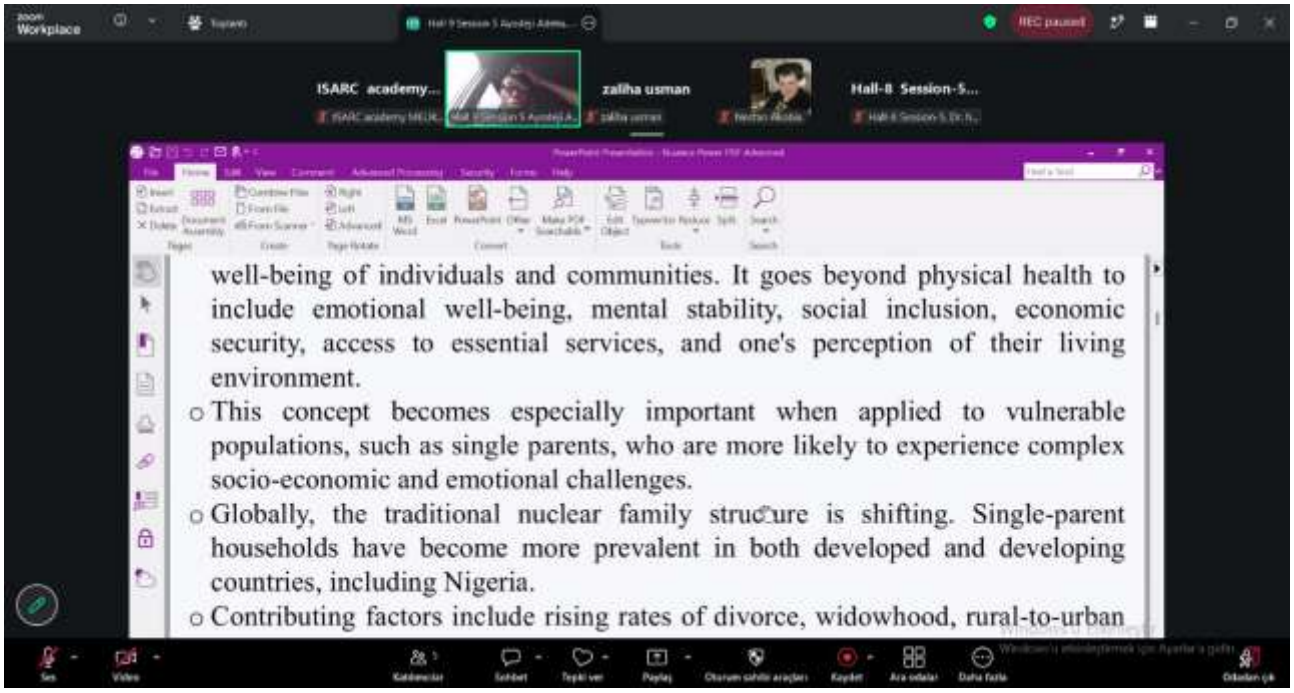
TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
The Architecture Of Thought İn ELT	Ulviyya Asgarova	Azerbaijan University of Languages/AZERBAİJAN
From The Rooster Coop To The Global City: Space, Precarity And The Struggle For Self İn Aravind Adiga's Novels	Sunita Chauhan Dr. Harsha Vincent	Lovely Professional University
The Multimodal Shift: Analyzing The Linguistic And Pragmatic Impact Of Emojis On Digital English Writing	Dr.Nestan Akobia Dr.Nino Lomsadze Dr.Nino Bochorishvili	Georgian Technical University/David Aghmashenebeli University/GEORGİA
Artificial Intelligence In Education: Using Artificial Intelligence Tools In Teaching And Learning Processes In State Government–Owned Universities In North Central Nigeria	Garba Shambo Mohammed, Usman Zaliha Ndatsu, Muhammad Baba, 3Hussaini Musa Usman, Hauwakulu Saba	University Library Services/Minna Umaru Sanda Ahmadu
Effects Of AI-Powered Visualization Tool On Students Understanding And Retention Of Biology Concept İn Senior Secondary Schools İn Minna Metropolis	Usman Zaliha Ndatsu, Muhammad Baba, Hauwakulu Saba, Hajara Salihu	University Library Services/Minna Umaru Sanda Ahmadu
Evaluating The Effectiveness Of Robotics In An Automobile Industry - Case Study Of Tesla	Raghav Sivakumar	United World Academy
Determinants Of Smart Facilities Management Technology Adoption Among Practitioners In Abuja, Nigeria	CHARLES Gideon, ISHIYAKU Bala, MOHAMMED Ishaq Mohammed	Abubakar Tafawa Balewa University

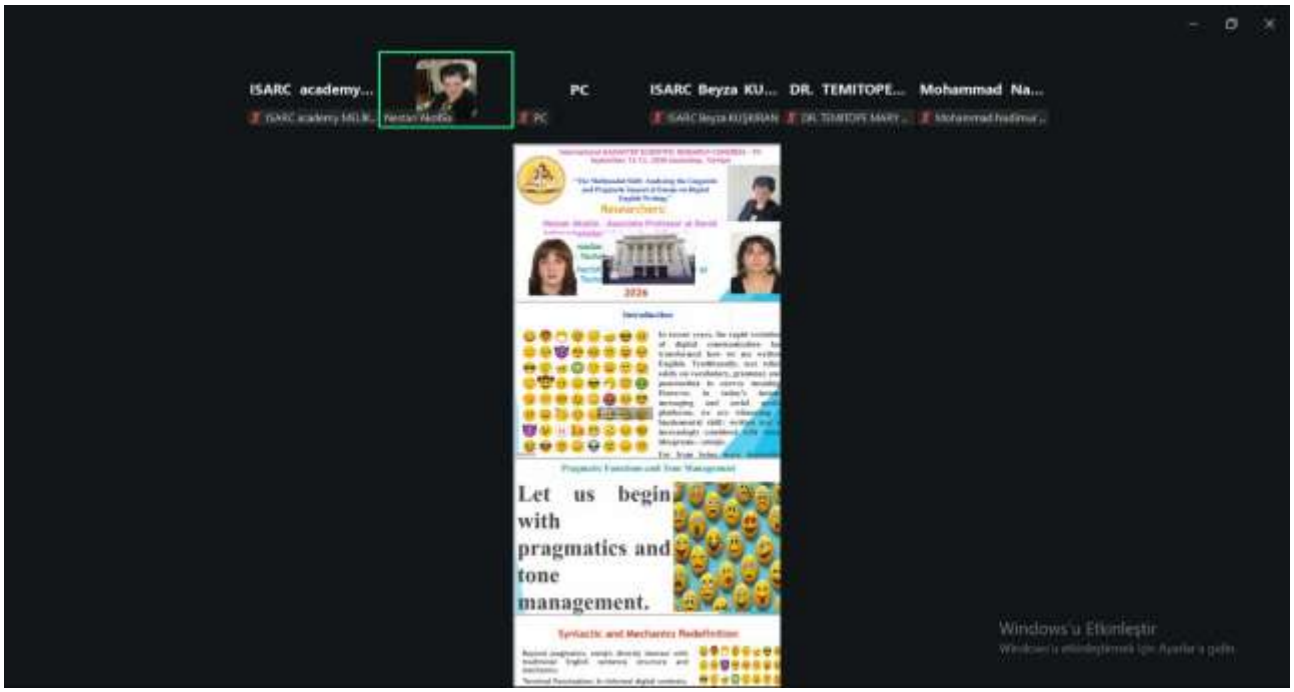
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics

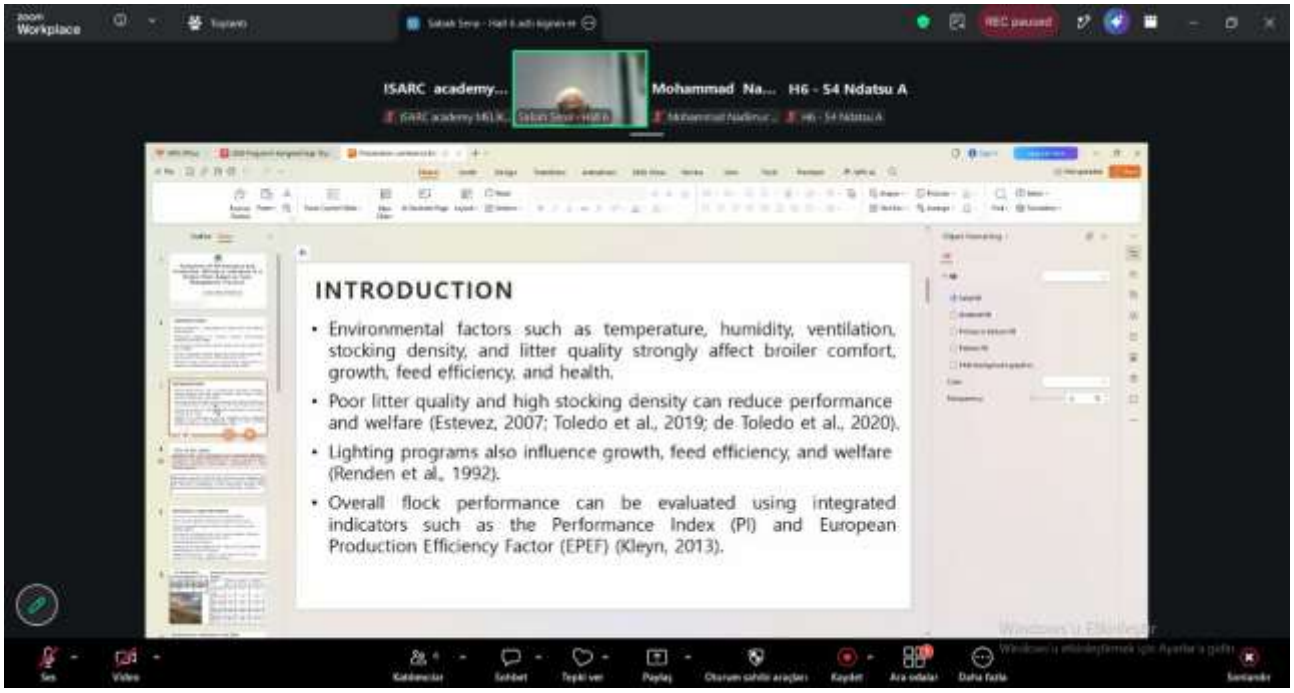
PHOTO GALLERY

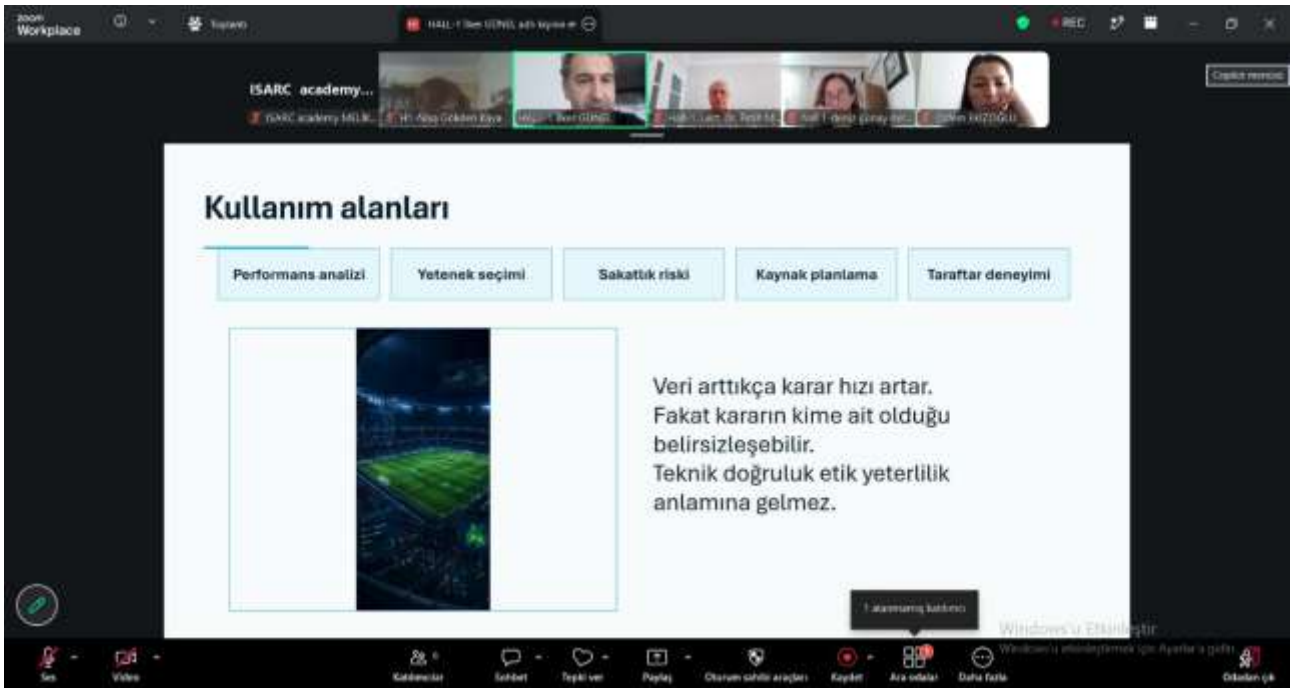




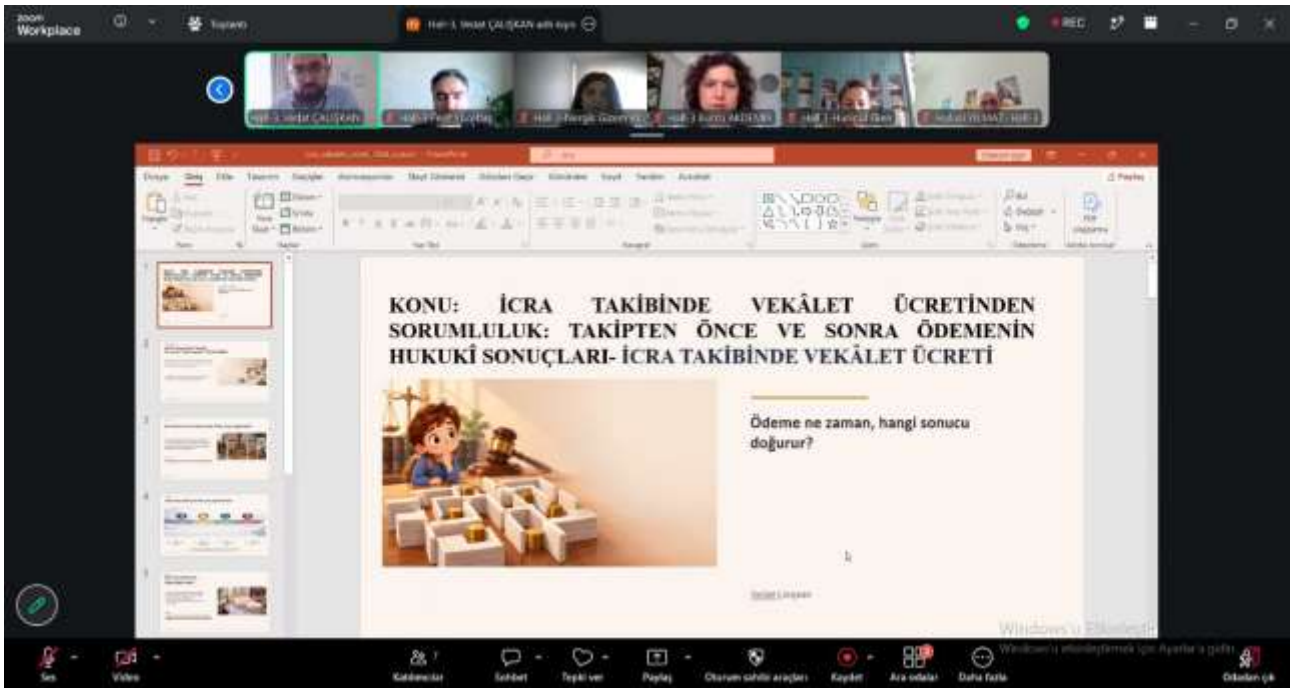

ISARC academy...
zaliha usman
Hall-8 Session-5...
well-being of individuals and communities. It goes beyond physical health to include emotional well-being, mental stability, social inclusion, economic security, access to essential services, and one's perception of their living environment.
This concept becomes especially important when applied to vulnerable populations, such as single parents, who are more likely to experience complex socio-economic and emotional challenges.
Globally, the traditional nuclear family structure is shifting. Single-parent households have become more prevalent in both developed and developing countries, including Nigeria.
Contributing factors include rising rates of divorce, widowhood, rural-to-urban

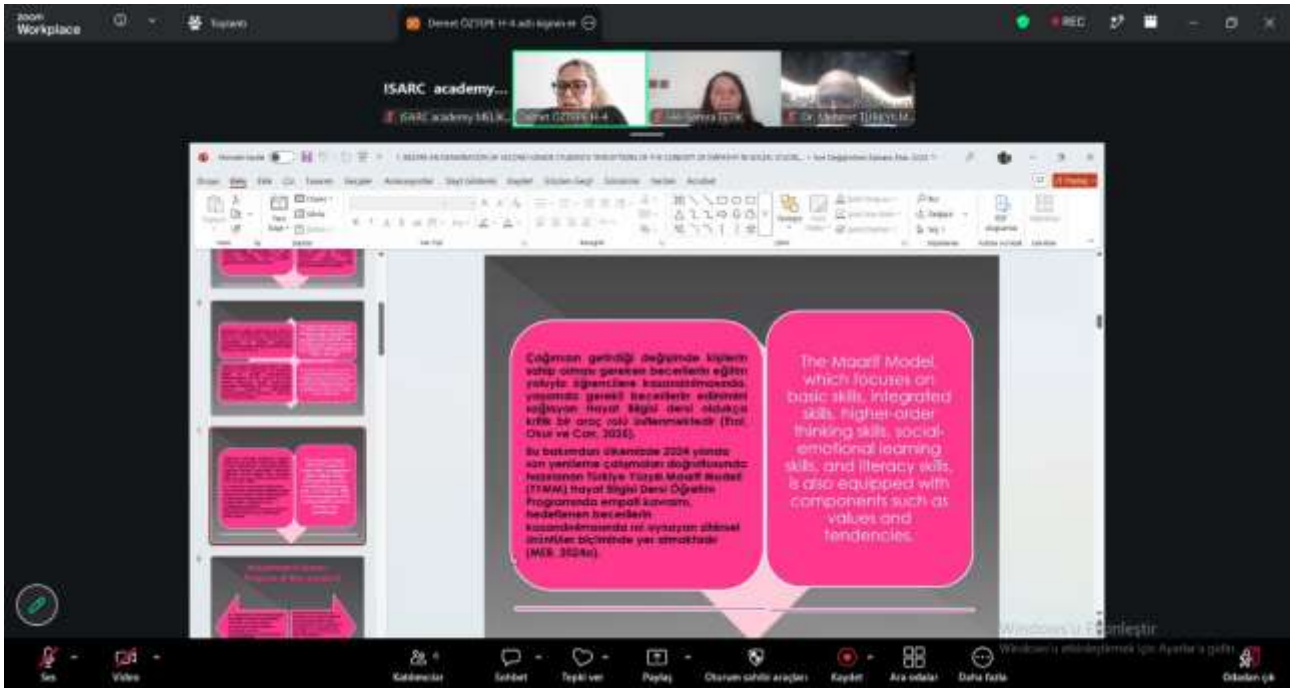

ISARC academy...
PC
ISARC Beyza KU...
DR. TEMITOPE...
Mohammad Na...
Let us begin with pragmatics and tone management.
Windows'u Etkinleştir

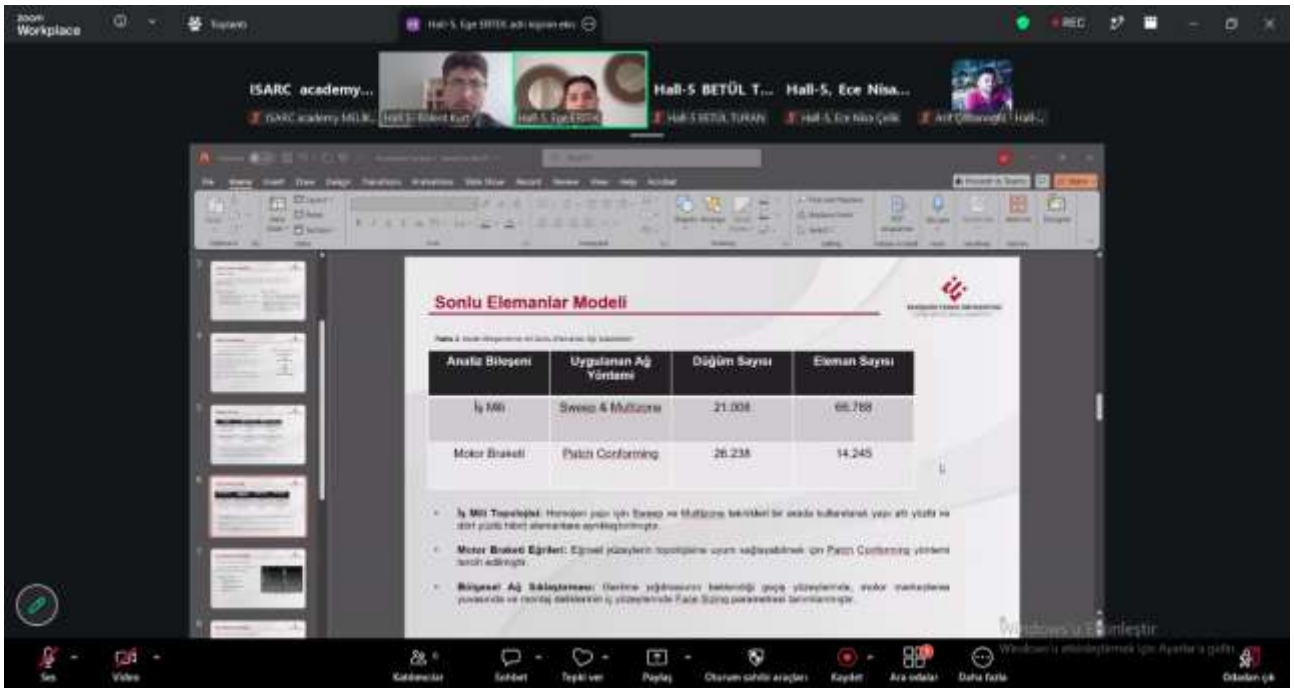

ISARC academy...
Mohammad Na... H6 - S4 Ndatsu A
INTRODUCTION
• Environmental factors such as temperature, humidity, ventilation, stocking density, and litter quality strongly affect broiler comfort, growth, feed efficiency, and health.
• Poor litter quality and high stocking density can reduce performance and welfare (Estevez, 2007; Toledo et al., 2019; de Toledo et al., 2020).
• Lighting programs also influence growth, feed efficiency, and welfare (Renden et al., 1992).
• Overall flock performance can be evaluated using integrated indicators such as the Performance Index (PI) and European Production Efficiency Factor (EPEF) (Kleyn, 2013).


ISARC academy...
Kullanım alanları
Performans analizi
Yetenek seçimi
Sakatlık riski
Kaynak planlama
Taraftar deneyimi
Veri arttıkça karar hızı artar.
Fakat kararın kime ait olduğu belirsizleşebilir.
Teknik doğruluk etik yeterlilik anlamına gelmez.

ISARC academy...
Hall-2 Zehra GÜ...
1-GİRİŞ

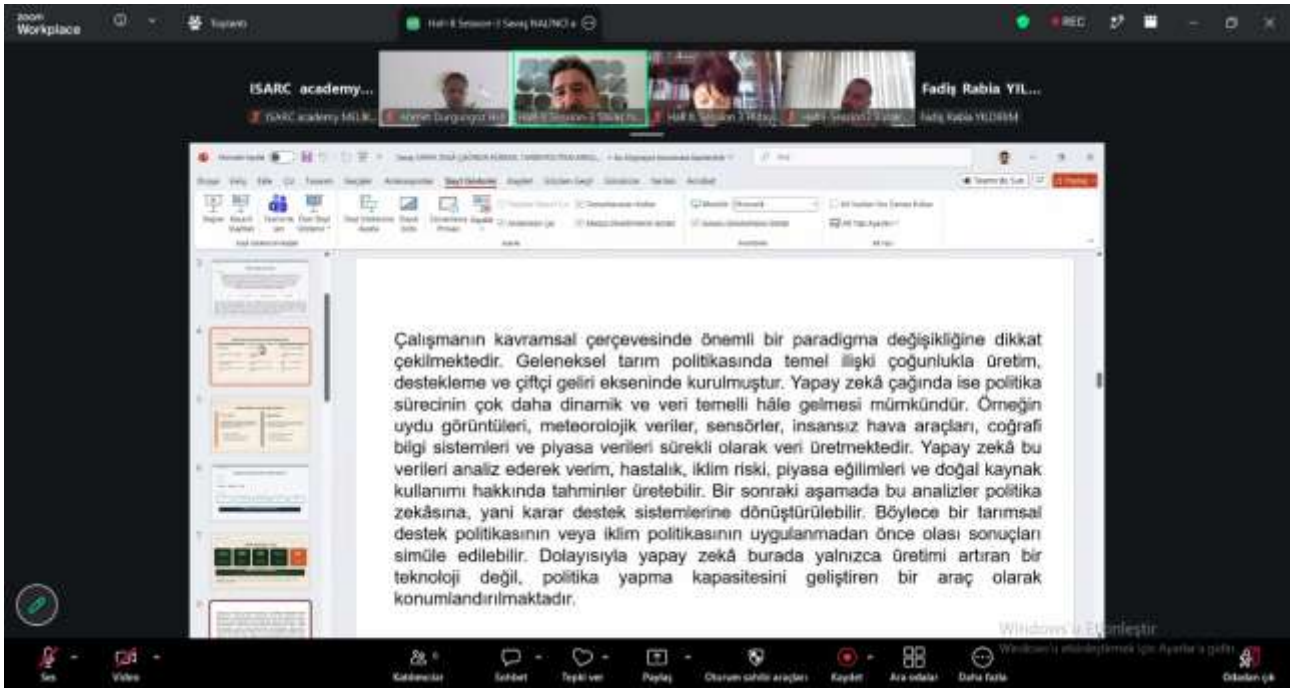

KONU: İCRA TAKİBİNDE VEKÂLET ÜCRETİNDEN SORUMLULUK: TAKİPTEN ÖNCE VE SONRA ÖDEMENİN HUKUKÎ SONUÇLARI- İCRA TAKİBİNDE VEKÂLET ÜCRETİ
Ödeme ne zaman, hangi sonucu doğurur?

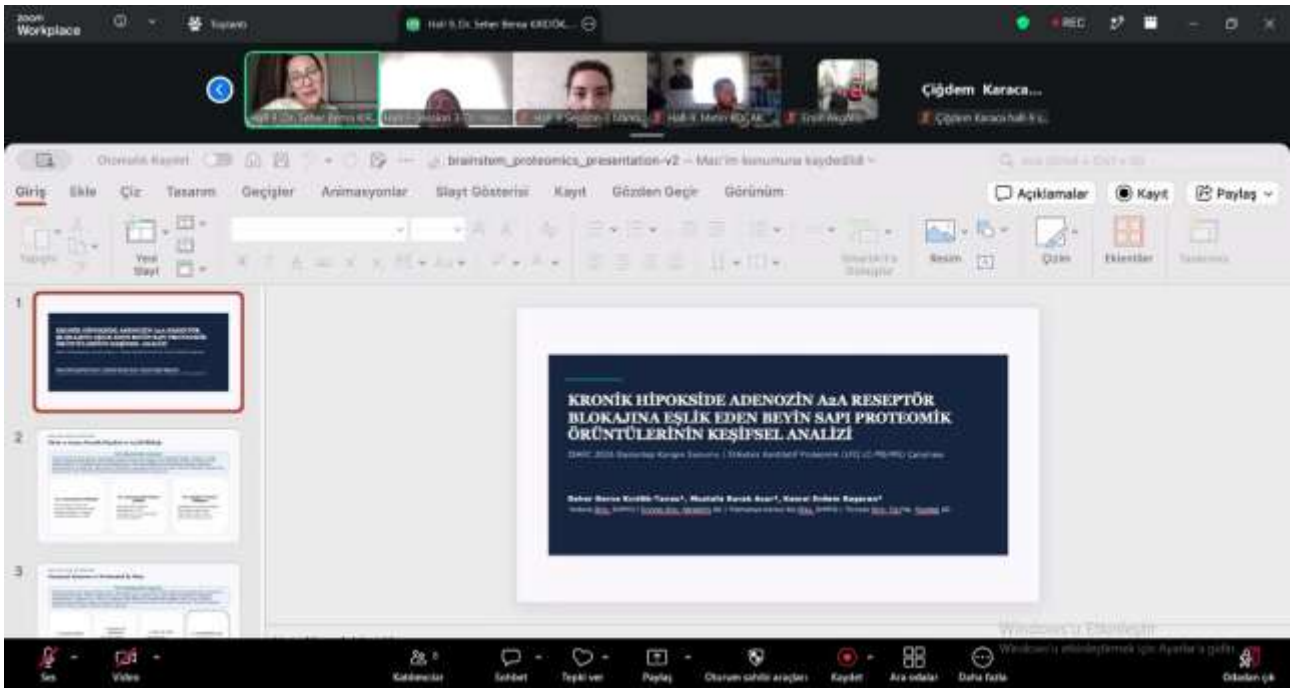

ISARC academy...
The Maarif Model, which focuses on basic skills, integrated skills, higher-order thinking skills, social-emotional learning skills, and literacy skills, is also equipped with components such as values and tendencies.

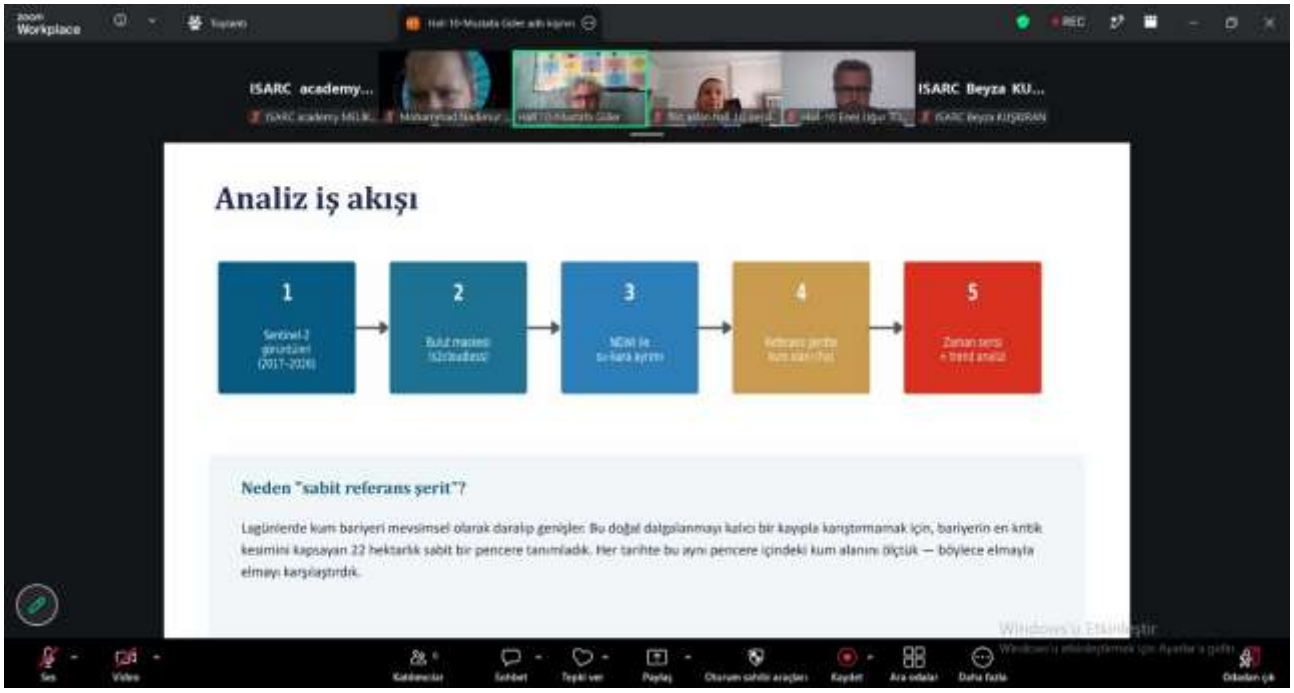

ISARC academy...
Hall-5 BETÜL T...
Hall-5, Ece Nisa...
Sonlu Elemanlar Modeli
Analiz Bileşeni
Uygulanan Ağ Yöntemi
Düğüm Sayısı
Eleman Sayısı
İş Milli
Sweep & Multizone
21.008
66.788
Motor Braketi
Patch Conforming
26.238
14.245

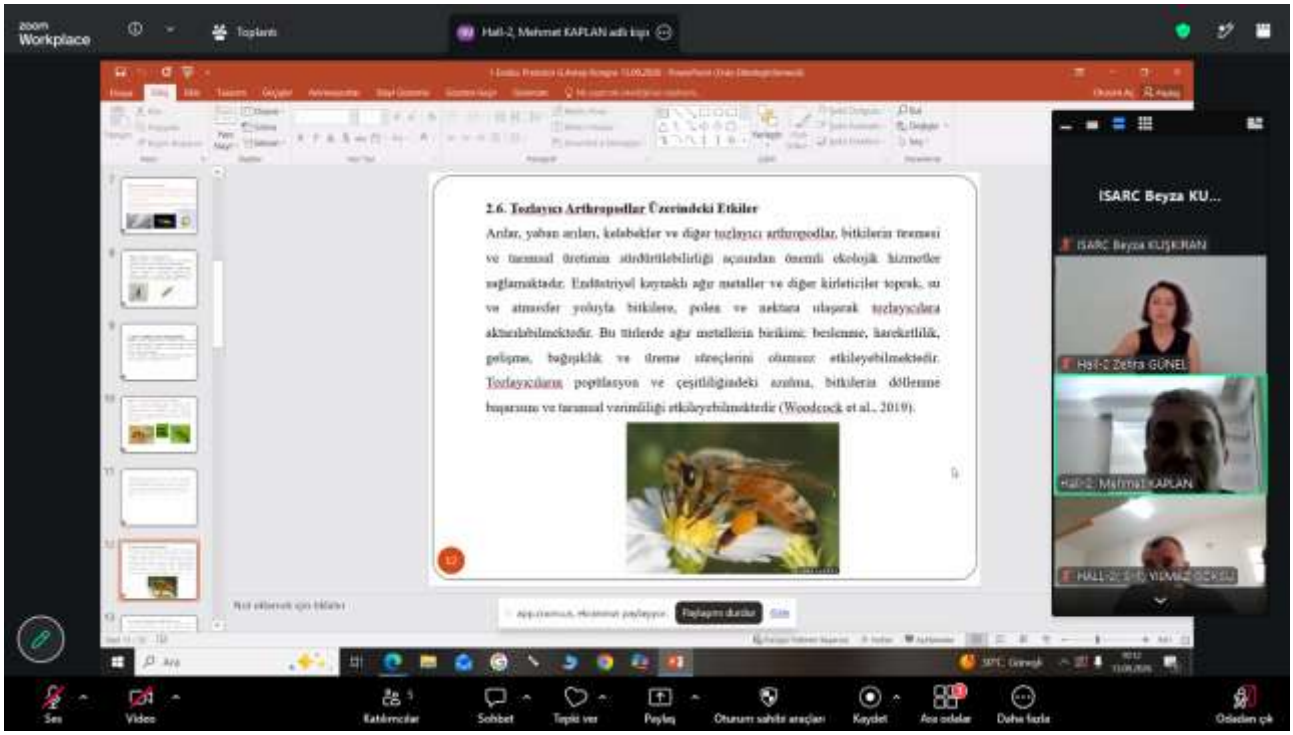
Yazar Üretkenliği ve Yazarlık Deseni
Temel listedeki 49 çalışmanın 47'si tek yazarlı, 2'si iki yazarlıdır (Bayder ve Küçük, 2024; Tortop ve Yaka, 2025); tek yazarlılık oranı %95,9'dur. Bu tablo, sosyal ve beşeri bilimlerdeki genel yazarlık deseniyle uyumlu olmakla birlikte alanda iş birliğine dayalı üretimin son iki yılda başladığını göstermektedir.

Sonuç ve Klinik Çıkarımlar
Etkili Risk Yönetimi: Yapılandırılmış sağlık danışmanlığı; kilo kontrolü, sigara ve alkolün bırakılması ile düzenli egzersiz alışkanlığının kazanılmasında standart takibe göre belirgin üstünlük sağlamaktadır.
Uzun Dönem Başarı: KABG sonrası uzun dönem greft açıklığı ve genel sağkalım için sadece başarılı bir cerrahi operasyon yeterli değildir.
Sekonder Koruma: Kardiyovasküler risk faktörlerine yönelik sekonder koruma stratejilerinin titizlikle uygulanması esastır.
Yakın Takip: Taburculuk sonrası dönemde hastaların yaşam tarzı değişikliklerine uyumunun yakından takibi ve desteklenmesi operasyonun başarısını arttırmaktadır.


ISARC academy...
Fadiş Rabia YIL...
Çalışmanın kavramsal çerçevesinde önemli bir paradigma değişikliğine dikkat çekilmektedir. Geleneksel tarım politikasında temel ilişki çoğunlukla üretim, destekleme ve çiftçi geliri ekseninde kurulmuştur. Yapay zekâ çağında ise politika sürecinin çok daha dinamik ve veri temelli hâle gelmesi mümkündür. Örneğin uydu görüntüleri, meteorolojik veriler, sensörler, insansız hava araçları, coğrafi bilgi sistemleri ve piyasa verileri sürekli olarak veri üretmektedir. Yapay zekâ bu verileri analiz ederek verim, hastalık, iklim riski, piyasa eğilimleri ve doğal kaynak kullanımı hakkında tahminler üretebilir. Bir sonraki aşamada bu analizler politika zekâsına, yani karar destek sistemlerine dönüştürülebilir. Böylece bir tarımsal destek politikasının veya iklim politikasının uygulanmadan önce olası sonuçları simüle edilebilir. Dolayısıyla yapay zekâ burada yalnızca üretimi artıran bir teknoloji değil, politika yapma kapasitesini geliştiren bir araç olarak konumlandırılmaktadır.


Çiğdem Karaca...
KRONİK HİPOKSİDE ADENOZİN A2A RESEPTÖR BLOKAJINA EŞLİK EDEN BEYİN SAPI PROTEOMİK ÖRÜNTÜLERİNİN KEŞİFSEL ANALİZİ


Workplace
ISARC academy...
ISARC Beyza KU...
Analiz iş akışı
1
2
3
4
5
Neden "sabit referans şerit"?
Lağünlerde kum bariyeri mevsimsel olarak daralıp genişler. Bu doğal dalgalanmayı kalıcı bir kayıpla karıştırmamak için, bariyerin en kritik kesimini kapsayan 22 hektarlık sabit bir pencere tanımladık. Her tarihte bu aynı pencere içindeki kum alanını ölçtük — böylece elmayla elmayı karşılaştırdık.
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Kaydet
Daha fazla


Workplace
Toplantı
Hall-2, Mehmet KAPLAN adlı kişi
2.6. Tozlayıcı Arthropodlar Üzerindeki Etkiler
Arılar, yaban arıları, kelebekler ve diğer tozlayıcı arthropodlar, bitkilerin üremesi ve tarımsal üretimin sürdürülebilirliği açısından önemli ekolojik hizmetler sağlamaktadır. Endüstriyel kaynaklı ağır metaller ve diğer kirleticiler toprak, su ve atmosfer yoluyla bitkilere, polen ve nektara ulaşarak tozlayıcılara aktarılabilmektedir. Bu türlerde ağır metallerin birikimi; beslenme, hareketlilik, gelişme, bağışıklık ve üreme süreçlerini olumsuz etkileyebilmektedir. Tozlayıcılarda popülasyon ve çeşitliliğindeki azalma, bitkilerin döllenme başarısını ve tarımsal verimliliği etkileyebilmektedir (Woodcock et al., 2019).
ISARC Beyza KU...
ISARC Beyza KUŞKIRAN
Hall-2 Zehra GÜNEL
Hall-2, Mehmet KAPLAN
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Kaydet
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık

INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

KONU: Kongre Katılımcı Bilgisi **24.09.2026**

İLGİLİ MAKAMA

7.ULUSLARARASI GAZİANTEP BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR KONGRESİ 12-13 EYLÜL 2026 tarihleri arasında GAZİANTEP 'de online olarak 23 farklı ülkeden (Türkiye:67 ve diğer Ülkeler:72 Toplam:139 akademisyen/araştırmacıların katılımı ile gerçekleşmiştir. Kongre, 16 Ocak 2020 Akademik Teşvik Ödeneği Yönetmeliğine getirilen '' Tebliğlerin sunulduğu yurt içinde veya yurtdışındaki etkinliğin uluslararası olarak nitelendirilebilmesi için Türkiye dışından en az 5 ülkeden farklı tebliğ sunan konuşmacının katılım sağlaması ve tebliğlerin yarıdan fazlasının Türkiye dışından katılımcılar tarafından sunulması esastır. '' değişikliğine ve Doçentlik kriterlerine uygun düzenlenmiştir.

Bilgilerinize arz edilir.
Saygılarımla

Sefa Salih BİLDİRİCİ
HEAD OF İSARC

CONTENT

CONGRESS ID	II
SCIENTIFIC & REVIEW COMMITTEE	III-VI
PROGRAM	VII-XXVIII
PHOTO GALLERY	XXIX-XXXVI
ACADEMIC INCENTIVE	XXXVII
CONTENT	XXXVIII-XLIV

AUTHORS	TITLE	NO
Assoc. Prof. Dr. İlker GÜNEL	Algorıthmıc Management In Sport Organızatıons: Managerıal And Ethıcal Dımensıons Of Aı-Assısted Decısıons	1-8
Assoc. Prof. Dr. İlker GÜNEL	Resistance To Digital Transformation İn Sport Organizations: Leadership, Organizational Culture, And Technology Acceptance	9-15
Assoc. Prof. Dr. Nisa Gökden KAYA	An Examination Of The Film "Strings Of Sorrow" In Terms Of Attitudes Towards Individuals With Disabilities	16-23
Assoc. Prof. Dr. Nisa Gökden KAYA	Chrısty Brown's Struggle To Overcome Obstacles With Hıs Left Foot	24-30
Assist. Prof. Dr. Özlem EKİZOĞLU	The Relatıonshıp Between Teacher Self-Efficacy And Job Satısfactıon In Physıcal Educatıon And Sports Teachers: An Examınatıon In Terms Of Gender And Instıtutıonal Varıables	31-32
Lect. Dr. Fatih Mehmet ATEŞ	The Place Of The Neurophysiology Of Unsafe Behaviors In Biopsychosocial Prevention Strategıes	33-66
Lect. Dr. Deniz GÜNAY DEREBAŞI Prof. Dr. Tülin AKMAN Assoc. Prof. Dr. Şaban ÜNVER	The Relatıonshıp Of Flexıbılıty And Statıc Balance Wıth Kıck Reach Dıstance In Taekwondo Athletes	67-74
Lect.. Dr. Deniz GÜNAY DEREBAŞI Prof. Dr. Tülin AKMAN Assoc. Prof. Dr. Şaban ÜNVER	Investıgatıon Of The Effect Of Two-Wheeled Vehıcle Use On Statıc Balance Performance	75-82
Prof. Dr. Mehmet KAPLAN	The Potentıal Of Predatory Arthropods For Bıologıcal Control In Pest Management Of Agrıcultural Ecosystems	83-94
Prof. Dr. Mehmet KAPLAN	Effects Of Industrıal Pollutıon On Arthropoda	95-106
Yılmaz GÖKSU Assoc. Prof. Dr. İrfan ÖZTÜRK Assist. Prof. Dr. Cansu ÇELİK	Process Improvement In Livestock Operations: The Lean Six Sigma Methodology In Herd Management And Feeding Practices	107-108
Gülsüm DEMİR Ahmet Semih UZUNDUMLU	2023-2027 Dönemi İçin İran'da Koyun Eti Üretim Tahminleri	109-118
Gülsüm DEMİR Ahmet Semih UZUNDUMLU	Yeni Zelanda'da 2023-2027 Yıllarına Dair Koyun Eti Üretim Projeksiyonu	119-130
Assist. Prof. Dr. Zehra GUNEL	Use Of Anthocyanins In Food Systems: Stability Challenges And Next-Generation Protection Technologies	131-138
Assist. Prof. Dr. Zehra GUNEL	Upcycling In The Food Industry: From By-Products To Next-Generation Functional Ingredients	139-146
Assist. Prof. Dr. Elif GÜLLÜ	A Prelımınary Revıew And Evaluatıon On The Efect Of Cherry Stem	147-153
Assist. Prof. Dr. Elif GÜLLÜ	A Prelımınary Revıew And Evaluatıon On The Efect Of Celery Juıce	154-160

Assist. Prof. Dr. Cihan PALANCI	Mınor Polıtıcs And Palestıne	161-162
Vedat ÇALIŞKAN	Lıabılıty For Statutory Attorney's Fees In Enforcement Proceedıngs: Legal Consequences Of Payment Before And After Commencement Of Enforcement	163-177
Assoc. Prof. Dr. Ferit YÜCEBAŞ	The Assyrıan Questıon On The Türkıye-Iraq Border: Settlement Efforts And Türkıye's Securıty Concerns (1932-1937)	178-179
Assist. Prof. Dr. Hulusi YILMAZ	The Social And Historical Background Of Lineage Bifurcation As Reflected In The Alevi Collective Memory Of The Seth Myth	180-181
Assist. Prof. Dr. Hurigül EKEN	Dıgıtalızatıon And Adolescent Delınquency: A Comparatıve Qualıtatıve Study Of Hıgh School Students And Juvenıles Drawn Into Delınquency In Konya	182-196
Lecturer Burcu AKDEMİR Prof. Dr. Aslı YURDİGÜL	Turkıye's Posıtıon In The Internatıonal Press In The Context Of The Us – Iran War	197-209
Nergis Gizem KIZILÇİM Prof. Dr. Aslı YURDİGÜL	Bıblıometrıc Analysıs Of Academıc Studıes On Aı-Supported News Productıon	210-222
Ruslan SHEVERDIN Assoc. Prof. Dr. Victor KAZAKEVICH	Features Of Renal And Lumbar Hemodynamics During Muscle Contraction And After Coffee Intake In Students	223
Demet ÖZTEPE Assoc. Prof. Dr. Nur ÜTKÜR GÜLLÜHAN	An Examination Of Second-Grade Students' Perceptions Of The Concept Of Empathy İn Social Studies Through Metaphors	224-237
Demet ÖZTEPE Assoc. Prof. Dr. Nur ÜTKÜR GÜLLÜHAN	An Analysıs Of Prımary School Pupıls' Storıes Wıthın The Framework Of Trends In The Tymm Lıfe Skılls Currıculum	238-249
Assoc. Prof. Dr. Semra TETİK	A Study On The Crıtıcal Thınkıng Skılls Of Generatıon Z	250-262
Assoc. Prof. Dr. Semra TETİK	An Examınatıon Of The Relatıonshıp Between Unıversıty Students' Empathy Skılls And Theır Envıronmental Awareness	263-269
Dr. Mehmet TÜRKYILMAZ	Research On Determining Students' Vocabulary In Türkiye: A Systematic Review Of The 2000–2025 Period	270-287
Ege ERTEK Çağrı TAVŞANCI Assist. Prof. Dr. Özgür POYRAZ	Fınıte Element Analysıs And Structural Verıfıcatıon Of A Laboratory-Scale Rotary Feedstock Feedıng System For Addıtıve Frıctıon Stır Deposıtıon	288-300
Sezgin KABAHASAN Berkan HASDEMİR Arif Çobanoğlu Prof. A. Alper Özalp	Optımızatıon Of Process Parameters In The Projectıon Weldıng Of Axle Lıft Bellows Plate Part Usıng The Fınıte Element Method And Taguchı Experımental Desıgn	301-311
Assist. Prof. Dr. Bülent KURT	Predıctıon Of Drag Force In A Catamaran Floater Model Usıng Artıfıcıal Neural Networks	312-313
Lect. Dr. Özgül DEMİRAĞ	Tradıtıonal Materıal Use And Constructıon Systems In Hıstorıcal Houses Of Gumushane: The Akagün House Example	314-315
Lect. Dr. Özgül DEMİRAĞ	Comparatıve Structural Analysys Of Alternatıve Floorıng Systems In The Reconstructıon Of A Hıstorıcal Buıldıng	316-317
Betül TURAN Ece Nisa ÇELİK Assist. Prof. Dr. Gülbin FİDAN	Adaptıng Tradıtıonal Carpet Motıfs To Contemporary Carpet Desıgn Through A Cubıst Approach	318-319
Ece Nisa ÇELİK Betül TURAN Assist. Prof. Dr. Gülbin FİDAN	Adaptatıon Of Wabı-Sabı Aesthetıcs To Contemporary Carpet Desıgn	320-321
Assist. Prof. Dr. Aliye YILMAZ	A General Assessment Of The Hüveydâ Divan İn Chagatai Literature	322-336
Assist. Prof. Dr. Aliye YILMAZ	The Ewer In Omar Khayyam's Rubaiyat: The Relationship Between Humanity And Earth	337-349
Dr. Oğuz Çetin	The Narrativization of Anger and Character Typology: A Rhetorical Approach to the Masnavi	350-358

Prof. Dr. Said Nuri AKGÜNDÜZ Assoc. Prof. Dr. Cemalettin ŞEN Assoc. Prof. Dr. Seyyid SANCAK Assoc. Prof. Dr. Murat KOBYA Assoc. Prof. Dr. Murat TARHAN Assist. Prof. Dr.Yasin GÖKGÖZ	Bıblıometrıc And Thematıc Analysıs Of Artıcles On Islamıc Law Publıshed In Dergiabant Journal (2013–2026)	359-360
Assist. Prof. Dr. Ertürk KARAAĞAÇ	The Effect Of Structured Health Counseling After Coronary Artery Bypass Surgery On Lifestyle And Risk Factor Management In The First Postoperatıe Year	361-363
Assist. Prof. Dr. Sevil YILMAZ Lect. Dr. Ozge OZTUNA ARAS	Mıcrobıologıcal Knowledge And Its Implıcatıons For Isolatıon Precautıons In Nursıng Practıce	364-378
Lect. Dr. Ozge OZTUNA ARAS Assist. Prof. Dr. Sevil YILMAZ	Antimikrobiyal Direncin Önlenmesi Ve Kontrolünde Hemşirenin Rolü	379-391
Fatma İVERENDİ TÜRKMEN Assist. Prof. Dr. Mustafa METE	Organizational Silence In Health Institutions: A Literature Review On The Causes, Organizational Factors And Consequences	392-405
Eczacı Nadia MOHAMMADİAN Eczacı Melisi SALOOR Assoc. Prof. Dr. Pınar MURSALOĞLU KAYNAR	Bacteriophage-Based Therapeutic Approaches For Multidrug-Resistant Infections	406-408
Uzman Dr. Serpil DOĞAN	Bacterıologıcal Spectrum And Antımıcrobıal Susceptıbılıty Profiles Of Bacterıal Isolates From Sterıle Body Fluıds In A Tertıary Care Hospıtal In Mogadıshu, Somalıa: A Retrospectıve Study	409-410
Kübra GÜNER Asst. Prof. Dr. İbrahim KARAKAYA Prof. Dr. Mustafa Kayhan BAHALI	Childhood Trauma And Psychological Resilience In Late Adolescents With Substance Use Disorder	411-412
Assist. Prof. Dr. Savaş NALİNCİ	Global Agricultural Policies In The Age Of Artificial Intelligence	413-433
Assist. Prof. Dr. Ahmet DURGUNGÖZ	Öğretmen Eğitiminde Bir Yapay Zekâ Okuryazarlığı Modülünün Tasarımı: Tasarım Kararları Ve Uygulamadan Çıkarımlar	434
Fadiş Rabia YILDIRIM Fatma YILDIRIM DALKIRAN Mehmet KONAR	Assessment Of Flıght Tıme Budget And Coverage Effıcıency In Unmanned Aerıal Vehıcle Image Collectıon Studıes	435-441
Res. Assist. Burak ÖZDEMİR	Socıal Medıa As An Ideologıcal State Apparatus: A Multımodal Crıtıcal Dıscourse Analysıs Of The Instagram Posts Of The Mınıstry Of Famıly And Socıal Servıces Of Türkiye	442-443
Hidayatova Firangiz Shahmurad gizi	Modularity In Education	444-449
Hidayatova Firangiz Shahmurad gizi	Characteristics Of The Levels Of Problem-Based Learning And Its Role In The Educational Process	450-455
Dr.Seher Berna KIRDÖK-TANSU Mustafa Burak ACAR Kemal Erdem BAŞARAN	Exploratory Analysıs Of Braınstem Proteomıc Patterns Associated Wıth Adenosıne A2a Receptor Blockade Durıng Chronıc Hypoxıa	456-464
Assist. Prof. Dr. Çiğdem KARACA Assist. Prof. Dr Nihal ÜREN Assist. Prof. Dr Mustafa ÖZTATLICI Assist. Prof. Dr Seçil EROĞLU Prof. Dr. Mehmet YÜNCÜ Assist. Prof. Dr Ayşegül Burçin YILDIRIM Dr.Öğr.Üyesi Nilgün OKŞAK	The Effect Of Ferulıc Acıd On The Vıabılıty And Mıgratıon Of SH-SY5Y Neuroblastoma Cells	465-467
Hasan Sulhan Assist. Prof. Yakup AKKOÇ Ersin Akgöllü	Cyp24a1 Rs1570669 Ve Rs2762934 Polimorfizmleri İle Mesane Kanseri Yatkınlığı Arasındaki İlişki: Türk Toplumunda Bir Olgu-Kontrol Çalışması	468
Uzm. Dr. Manolya Sancaktar Assoc. Prof. Dr. Nuray Bostancıeri Assist. Prof. Dr Çiğdem Karaca	The Effect of Damnacanthal on Cell Viability in A549 Lung Adenocarcinoma Cells	469-470
Assist. Prof. Dr Metin KOÇAK	Callus Inductıon in Rheum ribes L. Naturally Growıng in Van Provınce	471-472
Assist. Prof. Dr Yasemin ÜSTÜNDAĞ	Non-Invasıve Age Estımatıon In Dogs Based On Radıographıc And Tomographıc Dental Pulp Ratıos	473-474

Assoc. Prof. Dr. Mustafa GÜLER	Fragmentation And Sea Connection Of A Lagoon Barrier: Analysis Of Liman Lagoon In The Kızılırmak Delta Using A Sentinel-2 Time Series (2017–2026)	475-489
Assoc. Prof. Dr. Mustafa GÜLER	Temporal Change In Woody Cover Of The Kızılırmak Delta Floodplain Forest And The Effect Of Classification Method On The Results (1985-2025)	490-512
Assist. Prof. Dr. Filiz ASLAN	Black Envıronmentalısm In The Context Of Envıronmental Injustıce: A Theoretıcal Assessment	513-527
Asst. Prof. Dr. Enes Uğur TOHUM	The Paradox of Artificial Intelligence and Job Satisfaction in the Workplace: A Conceptual Approach	528-529
Assist.Prof. Dr. Mohammad Nadimur RAHMAN	Role Of Human Capıtal In Ensurıng Green Economıc Growth	530-541
Assist. Prof. Dr. Gulsah YAMAN UZUNOGLU	Pouch-Cell Study Of Addıtıve-Enhanced Pegda/Dtmpta Gel Polymer Electrolytes For Long-Lıfe And Hıgh-Voltage Lıthıum-Ion Batterıes	542
Lect. Dr. Fahriye SARI	Chalcogenıde Materıals For Energy Storage And Catalytıc Applıcatıons	543-558
Lect. Dr. Fahriye SARI	Heterojunctıon Engıneerıng In Graphıtıc Carbon Nıtrıde-Based Nanocomposıtes: Energy And Envıronmental Applıcatıons	559-573
Assist. Prof. Dr. Medet İTMEÇ	Finite Element Analysis Of Two Chisel Plough Shank Designs Using Different Steel Materials	574-586
Assist. Prof. Dr. Mehmet Ersin AYTEKİN	The Role Of Nano-Sized Zn Substıtutıng In Strontıum Sıtes On Flux Pinning Properties	587-606
Mohamed OUALD-MOUNTI Aziz EL GHAZOUANI Hamid SADIKI	Fuzzy Uncertainty Propagation and Finite-Time Tangent Dynamics in a -Caputo Lorenz System	607
B. KOPIKA Dr.S.Selvam	Adaptive AI in Video Games	608-612
J.Jeyavarshana Dr.S.Selvam	AI in Sports Performance and Injury Prevention	613-616
Maroua RIAD , Ahmad AL-SHAMI, Jamal MABROUKI	Epıgenetıc Regulatıon In Breast Cancer: Emergıng Mechanısms And Therapeutıc Opportunıtıes	617
Maryem Arraji , Mohamed Khalis, Mohamed Chahboune	Use Of Artificial İntelligence For Medication Adherence Assessment İn Patients With Type 2 Diabetes: An Exploratory Study İn Morocco Using Chatgpt And The Validated General Medication Adherence Scale	618-619
Moses Adeolu AGOI Samuel Olayiwola AJAGA Olajuwon Victor OLAYINKA Oluwanifemi Opeyemi AGOI	Adaptıve Agentıc Aı Systems For Autonomous Decısıon-Makıng In Dynamıc Computıng Networks	620-631
Sundas Afresham	Epıdemıology And Molecular Characterızatıon Of Eımerıa Specıes Infectıng Poultry In Selected Dıstrıcts Of Central Punjab, Pakıstan	632
Dr. Robraw ANN	Implementation and Challenges of Education Governance in Autonomous Public Schools: A Case Study of New Generation Schools in Phnom Penh, Cambodia	633
F.Joshwa Santhosh B.Ameer Raffi Dr. S. Selvam	AI-Powered Diagnosis vs Traditional Medical Diagnosis	634-639
Sajida Afrin Sinha, Akmal Ahmmed, Md Touhidul Islam Rahat	Heart Faılure Mortalıty Predıctıon Usıng Machıne Learnıng: A Comprehensıve Framework Wıth Explaınable Aı	640-641
EKENE ERIC NNAEMEKA AKANBI BELLO MUHAMMED PhD	Enhancing General Security and Minimizing Proxy through RFID Embedded ID card in the University of Abuja	642-643
Ummy Rubab , Muhammad Ibrahim, Irfa sakandar, Athar Javed	Design and Green Synthesis of Novel 1,2,3-Triazole-Based Hybrid Molecules: Integrated Computational Drug Discovery and Biological Evaluation Against Drug-Resistant Pathogens	644

Ravi Shankar Singh Pintu Das	Influence Of Time-Dependent Dispersion And Periodic Initial Distributions On Solute Transport İn Heterogeneous Fluid-Saturated Porous Media	645
Ar. Rida Zahra, Prof. Dr. Fariha Tariq, Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti, Dr. Ali Arsal, Prof. Dr. M. Asad Ghufran,	Desıgnıng Beyond Complıance: Integratıng Evıdence Based Archıtecture Into Healthcare Regulatory Frameworks In Punjab, Pakıstan	646
Deilton RIBEIRO BRASIL	Clımate Vulnerabılıty And The State Duty To Adapt: An Analysıs Of The Brazılıan Law No. 14,904/2024 From The Perspectıve Of Fundamental Rıghts	647-669
MSc. Nguyen Xuan Bach MSc. Phan Ngoc Thiet Ke	The Impact Of Pıckleball On The Mental Well-Beıng And Socıal Interactı On Skılls Of Students At The Unıversıty Of Danang, Vıet Nam	670-678
PhD Roxana Mihaela Moisoiu	Artificial Intelligence and the Need for International Legislation: Challenges and Perspectives	679-680
Ummy Rubab, Muhammad Ibrahim, Irfa Sakandar	Indole-3-Butyric Acid-Derived Hydrazones as Antibacterial and Antioxidant Agents: Integrated Experimental, DFT, Molecular Docking and ADMET Investigations	681-682
Ummy Rubab, Muhammad Ibrahim * , Irfa Sakandar	Design, Synthesis, Characterization, and Biological Evaluation of Novel Cholic Acid-Based Functionalized Amides	683-684
Mahwish Salman , Muhammad Asim Nawaz , Shahid Adeel , Muhammad Usama	From Microbial Pigment to Functional Textiles: Sustainable Prodigiosin-Based Coloration and Bio-Mordanting	685
Dr Amit Joshi Neil Siddharth Bibhabaree	Monetary Polıcy Under A Cost-Push Energy Shock: How Should The Bank Of England Balance Inflatıon Expectatıons And Output Stabılısatıon?	686-687
Danyaya Muhammad Shehu	Terrorism, Territorial Control, and the Changing Norms of Intervention in International Relations	688
Salma MAKDOUF, Karima El Bouqdaoui, Abdelhakim El Makssoudi, Mounia Cherki	Comparative Study of the Phytochemical Composition of Fumaria parviflora from Casablanca, El Jadida and Khouribga of Morocco	689
Mohammed Waheeb	The Rise and Fall of the Thamudic Civilization in Northwest Arabia and the Southern Levant	690-691
Afsheen Mahmood	Where Do We Stand in Blood Transfusion Practices: Insights From the First Clinical Audit From Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan	692
Monisha S Ranjani Soundhararajan	Biogenic Titanium Nanomaterials for Targeted Control of Oral Microbial Biofilms	693
SIRAJO SHEHU ALIYU OKPANACHI	The Effect Of Compensatıon Practıces On Employee Productıvıty, Access Bank Plc. Gusau Zamfara State Nıgerıa	694
Temitope Mary OLAYIWOLA	Understanding Environmental Consequences of Quarry Operations: Residents' Perception Study in the Neighbourhood of a Quarry in Osun state, Nigeria	695
Ibrahim Umar Malumfashi Abubakar Abdulkadir AbuAbdin	Sustainable Livestock Production Through Precision Feeding: Opportunities and Challenges in Enhancing Animal Performance and Environmental Sustainability	696-699
Jyoshna Reddy Vihaan Shetty Gunashree Seegehalli	Artificial Intelligence And The Future Of Employment: Assessing The Trade-Off Between Labour Substitution, Productivity Gains And Inclusive Economic Growth	700
Academician Prof Dr Ivan PAVLOVIĆ Prof Dr Jovan BOJKOVSKI Prof Dr Vesna KARAPETKOVSKA HRISTOVA MSc Ivanka HADŽIĆ	Iportance Of Skrjabınema Ovıs In Sheep Pathology	701
El Habib EL FAKIR , , Hayat LOUKILI , Khalid ZAROUAL , Faycel BENDIDI , Brahim ACHIOU , Abdellah SELLAM , Younes ABROUKI	An Ab-Initio Study Of The Adsorption Of H 2 O, Nacl, And Salt Water On Graphite And Graphene	702
Guma, Edward Pishikeni Musa, Gbaje Wumani Musa, Richard	Land Tenure Integratıon For Conflıct Resolutıon: Bassa-Egbura Dıspute In Kogı And Nassarawa State, Nıgerıa	703-718

Guma, Edward Pishikeni Musa, Gbaje Wumani Musa, Richard Haruna Favour John Abdulahi Gbenga David	Flood Rısk Assessment Of Lokoja Metropolıs Usıng Geospatıal Technıques	719-731
Maryam Bashir , Muhammad Adnan Sabir Mughal, Kashif Hussain	AI Powered Liquid Biopsy For Early Detection Of Lung Cancer: Clinical Applications And Limitations	732
Yahaya, F. ,Salihu, Fatima , Abdulazeez, Amina D. , Isah, Fatima, A. , Ndatsu, A.	Impact Of Spıder Advance Organısers On Academıc Achıevement Of Low-Achıevıng Secondary School Chemıstry Students In Mınna Metropolıs, Nıgerıa	733
PROF. DR.Lumturi Sena Sabah Sena	Evaluation Of Performance And Production Efficiency Indicators İn A Broiler Flock Based On Farm Management Practices	734-741
Dr. Anwesha Ghosh Ms. Snigdha Kuriyal	Investor Protection in the Age of Finfluencers: An Indian Perspective	742
Dr. RAHMOUNI Hanane	A Thought Towards A Professıonal Academıc Return To Unıversıty	743
Dr. Khursheed Alam	Automated Market Basket Analysis and Personalized Product Recommendation Using Association Rule Mining	744-749
Soumia Berrahou, Souhayla Latifi Sanaa Saoiabi	HAp/Cellulose Biofilms Derived from Moroccan Natural Resources: Preparation, Characterization, and Methylene Blue Adsorption	750
Abderrazzak Ihouaten Khadija El-Moustaqim Jamal Mabrouki	Activated Sludge Processes for Sustainable Wastewater Treatment: Principles,Challenges and Recent Advances	751
Muhammad Hanafi Ismail,Rashidi Othman ,Wan Syibrah Hanisah Wan Sulaiman	Evaluatıon Of Algal Properties And Chlorophyll Content For Lıght Reductıon In The Bult Envıronment	752-753
M. M. Maitala, J.P. Chollom , C.Y. Ishola ,A. Adams	A Block Hybrıd Lınear Multı-Step Method For The Solutıons Of Stıff Inıtıal Value Problems Of Ordınary Dıfferentıal Equatıons	754
Fatematuz Zohora Nigar Sultana,	The Effects of Financial and Non-Financial Rewards on Employee Motivation: Evidence from a Branch-Level Panel of ASA Bangladesh	755-756
Muhammad Zaky Rizqullah Nurrosidi	The Effect of Chopper Blade Patterns on the Performance of a Multifunctional Chopper Machine	757
ELANZAOUI Said	Aqueous Wastewater Treatment: Modeling the Adsorption Isotherms of Organic Pollutants on Red Spruce Sawdust Activated Carbon	758
Dr. Tahir Qureshi	Human Rights Violations in Armed Conflicts: The Role of the International Criminal Court	759-779
Hussam Musleh , Abdelylah Daoudi , Samy Mansy , Naji AlDahoudi, Abdelilah Lahmar,Yahia Boussoualem, Khaoula Ferchichi , Hadjer soufi	Engineering Interfacial Conduction in TiO2 Nanostructures for enhancement the Performance of CdS Quantum Dot-Sensitized Solar Cells	780-781
Shaima'u Aliyu YUNUSA Oladiran Amidu, OKUNLOLA	Technology-Enhanced Preservation Of Indigenous Culture For Inclusive And Resilient Early Childhood Education	782
Keerthana, Ameerah, Avinash, Dr. R Saravanan	AI Powered Smart Drug Delivery System	783
SWETHA J PHARM D-V YEAR Dr. K. Bharathi Priya	Fecal Mıcrobıota Transplantatıon For Decolonızatıon Of Multıdrug-Resıstant Organısms:An Emergıng Strategy Agaınst Antımıcrobıal Resıstance	784
Mohamed Sif Islam Cherif Soumeya Kaouche	Calcium and Magnesium Status of Peripartum Dairy Cows: A Comparative Assessment of Sétif and Mila, Eastern Algeria	785
Danyaya Muhammad Shehu Adamu Aminu	Global Perspectives on Terrorism and Its Implications to International Relations	786-792

Ayoub Ghailane, , Khadija El-Moustaqim, Jamal Mabrouki, and Younes Abrouki	Sustainable Desalination And İnnovative Technological Solutions To Climate Change	793
AMINU GARBA (Ph.D) MOHAMMED MUSA AHMED ABDULLAHI BARKUTA ABDULRAHMAN JIMADA	Impact Of Teachers' Motıvatıon On The Job Performance Of Prımary School Teachers In Chanchaga Local Government Area Of Nıger State, Nıgerıa	794-795
MOHAMMED MUSA AMINU GARBA (Ph.D) AHMED ABDULLAHI BARKUTA ABDULRAHMAN JIMADA	Counsellıng For Skılls Acquısıtıon, Entrepreneurshıp And Self-Relıance Among Nıgerıan Youths: A Conceptual And Theoretıcal Analysıs	796-797
Ayodeji, A. A , Adesanya, C. O ,Oriloye, E. M	Binary Logistic Analysis of Quality of Life Among Single Parents in Lagos Mainland Local Government Area, Yaba, Lagos, Nigeria	798
Khansa Atique	When The Nıght Never Gets Dark: Artıfıcıal Lıght And Nocturnal Anımal Behavıor	799
Akighirga Luter Richard	St. Petersburg State Electrotechnıcal Unıversıty "Letı" Named After V.I. Ulyanov (Lenıne)	800-801
Nodar Sulashvili , Nana Gorgaslidze , Nato Alavidze ,Marika Sulashvili, Lasha Tchelidze , Marina Giorgobiani ,Ada (Adel) Tadevosyan , Lali Patsia , Igor Seniuk , Giorgi Pkhakadze ,Vira Kravchenko , Magda Davitashvili , Olga Shapoval ,Nino Abuladze , Ketevani Gabunia , David Aphkhazava	The Scholarly Dıscourse On Monoclonal Antıbody-Based Immunotherapy: Global Scıentıfıc Perspectıves, Molecular Mechanısms, Therapeutıc Applıcatıons, Clınıcal Innovatıons, Precısıon Medıcıne, Bıoengıneerıng, Bıomarker Dıscovery, Immunologıcal Targetıng And Future Dırectıons	802-874
Nodar Sulashvili , Nana Gorgaslidze , Nato Alavidze ,Marika Sulashvili , Lasha Tchelidze , Marina Giorgobiani ,Ada (Adel) Tadevosyan , Lali Patsia , Igor Seniuk , Giorgi Pkhakadze ,Vira Kravchenko , Magda Davitashvili , Olga Shapoval ,Nino Abuladze , Ketevani Gabunia , David Aphkhazava	Scıentıfıc Dıscourse On Academıc Freedom Under Sıege: Global Challenges, Organızatıonal Intrusıons, Intellectual Autonomy, Scholarly Integrıty, Democratıc Values, Polıtıcal Interference,Censorshıp, Research Independence, Academıc Rıghts, Instıtutıonal Autonomy And Knowledge Productıon Globally	875-958
Ulviyya Asgarova	The Architecture Of Thought İn ELT	959
Sunita Chauhan Dr. Harsha Vincent	From The Rooster Coop To The Global City: Space, Precarity And The Struggle For Self İn Aravind Adiga's Novels	960-961
Dr.Nestan Akobia Dr.Nino Lomsadze Dr.Nino Bochorishvili	The Multimodal Shift: Analyzing The Linguistic And Pragmatic Impact Of Emojis On Digital English Writing	962-963
Garba Shambo Mohammed, Usman Zaliha Ndatsu, Muhammad Baba, 3Hussaini Musa Usman, Hauwakulu Saba	Artificial Intelligence In Education: Using Artificial Intelligence Tools In Teaching And Learning Processes In State Government–Owned Universities In North Central Nigeria	964
Usman Zaliha Ndatsu, Muhammad Baba, Hauwakulu Saba, Hajara Salihu	Effects Of AI-Powered Visualization Tool On Students Understanding And Retention Of Biology Concept İn Senior Secondary Schools İn Minna Metropolis	965
Raghav Sivakumar	Evaluating The Effectiveness Of Robotics In An Automobile Industry - Case Study Of Tesla	966
CHARLES Gideon, ISHIYAKU Bala, MOHAMMED Ishaq Mohammed	Determinants Of Smart Facilities Management Technology Adoption Among Practitioners In Abuja, Nigeria	967

SPOR ÖRGÜTLERINDE ALGORITMIK YÖNETIM: YAPAY ZEKÂ DESTEKLI KARARLARIN YÖNETSEL VE ETIK BOYUTLARI

Doç. Dr. İlker Günel
Osmaniye Korkut Ata University, School of Physical Education and Sports, Department of Sports Management, Osmaniye
ORCID ID: 0000-0001-7642-1707

ÖZET

Yapay zekâ ve algoritmik karar sistemleri spor örgütlerinde performans analizi, yetenek belirleme, sakatlık riski tahmini, personel ve kaynak planlama, taraftar etkileşimi, biletleme ve operasyon yönetimi gibi çok sayıda alanda kullanılmaya başlanmıştır. Bu gelişme, algoritmaların yalnız teknik destek aracı olmaktan çıkarak yönetsel kararların hazırlanması, sıralanması, önerilmesi ve bazı durumlarda otomatikleştirilmesinde rol üstlenmesine yol açmaktadır. Bu derlemenin amacı algoritmik yönetim kavramını spor örgütleri bağlamında incelemek ve yapay zekâ destekli kararların yönetsel ve etik boyutlarını değerlendirmektir. Güncel algoritmik yönetim literatürü, bu sistemlerin verimlilik ve öngörü kapasitesini artırabildiğini, ancak özerklik, kontrol, güç dağılımı ve çalışan deneyimi üzerinde çift yönlü etkiler yaratabildiğini göstermektedir. Spor alanındaki etik incelemelerde ise adalet ve önyargı, şeffaflık ve açıklanabilirlik, mahremiyet ve veri etiği ile hesap verebilirlik temel risk alanları olarak öne çıkmaktadır. Spor örgütleri açısından özellikle sporcu biyometrik verileri, yetenek seçimi, performans değerlendirmesi ve sözleşme kararları yüksek etkili uygulamalardır. Sonuç olarak algoritmik yönetim, insan kararını bütünüyle ikame eden otomasyon modeli yerine insan denetimi, açık sorumluluk, veri yönetişimi ve itiraz mekanizmalarını içeren bir karar destek sistemi olarak tasarlanmalıdır.

Anahtar Kelimeler: algoritmik yönetim, yapay zekâ, spor yönetimi, etik, karar verme, veri yönetişimi

ALGORITHMIC MANAGEMENT IN SPORT ORGANIZATIONS: MANAGERIAL AND ETHICAL DIMENSIONS OF AI-ASSISTED DECISIONS

ABSTRACT

Artificial intelligence and algorithmic decision systems are increasingly used in sport organizations for performance analytics, talent identification, injury-risk prediction, workforce and resource planning, fan engagement, ticketing, and operational management. As a result, algorithms are moving beyond a purely technical support role and are increasingly involved in preparing, ranking, recommending, and sometimes automating managerial decisions. This review examines algorithmic management in sport organizations and evaluates the managerial and ethical dimensions of AI-assisted decision-making. Recent algorithmic management research shows that such systems can improve efficiency, consistency, and predictive capacity,

while also producing ambivalent effects on autonomy, control, power distribution, and employee experience. Ethical research in sport identifies fairness and bias, transparency and explainability, privacy and data ethics, and accountability as the most prominent risk domains. Athlete biometric data, talent selection, performance evaluation, injury predictions, and contract-related decisions are particularly high-impact use cases because algorithmic outputs may influence careers and access to opportunities. The review argues that algorithmic management in sport should not be designed as a model that simply replaces human judgment. Instead, responsible implementation requires meaningful human oversight, clear responsibility allocation, robust data governance, validation across diverse populations, explainability proportional to decision impact, and accessible mechanisms for contesting or reviewing algorithm-assisted decisions.

Keywords: algorithmic management, artificial intelligence, sport management, ethics, decision-making, data governance

GİRİŞ

Yapay zekâ uygulamaları spor alanında hızla genişlemektedir. Makine öğrenmesi ve veri analitiği; performans ölçümü, taktik analiz, sakatlık tahmini, sağlık takibi, yetenek belirleme, taraftar kişiselleştirmesi ve operasyonel planlama gibi alanlarda kullanılmaktadır. Zhou ve arkadaşlarının (2025) anlatı derlemesi, yapay zekânın sporda biyomekanikten sağlık izlemesine ve antrenörlük kararlarına kadar geniş bir uygulama alanı oluşturduğunu, ancak veri yönetişimi, mahremiyet ve etik sorunların teknolojiyle eş zamanlı ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır.

Algoritmaların karar süreçlerine daha fazla katılması, 'algoritmik yönetim' kavramını spor örgütleri için de önemli hale getirmektedir. Algoritmik yönetim, yönetim görevlerinin veri ve algoritmalar aracılığıyla kısmen veya büyük ölçüde yürütülmesini ifade eder. Çalışan veya sporcu performansının izlenmesi, görevlerin dağıtılması, kaynakların önceliklendirilmesi, risk skorlarının oluşturulması veya adayların sıralanması bu kapsama girebilir. Keegan ve Meijerink (2025), algoritmik yönetimin platform ekonomisinin ötesine geçerek klasik örgütlerde de merkezî bir yönetim konusu haline geldiğini belirtmektedir.

Spor örgütleri bu açıdan özel bir bağlama sahiptir. Sporcu verileri çoğu zaman yalnız iş performansını değil sağlık, biyometri, uyku, konum ve fizyolojik durum gibi hassas bilgileri içerir. Ayrıca algoritmik bir karar, bir sporcunun kadroya alınması, oyun süresi, sakatlık sonrası dönüşü, transfer değeri veya sözleşme koşulları üzerinde etkili olabilir. Kim ve arkadaşlarının (2025) sistematik kapsam incelemesi, sporda yapay zekâ kullanımında adalet ve önyargı,

şeffaflık ve açıklanabilirlik, mahremiyet ve veri etiği ile hesap verebilirliğin temel etik sorunlar olduğunu göstermektedir.

Bu derlemenin amacı algoritmik yönetimi spor örgütlerinin karar yapıları açısından incelemek, yapay zekâ destekli kararların sağlayabileceği yönetsel kazanımları ve yaratabileceği etik riskleri birlikte değerlendirmek ve insan denetimine dayalı sorumlu kullanım için bir çerçeve ortaya koymaktır.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Algoritmik yönetimin kavramsal çerçevesi

Algoritmik yönetim yalnız 'yapay zekâ kullanmak' değildir. Bir sistemin yönetim fonksiyonunu ne ölçüde üstlendiği önemlidir. Algoritma yalnız veri görselleştiriyorsa karar yetkisi büyük ölçüde insandadır; adayları otomatik olarak sıralıyor, performans puanı oluşturuyor veya görev öneriyorsa yönetim sürecine daha aktif biçimde katılır. Chen ve arkadaşlarının (2026) 167 çalışmayı inceleyen sistematik araştırması, algoritmik yönetimi çalışan ve algoritma özerkliğinin kombinasyonlarına göre gözetim, denetim, tamamlayıcı destek ve iş birliği odaklı farklı konfigürasyonlarda değerlendirmektedir. Bu ayrım spor örgütleri için de yararlıdır.

Noponen ve arkadaşlarının (2024) sistematik incelemesi, algoritmik yönetimin çalışan özerkliğini hem kısıtlayabildiğini hem de güçlendirebildiğini; aynı zamanda dijital Taylorizm ve yeni güç ilişkileri tartışmalarını doğurduğunu göstermektedir. Bir algoritma rutin analiz yükünü azaltıp uzmana daha fazla zaman kazandırabilir; fakat performansı sürekli ölçen, hedefleri otomatik belirleyen ve sapmaları cezalandıran bir sistem aşırı kontrol yaratabilir. Bu nedenle algoritmik yönetimin etkisi teknolojinin varlığına değil, yönetim tasarımına bağlıdır.

Spor örgütünde bu tasarım farklı düzeylerde görülebilir. Performans departmanı algoritmayı bir karar destek aracı olarak kullanabilir; insan kaynakları departmanı işe alım veya performans değerlendirme süreçlerine otomatik skor ekleyebilir; ticari birim taraftar segmentasyonu ve fiyatlandırmada tahmin modellerinden yararlanabilir. Her kullanım alanının karar etkisi ve etik risk düzeyi farklı olduğundan tek tip yönetişim politikası yeterli değildir.

Yönetsel faydalar: hız, tutarlılık ve öngörü kapasitesi

Algoritmik sistemlerin en önemli yönetsel avantajı büyük ve karmaşık veri setlerinden kısa sürede örüntü çıkarabilmesidir. İnsan karar vericilerin aynı anda değerlendiremeyeceği sayıda performans, sağlık ve davranış göstergesi modellenebilir. Bu durum kaynak planlama, sakatlık riski, performans eğilimi veya taraftar talebi gibi alanlarda erken uyarı sağlayabilir. Tekrarlayan analizlerin otomatikleşmesi, uzmanların zamanını yorumlama ve strateji geliştirmeye ayırmasına imkân tanıyabilir.

İkinci avantaj tutarlılıktır. İnsan kararları yorgunluk, yakınlık, son olay etkisi veya farklı değerlendirme standartlarından etkilenebilir. İyi tasarlanmış bir algoritma aynı girdilere aynı işlemi uygulayarak süreç standardizasyonu sağlayabilir. Ancak bu avantaj, modelin adil olduğu anlamına gelmez. Eğer eğitim verisi geçmişteki önyargıları içeriyorsa algoritma bunları daha tutarlı biçimde yeniden üretebilir. Bu nedenle 'tutarlılık' ile 'adalet' birbirinden ayrılmalıdır.

Üçüncü avantaj senaryo ve tahmin kapasitesidir. Örneğin kadro planlamasında oyuncu yükü, maç takvimi ve sakatlık geçmişi bir arada değerlendirilerek risk skorları oluşturulabilir. Ticari yönetimde bilet talebi veya müşteri kaybı tahmin edilebilir. Ancak tahminler olasılıktır; kesinlik değildir. Yönetim açısından kritik hata, model çıktısının kararın kendisi olarak görülmesidir. Özellikle bireyin kariyerini etkileyen kararlarda algoritmik skor, bağlamsal bilgi ve uzman değerlendirmesiyle birlikte kullanılmalıdır.

İnsan-algoritma ilişkisi ve karar yetkisinin dağılımı

Algoritmik yönetimin temel yönetsel sorusu 'kararı kim verir?' sorusudur. İnsan karar verici algoritmanın önerisini değiştirebiliyor mu? Değiştiriyorsa gerekçe kaydediliyor mu? Algoritma hata yaptığında sorumluluk geliştiricide mi, veriyi sağlayanda mı, sistemi satın alan kurumda mı, yoksa son kararı veren yöneticide mi? Adensamer, Gsenger ve Klausner (2021), algoritmik karar desteğinde sorumluluğun tek bir kişiye indirgenemeyeceğini ve sistemin örgütsel bağlamıyla birlikte haritalanması gerektiğini savunmaktadır.

Raisch ve Krakowski'nin (2021) otomasyon-artırma paradoksu, yapay zekânın insanı tamamen ikame etmesi ile insan yetkinliğini desteklemesi arasındaki gerilimi açıklar. Spor yönetiminde yüksek etkili kararlar için artırma yaklaşımı daha uygun görünmektedir. Algoritma alternatifleri daraltabilir, tutarsızlıkları gösterebilir veya risk sinyali oluşturabilir; son karar ise bağlam, etik ve insan ilişkileri konusunda yetkin bir sorumlu tarafından verilmelidir.

Bununla birlikte 'insan son kararı verir' ifadesi tek başına yeterli güvence değildir. İnsanlar otomasyon yanlılığı nedeniyle algoritmanın önerisini sorgulamadan kabul edebilir. Tersine algoritma yanlılığı veya güvensizliği nedeniyle yararlı önerileri sistematik olarak reddedebilir. Bu nedenle sorumlu kullanım, kullanıcının modelin sınırlarını anlayabildiği, öneriye itiraz edebildiği ve alternatif bilgiye erişebildiği bir karar mimarisi gerektirir.

Adalet ve algoritmik önyargı

Sporda algoritmik yönetimin en kritik etik sorunlarından biri adalettir. Kim ve arkadaşları (2025), yapay zekâ etiği literatüründe adalet ve önyargıyı dört temel tema arasında belirlemiştir. Modeller geçmiş verilerden öğrenir; ancak geçmiş veriler temsili değilse, bazı

sporcu grupları daha az veriyle temsil ediliyorsa veya hedef değişken geçmiş kararların önyargısını içeriyorsa sonuçlar sistematik biçimde dezavantaj yaratabilir.

Yetenek seçimi buna iyi bir örnektir. Geçmişte belirli fiziksel özelliklere sahip sporcular daha fazla seçilmişse, yalnız geçmiş başarılı sporcular üzerinden eğitilen model alternatif yetenek profillerini düşük puanlayabilir. Benzer biçimde kadın sporcular, genç yaş grupları, engelli sporcular veya farklı etnik/popülasyon grupları için veri yetersizliği model performansını düşürebilir. Burada sorun yalnız istatistiksel doğruluk değil, fırsatlara erişimdir.

Adalet değerlendirmesi tek bir metriğe indirgenmemelidir. Modelin genel doğruluğu yüksekken belirli bir alt grupta hatası yüksek olabilir. Bu nedenle alt grup performansları, yanlış pozitif/yanlış negatif oranları, veri temsiliyeti ve model güncellemeleri izlenmelidir. Ayrıca spor örgütü, bir algoritmanın hangi kararları etkileyebileceğine dair etik sınırlar belirlemelidir. Bazı kararlar tamamen otomatikleştirilmemeli; algoritma yalnız destekleyici rol üstlenmelidir.

Şeffaflık, açıklanabilirlik ve itiraz hakkı

Karmaşık modeller yüksek tahmin performansı sağlarken karar mantığının kullanıcı tarafından anlaşılmasını zorlaştırabilir. Şeffaflık, tüm model kodunun herkese açılması anlamına gelmek zorunda değildir; veri kaynakları, amaç, temel değişkenler, performans sınırları ve karar sürecindeki rolün açıklanması daha işlevsel olabilir. Cheong (2024), yapay zekâ sistemlerinde şeffaflık ve hesap verebilirliğin teknik, hukuki ve örgütsel mekanizmaların birlikte tasarlanmasını gerektirdiğini vurgulamaktadır.

Spor örgütlerinde açıklanabilirlik, kararın etkisi yükseldikçe daha önemli hale gelir. Taraftar içerik önerisi için kullanılan model ile bir sporcunun sözleşme yenilenmesi veya sağlık riskine ilişkin kullanılan model aynı açıklama standardına tabi tutulmamalıdır. Yüksek etkili kararlarda kişi, hangi verilerin kullanıldığını, algoritmik çıktının kararda ne kadar ağırlık taşıdığını ve sonucu nasıl gözden geçirebileceğini bilmelidir.

İtiraz ve insan incelemesi, hesap verebilirliğin uygulamadaki temel aracıdır. Bir sporcu veya çalışan yanlış veri, bağlam eksikliği veya model hatası olduğunu düşündüğünde kararın yeniden değerlendirilmesini talep edebilmelidir. Bu mekanizma yalnız etik açıdan değil, model kalitesini geliştirmek için de önemlidir; itirazlar modelin sistematik zayıflıklarını görünür kılabilir.

Mahremiyet, biyometrik veri ve veri yönetişimi

Spor teknolojileri giderek daha ayrıntılı kişisel veri üretmektedir. Kalp hızı, uyku, GPS konumu, kuvvet ölçümleri, görüntüler, sağlık kayıtları ve psikolojik göstergeler performans

sistemleriyle birleştirilebilir. Kim ve arkadaşlarının (2025) incelemesinde mahremiyet ve veri etiği en sık tartışılan sorunlar arasında yer almıştır. Sporcu ile kulüp arasındaki güç dengesizliği, 'rıza' kavramını da karmaşıklaştırır; sözleşme veya kadro beklentisi bulunan bir sporcunun veri paylaşımını gerçekten özgürce reddedip reddedemeyeceği tartışmalıdır.

Veri minimizasyonu, amaç sınırlaması ve erişim kontrolü temel ilkeler olmalıdır. Her toplanabilen veri toplanmamalı; yalnız açık bir yönetsel veya sportif amaç için gerekli veri işlenmelidir. Sağlık verisi, performans verisi ve ticari veri için farklı erişim seviyeleri belirlenmelidir. Verinin saklama süresi, üçüncü taraf teknoloji sağlayıcılarına aktarımı ve model eğitimi için yeniden kullanımı açık politikalara bağlanmalıdır.

Uluslararası Olimpiyat Komitesi'nin 2024 Olympic AI Agenda girişimi, yapay zekânın spor ekosisteminde sorumlu biçimde uygulanmasını stratejik bir konu olarak tanımlamıştır. Avrupa Birliği Yapay Zekâ Tüzüğü'nün uygulama çerçevesi de risk yönetimi, veri yönetişimi, kayıt tutma, şeffaflık ve insan gözetimi gibi ilkeleri öne çıkarmaktadır. Spor örgütleri her uygulama doğrudan yüksek risk sınıfına girmese bile bu ilkeleri iyi yönetişim standardı olarak kullanabilir.

Hesap verebilirlik ve algoritmik yönetişim modeli

Algoritmik yönetimde sorumluluğun dağılması en önemli yönetişim sorunlarından biridir. Yazılım sağlayıcısı modelin teknik işleyişinden, veri ekibi veri kalitesinden, spor departmanı kullanım bağlamından, yönetici ise son karardan sorumlu olabilir. Bu zincirde roller tanımlanmamışsa hata durumunda herkes sorumluluğu başka aktöre yöneltebilir. Bu nedenle sistem devreye alınmadan önce sorumluluk matrisi hazırlanmalıdır.

Wang'ın (2026) örgütlerde algoritmik karar verme literatürünü sentezleyen çalışması, şeffaflık-opaklık, özerklik-kontrol, insan-algoritma ajansı ve keşif-kullanım arasında sürekli gerilimler bulunduğunu göstermektedir. Spor örgütlerinde iyi yönetişim bu gerilimleri ortadan kaldırmak yerine yönetmelidir. Örneğin daha fazla açıklanabilirlik bazen model performansını sınırlayabilir; daha fazla veri kişiselleştirmeyi artırırken mahremiyet riskini büyütebilir. Bu nedenle kararlar çok kriterli olmalıdır.

Pratik bir algoritmik yönetişim modeli en az şu unsurları içermelidir: kullanım amacı ve karar etkisinin tanımlanması; veri envanteri ve kalite kontrolü; model doğrulama ve alt grup performansı; insan denetimi; açıklanabilirlik düzeyi; erişim ve güvenlik; karar kaydı; periyodik denetim; hata ve olay bildirimi; itiraz ve yeniden inceleme süreci. Yüksek etkili kullanım alanlarında bağımsız etik veya veri yönetişimi değerlendirmesi de yararlı olabilir.

Spor yöneticileri için uygulama ilkeleri

Birinci ilke, teknoloji satın almadan önce karar problemini tanımlamaktır. Yapay zekâ 'yenilikçi görünmek' için değil, belirli bir sorun için kullanılmalıdır. İkinci ilke, otomasyon düzeyini kararın etkisine göre ayarlamaktır. Düşük etkili rutin süreçlerde daha yüksek otomasyon kabul edilebilirken sporcu kariyeri, sağlık veya sözleşme gibi yüksek etkili alanlarda anlamlı insan denetimi korunmalıdır.

Üçüncü ilke, modelin başarısını yalnız genel doğrulukla ölçmemektir. Farklı gruplarda hata oranları, veri kayması, yeni sezon veya farklı liglerde performans ve yanlış kararların maliyeti izlenmelidir. Dördüncü ilke, algoritmik kararların kayıt altına alınmasıdır. Hangi model sürümünün, hangi veriyle, hangi tarihte, hangi öneriyi ürettiği ve insan yöneticinin ne karar verdiği geriye dönük incelenebilmelidir.

Beşinci ilke, kullanıcı ve etkilenen kişilerin yapay zekâ okuryazarlığını artırmaktır. Antrenör veya yöneticinin kod yazması gerekmez; ancak modelin olasılıksal olduğunu, korelasyon ile nedenselliğin farklı olduğunu, veri kalitesinin çıktıyı belirlediğini ve algoritmanın bağlam dışı hatalar yapabileceğini anlaması gerekir. Son olarak spor örgütleri, teknolojik verimlilik hedeflerini adalet, sporcu refahı ve kurumsal güvenle birlikte değerlendirmelidir.

SONUÇ

Algoritmik yönetim spor örgütlerinde karar hızını, veri kullanımını ve öngörü kapasitesini artırma potansiyeline sahiptir. Bununla birlikte algoritmalar yönetsel gücün dağılımını değiştirmekte ve performans, işe alım, yetenek seçimi, sağlık ve sözleşme gibi yüksek etkili kararlarda yeni etik sorular doğurmaktadır. Güncel literatürde adalet ve önyargı, şeffaflık ve açıklanabilirlik, mahremiyet ve veri etiği ile hesap verebilirlik temel risk alanlarıdır.

Bu nedenle spor örgütlerinde yapay zekâ destekli karar sistemleri, insan kararını görünmez biçimde ikame eden kara kutular olarak değil, denetlenebilir karar destek sistemleri olarak tasarlanmalıdır. İnsan gözetimi, açık sorumluluk, veri minimizasyonu, alt grup doğrulaması, düzenli denetim ve itiraz mekanizmaları sorumlu algoritmik yönetimin temelini oluşturur. Spor yönetimi araştırmalarında gelecekte özellikle algoritmik kararların çalışan ve sporcu güveni, örgütsel adalet, özerklik, kariyer sonuçları ve yönetişim üzerindeki etkilerini ampirik olarak inceleyen çalışmalara ihtiyaç vardır.

KAYNAKÇA

Adensamer, A., Gsenger, R., & Klausner, L. D. (2021). “Computer says no”: Algorithmic decision support and organisational responsibility. Journal of Responsible Technology, 7–8, 100014. https://doi.org/10.1016/j.jrt.2021.100014

Chen, W., Li, A., Pan, C., Yu, T., Ali, A., & Sun, Y. (2026). Algorithmic management in the workplace: A systematic review and topic modeling integration using BERTopic. International Journal of Information Management, 86, 102994. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2025.102994

Cheong, B. C. (2024). Transparency and accountability in AI systems: Safeguarding wellbeing in the age of algorithmic decision-making. Frontiers in Human Dynamics, 6, 1421273. https://doi.org/10.3389/fhumd.2024.1421273

International Olympic Committee. (2024). Olympic AI Agenda. International Olympic Committee.

Keegan, A., & Meijerink, J. (2025). Algorithmic management in organizations? From edge case to center stage. Annual Review of Organizational Psychology and Organizational Behavior, 12, 395–422. https://doi.org/10.1146/annurev-orgpsych-110622-070928

Kim, J.-H., Kim, J., Kang, H., & Youn, B.-Y. (2025). Ethical implications of artificial intelligence in sport: A systematic scoping review. Journal of Sport and Health Science, 14, 101047. https://doi.org/10.1016/j.jshs.2025.101047

Noponen, N., Feshchenko, P., Auvinen, T., Luoma-aho, V., & Abrahamsson, P. (2024). Taylorism on steroids or enabling autonomy? A systematic review of algorithmic management. Management Review Quarterly, 74, 1695–1721. https://doi.org/10.1007/s11301-023-00345-5

Raisch, S., & Krakowski, S. (2021). Artificial intelligence and management: The automation–augmentation paradox. Academy of Management Review, 46(1), 192–210. https://doi.org/10.5465/amr.2018.0072

Wang, Y. (2026). Algorithmic decision-making in organizations: A systematic review toward an integrated tension alignment framework. Organization Management Journal, 23(1), 115–131. https://doi.org/10.1108/OMJ-11-2024-2342

Zhou, D., Keogh, J. W. L., Ma, Y., Tong, R. K. Y., Khan, A. R., & Jennings, N. R. (2025). Artificial intelligence in sport: A narrative review of applications, challenges and future trends. Journal of Sports Sciences, 1–16. https://doi.org/10.1080/02640414.2025.2518694

SPOR ÖRGÜTLERINDE DIJITAL DÖNÜŞÜME DIRENÇ: LIDERLIK, ÖRGÜT KÜLTÜRÜ VE TEKNOLOJI KABULÜ

Doç. Dr. İlker Günel
Osmaniye Korkut Ata University, School of Physical Education and Sports, Department of Sports Management, Osmaniye
ORCID ID: 0000-0001-7642-1707

ÖZET

Dijital dönüşüm, spor örgütlerinde yalnızca yeni yazılım ve donanımların kullanılması değil; karar süreçlerinin, hizmet sunumunun, çalışan rollerinin ve paydaş ilişkilerinin yeniden yapılandırılması anlamına gelmektedir. Bununla birlikte spor kulüpleri, federasyonlar ve gönüllü spor örgütlerinde dijital teknolojilerin benimsenmesi finansal ve teknik kısıtların yanı sıra çalışan direnci, geleneksel örgüt kültürü, dijital yetkinlik eksikliği ve liderlik yetersizlikleri nedeniyle yavaşlayabilmektedir. Bu derlemenin amacı spor örgütlerinde dijital dönüşüme direnci liderlik, örgüt kültürü ve teknoloji kabulü ekseninde incelemektir. Güncel spor yönetimi literatürü, dijital dönüşümün başarısının stratejik liderlik ve yönetişimle yakından ilişkili olduğunu; özellikle küçük ve gönüllü spor örgütlerinde kaynak ve beceri kısıtlarının daha görünür olduğunu göstermektedir. Genel örgüt yazınında ise dijital dönüşüme direncin yalnız teknoloji korkusundan kaynaklanmadığı; çalışanların iş güvencesi, statü, özerklik, yetkinlik ve mesleki kimlik gibi kaynaklara yönelik tehdit algılarıyla ilişkili olduğu belirtilmektedir. Teknoloji Kabul Modeli ve UTAUT yaklaşımı, algılanan yarar, kullanım kolaylığı, sosyal etki ve kolaylaştırıcı koşulların benimseme davranışını açıklamada yararlı çerçeveler sunmaktadır. Sonuç olarak spor örgütlerinde direnç, ortadan kaldırılması gereken irrasyonel bir engel olarak değil, dönüşüm tasarımındaki sorunlara işaret eden örgütsel geri bildirim olarak ele alınmalıdır.

Anahtar Kelimeler: dijital dönüşüm, spor örgütleri, değişime direnç, liderlik, örgüt kültürü, teknoloji kabulü

RESISTANCE TO DIGITAL TRANSFORMATION IN SPORT ORGANIZATIONS: LEADERSHIP, ORGANIZATIONAL CULTURE, AND TECHNOLOGY ACCEPTANCE

ABSTRACT

Digital transformation in sport organizations involves more than the adoption of new software and hardware; it reshapes decision processes, service delivery, employee roles, and stakeholder relationships. Yet digital adoption in sport clubs, federations, and voluntary sport organizations can be slowed by employee resistance, traditional organizational cultures, limited digital capabilities, resource constraints, and insufficient leadership. This review examines resistance to digital transformation in sport organizations through the lenses of leadership, organizational culture, and technology acceptance. Recent sport management literature indicates that

successful digital transformation depends strongly on strategic leadership and governance and that financial and capability constraints are particularly salient in smaller and voluntary sport organizations. Broader organizational research further suggests that resistance is not simply a fear of technology; it may emerge when employees perceive threats to job security, status, autonomy, competence, professional identity, or other valued resources. The Technology Acceptance Model and UTAUT provide useful explanations by emphasizing perceived usefulness, ease of use, social influence, and facilitating conditions. The review argues that resistance should not be treated as an irrational obstacle to be eliminated. Instead, it can function as organizational feedback revealing weaknesses in transformation design, communication, participation, training, and governance. Sustainable digital transformation in sport therefore requires participative leadership, culture change, capability development, transparent communication, and phased technology implementation.

Keywords: digital transformation, sport organizations, resistance to change, leadership, organizational culture, technology acceptance

GİRİŞ

Dijitalleşme spor endüstrisinin hemen her alanını dönüştürmektedir. Üyelik ve biletleme sistemleri, taraftar ilişkileri yönetimi, performans ve sağlık verileri, dijital yayıncılık, sosyal medya, finansal yönetim, insan kaynakları, gönüllü koordinasyonu ve kurumsal iletişim artık giderek daha fazla veri temelli ve platform aracılı biçimde yürütülmektedir. Ancak dijital dönüşüm, var olan süreçlerin elektronik ortama aktarılmasından daha geniş bir kavramdır. Organizasyonun değer üretme biçiminde, karar süreçlerinde, yapı ve kültüründe kalıcı değişiklikler gerektirir (Reis & Melão, 2023).

Spor örgütlerinin kendine özgü yapısı dijital dönüşüm sürecini karmaşıklaştırabilir. Profesyonel kulüpler ticari rekabet ve taraftar beklentileriyle hareket ederken federasyonlar düzenleyici ve kamusal sorumluluklar üstlenebilir; yerel ve gönüllü spor kulüplerinde ise sınırlı bütçe ve gönüllü emeği belirleyici olabilir. Falese ve arkadaşlarının (2026) sistematik incelemesi, spor örgütlerinde dijital dönüşüm literatürünün teknoloji benimseme, liderlik ve strateji, örgütsel değişim, dijital araçlar, taraftar etkileşimi, yönetişim, dönüşüm engelleri ile veri yönetimi ve mahremiyet olmak üzere birbirine bağlı temalar etrafında geliştiğini göstermektedir. Bu sonuç, sorunun yalnız teknik olmadığını açıkça ortaya koymaktadır.

Dijital dönüşüm projelerinde çalışanların veya yöneticilerin yeni sisteme direnç göstermesi çoğu zaman 'teknolojiye kapalı olmak' biçiminde yorumlanır. Oysa değişime direnç, belirsizlik, rol kaybı, iş güvencesi endişesi, artan performans izleme, yetkinlik yetersizliği veya örgütsel

kimlikle çatışma gibi çok farklı nedenlerden kaynaklanabilir. Cieslak ve Valor'un (2025) bütünleştirici incelemesi, dijital dönüşüme dirençte çalışanların değer verdikleri iş kaynaklarının tehdit altında olduğunu algılamalarının merkezi bir rol oynadığını göstermektedir. Spor örgütlerinde bu algı, geleneksel yönetim alışkanlıkları ve güçlü kurumsal mirasla daha da belirgin hale gelebilir.

Bu derlemede spor örgütlerinde dijital dönüşüme direnç üç temel eksen üzerinden ele alınmaktadır: liderlik, örgüt kültürü ve teknoloji kabulü. Amaç, direncin nedenlerini açıklamakla kalmayıp spor yöneticilerinin dönüşümü daha katılımcı, güvenilir ve sürdürülebilir biçimde yönetebilmesi için uygulanabilir bir çerçeve geliştirmektir.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Spor örgütlerinde dijital dönüşümün niteliği

Spor örgütlerinde dijital dönüşüm farklı olgunluk düzeylerinde gerçekleşmektedir. Bazı kurumlar yalnız temel iletişim ve üyelik süreçlerini dijitalleştirirken, daha gelişmiş örgütler veri analitiği, yapay zekâ, otomasyon, CRM sistemleri ve entegre karar destek altyapıları kullanmaktadır. Stegmann ve Lang'ın (2025) gönüllü spor örgütlerine ilişkin kapsam incelemesi, iletişim, veri yönetimi ve idari süreçleri destekleyen araçların daha yaygın kullanıldığını; daha karmaşık ve spor uygulamalarına doğrudan müdahale eden teknolojilerin görece sınırlı kaldığını göstermektedir. Dönüşümü destekleyen etkenler arasında örgütsel kapasite, dijital strateji, liderlik bağlılığı ve dijital okuryazarlık öne çıkmaktadır.

Büyük profesyonel spor örgütleri daha fazla finansal ve teknik kaynağa sahip olmakla birlikte, dönüşüm onlar için de otomatik değildir. Plattfaut ve Koch'un (2021) iki Alman profesyonel futbol kulübünde yürüttüğü çalışma, yenilikçi süreç teknolojilerinin benimsenmesinde beklenen verimlilik ve etkililik kazanımları ile kullanım kolaylığının önemli olduğunu; buna ek olarak sponsorlardan ve rekabet çevresinden gelen pazar baskısının benimsemeyi teşvik edebildiğini, taraftarların olumsuz tepki göstereceği algısının ise benimsemeyi sınırlayabildiğini ortaya koymuştur. Bu bulgu, spor örgütlerinde teknolojik kararların yalnız iç süreçlere değil, kulübün sosyal kimliği ve paydaş ilişkilerine bağlı olduğunu göstermektedir.

Direncin doğası: teknoloji korkusundan kaynak kaybı algısına

Dijital dönüşüme direnç açık veya örtük olabilir. Açık direnç, yeni sisteme karşı eleştiri, uygulamayı reddetme veya eski yöntemi savunma biçiminde görülebilir. Örtük direnç ise sistemin asgari düzeyde kullanılması, verilerin eksik girilmesi, paralel manuel kayıtların sürdürülmesi veya teknoloji hatalarının sürekli vurgulanması şeklinde ortaya çıkabilir. Bu davranışların altında yatan nedenler anlaşılmadan yalnız yaptırım veya zorunlu kullanım

yoluyla benimseme sağlamaya çalışmak, görünürde kullanım yaratırken gerçek entegrasyonu engelleyebilir.

Cieslak ve Valor (2025), dijital dönüşüme direncin çalışanların işte sahip olduğu kaynaklara yönelik tehditlerle ilişkili olduğunu ileri sürmektedir. Örneğin otomasyon, deneyimli bir çalışanın uzmanlığını değersizleştireceği algısını yaratabilir; veri analitiği, yöneticinin sezgisel karar yetkisini azaltabilir; performans takip sistemleri çalışanlarda sürekli gözetim hissi oluşturabilir. Spor örgütlerinde antrenörler, idari çalışanlar, gönüllüler ve yöneticiler farklı kaynakları tehdit altında görebilir. Bu nedenle tek tip değişim iletişimi yerine paydaş gruplarının kaygılarını ayrı ayrı anlamak gerekir.

Direncin bir başka boyutu mesleki ve örgütsel kimliktir. Spor kulüpleri özellikle köklü geçmişe sahip olduklarında gelenek, aidiyet ve 'kulübün yapış biçimi' güçlü normlar yaratabilir. Plattfaut ve Koch'un (2021) çalışmasındaki 'mirası koruma' teması bu durumu iyi yansıtmaktadır. Dijitalleşme taraftar veya üyeler tarafından örgütün özgünlüğünü zayıflatan aşırı ticarileşme veya insansızlaşma olarak algılanabilir. Bu nedenle teknoloji seçimi, örgütün değerleriyle uyumlu bir anlatı içinde sunulmalıdır.

Liderlik ve dönüşümün meşruiyeti

Dijital dönüşüm liderliği, teknoloji satın alma kararından daha geniştir. Liderlerin dönüşümün neden gerekli olduğunu açıklaması, öncelikleri belirlemesi, kaynak sağlaması, çalışanların kaygılarını dinlemesi ve teknoloji kullanımına ilişkin etik sınırları oluşturması gerekir. Falese ve arkadaşları (2026), spor örgütlerinde liderlik ve stratejik uyumun dijital yönetişim için merkezi olduğunu vurgulamaktadır. Parçalı teknoloji yatırımları, ortak hedef ve sorumluluk yapısı olmadığı takdirde birbirinden kopuk sistemler ve veri adacıkları yaratabilir.

Liderliğin en kritik etkilerinden biri değişimin meşruiyetini oluşturmasıdır. Çalışanlar yeni bir teknolojiye yalnız faydalı olduğu için değil, karar sürecini adil ve güvenilir bulduklarında daha açık yaklaşabilirler. Dönüşümün yukarıdan dayatılması, özellikle kullanıcı ihtiyaçları analiz edilmeden uygulamaya geçilmesi direnci artırabilir. Buna karşılık pilot uygulama, kullanıcı temsilcilerinin karar sürecine katılması, geri bildirim mekanizmaları ve hatalara tolerans gösteren öğrenme ortamı benimsemeyi kolaylaştırabilir.

Dijital liderliğin bir diğer görevi beceri açığını görünür kılmadan kapatmaktır. Yeni sistemlerin yalnız 'genç çalışanların işi' olarak sunulması deneyimli çalışanları dışlayabilir. Eğitim, yalnız teknik buton kullanımına indirgenmemeli; sistemin hangi problemi çözdüğü, verinin neden gerekli olduğu ve karar sürecinin nasıl değişeceği açıklanmalıdır. Liderlerin kendilerinin de

teknoloji kullanımında tutarlı davranması önemlidir. Üst yönetimin raporları hâlâ eski yöntemlerle talep etmesi, dijital dönüşümün sembolik olduğu mesajını verir.

Örgüt kültürü: dönüşümün görünmeyen altyapısı

Örgüt kültürü, çalışanların teknolojiye yaklaşımını belirleyen norm ve değerleri içerir. Yenilik denemeyi destekleyen, bilgiyi paylaşan ve hatalardan öğrenmeye izin veren kültürlerde dijital uygulamaların benimsenmesi daha kolay olabilir. Buna karşılık yüksek güç mesafesi, katı hiyerarşi, bilgi saklama ve hata cezalandırma kültürü yeni sistemlerin yalnız formel olarak kullanılmasına yol açabilir. Butt ve arkadaşları (2024), dijital dönüşüm için kültürün sosyal ve teknik sistemleri birleştirecek biçimde stratejik olarak yenilenmesi gerektiğini göstermektedir. Spor örgütlerinde kültürel dönüşümün özel bir boyutu, gönüllülük ve topluluk aidiyetidir. Gönüllü bir spor kulübünde dijital sistem, gönüllülerin iş yükünü azaltabilir; fakat karmaşık arayüzler veya zorunlu veri girişi tam tersine katılımı azaltabilir. Bu nedenle teknoloji 'profesyonelleşme' adı altında gönüllü katkının niteliğini göz ardı etmemelidir. Stegmann ve Lang (2025), dijital dönüşümde örgütsel kapasite ve dijital okuryazarlığın önemini vurgularken bu tür küçük örgütlerin kaynak sınırlılıklarına da dikkat çekmektedir.

Kültürel değişim, sloganlarla değil günlük rutinlerle gerçekleşir. Toplantılarda veri kullanımı, kararların kayıt altına alınması, birimler arası bilgi paylaşımı, dijital araçlarla iş birliği ve geri bildirim süreçleri yeni normları oluşturur. Spor yöneticilerinin dijital dönüşümü bir bilişim projesi olarak değil, çalışma biçiminin dönüşümü olarak görmesi bu nedenle önemlidir.

Teknoloji kabulü: yarar, kolaylık ve sosyal çevre

Teknoloji Kabul Modeli, kullanıcıların bir teknolojiyi benimsemesinde algılanan yarar ve algılanan kullanım kolaylığını temel değişkenler olarak ele alır (Davis, 1989). Spor örgütü çalışanı yeni üyelik sisteminin gerçekten zaman kazandıracağına inanmıyorsa veya sistem günlük iş akışını zorlaştırıyorsa zorunlu eğitim tek başına kalıcı kullanım üretmeyebilir. Kullanım kolaylığı yalnız arayüz tasarımıyla değil, sistemin mevcut süreçlerle uyumu, cihaz erişimi, teknik destek ve veri tekrarının önlenmesiyle ilişkilidir.

UTAUT yaklaşımı performans beklentisi, çaba beklentisi, sosyal etki ve kolaylaştırıcı koşulları teknoloji kabulünün başlıca belirleyicileri olarak bütünleştirmiştir (Venkatesh et al., 2003). Spor örgütlerinde sosyal etki özellikle önemlidir; teknik direktör, kulüp başkanı veya deneyimli yöneticilerin bir sisteme yönelik tutumları diğer çalışanların davranışını şekillendirebilir. Benzer şekilde altyapı yetersizliği veya teknik destek eksikliği, olumlu tutuma rağmen gerçek kullanımı sınırlar.

Spor teknolojilerinde kabul literatürü de bağlamın önemini göstermektedir. Spor teknolojisi kullanımına ilişkin modellerde kullanım amacı, motivasyon ve teknoloji özelliklerinin niyet üzerinde etkili olduğu gösterilmiştir. Dolayısıyla spor örgütlerindeki kurumsal sistemlerde de 'tek bir kullanıcı' varsayımı yerine farklı rollerin ihtiyaçları dikkate alınmalıdır. Yönetici karar özeti isterken saha personeli hızlı mobil giriş, gönüllü ise basit ve düşük zaman maliyetli kullanım bekleyebilir.

Direnci azaltmak için yönetsel uygulamalar

Birinci adım dönüşümün problem tanımını netleştirmektir. 'Dijitalleşmek zorundayız' ifadesi çalışan için anlamlı değildir. Bunun yerine mevcut süreçteki zaman kaybı, hata, iletişim kopukluğu veya hizmet kalitesi sorunu tanımlanmalı ve teknoloji bu probleme yanıt olarak konumlandırılmalıdır. İkinci olarak kullanıcıların erken aşamada sürece katılması gerekir. Sistem seçimi tamamlandıktan sonra yapılan 'fikir alma' toplantıları gerçek katılım yaratmaz; gereksinim analizi ve pilot tasarım aşamasında kullanıcı görüşü alınmalıdır.

Üçüncü adım kademeli uygulamadır. Kritik iş süreçlerinin tümünü aynı anda değiştirmek yerine sınırlı bir pilot alan belirlemek, sistem hatalarını ve eğitim gereksinimlerini görünür kılar. Dördüncü olarak dijital yetkinlik gelişimi sürekli hale getirilmelidir. Tek seferlik eğitim yerine kısa destek içerikleri, akran desteği ve erişilebilir teknik yardım sunulmalıdır. Beşinci olarak veri kullanım ilkeleri açıklanmalıdır. Çalışanın hangi verisinin toplandığı, kimlerin erişebildiği ve performans değerlendirmesinde nasıl kullanılacağı belirsizse teknolojiye duyulan güvensizlik artacaktır.

Son olarak başarı yalnız sistem giriş sayısıyla ölçülmemelidir. Dijital dönüşüm göstergeleri işlem süresi, veri kalitesi, kullanıcı memnuniyeti, tekrar iş oranı, hizmet kalitesi ve karar doğruluğu gibi sonuçları içermelidir. Çalışanların 'sistemi kullanıyor görünmesi' ile sürecin gerçekten dönüşmesi arasındaki fark bu göstergelerle anlaşılabilir.

SONUÇ

Spor örgütlerinde dijital dönüşüme direnç, teknolojinin niteliği kadar liderlik, kültür, iş tasarımı ve teknoloji kabulüyle ilişkili bir örgütsel olgudur. Güncel literatür, spor örgütlerinin dijitalleşmesinde liderlik bağlılığı, stratejik uyum, örgütsel kapasite ve dijital okuryazarlığın kritik olduğunu göstermektedir. Özellikle küçük ve gönüllü spor örgütlerinde finansal ve insan kaynağı kısıtları dönüşümü yavaşlatabilmektedir.

Direncin yalnız ortadan kaldırılması gereken bir engel olarak görülmesi yerine, çalışanların hangi kaynakları ve değerleri tehdit altında algıladığını gösteren bir geri bildirim olarak değerlendirilmesi daha işlevseldir. Spor yöneticileri teknoloji yatırımından önce problem

tanımı, kullanıcı katılımı, kültürel uyum, eğitim ve veri yönetişimi konularını planlamalıdır. Katılımcı liderlik, güvenli öğrenme ortamı ve matrise uygun teknoloji kabulü yaklaşımı, dijital dönüşümün teknik bir projeden örgütsel yetkinliğe dönüşmesini sağlayabilir.

KAYNAKÇA

Butt, A., Imran, F., Helo, P., & Kantola, J. (2024). Strategic design of culture for digital transformation. Long Range Planning, 57(2), 102415. https://doi.org/10.1016/j.lrp.2024.102415

Cieslak, V., & Valor, C. (2025). Moving beyond conventional resistance and resistors: An integrative review of employee resistance to digital transformation. Cogent Business & Management, 12(1), 2442550. https://doi.org/10.1080/23311975.2024.2442550

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. MIS Quarterly, 13(3), 319–340. https://doi.org/10.2307/249008

Falese, L., Di Palma, S., Digennaro, S., & Merten, S. (2026). Digital transformation in sport organizations: Toward a conceptual framework. Societies, 16(6), 175. https://doi.org/10.3390/soc16060175

Plattfaut, R., & Koch, J. (2021). Preserving the legacy – Why do professional soccer clubs (not) adopt innovative process technologies? A grounded theory study. Journal of Business Research, 136, 237–250. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2021.07.024

Reis, J., & Melão, N. (2023). Digital transformation: A meta-review and guidelines for future research. Heliyon, 9(1), e12834. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e12834

Stegmann, P., & Lang, G. (2025). Digital transformation in voluntary sports organizations: A scoping review on multi-level drivers, promoting factors, forms and consequences. Current Issues in Sport Science, 10(2), 053. https://doi.org/10.36950/2025.2ciss053

Venkatesh, V., Morris, M. G., Davis, G. B., & Davis, F. D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. MIS Quarterly, 27(3), 425–478. https://doi.org/10.2307/30036540

"KEMAN AĞITLARI" FİLMİNİN ENGELLİ BİREYLERE YÖNELİK TUTUMLAR AÇISINDAN İNCELENMESİ

Doç. Dr. Nisa Gökden KAYA
Hitit Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Çocuk Gelişimi Bölümü, Çorum, Türkiye
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-6969-371X
nisagokdenkaya@hitit.edu.tr

ÖZET

Önceleri sadece eğlence kültürü olarak algılanan sinema, günümüzde toplumları etkileme gücüne sahip bir kitle iletişim aracına dönüşmüştür. Son yıllarda engelli bireylerin yaşadıkları zorlukları beyaz perdeye aktararak yaşanan sorunların çözümüne ilişkin farkındalık yaratmayı amaçlayan sinema filmleri dikkat çekmektedir. Sinema, toplumun engelliliğe ilişkin algılarının şekillenmesinde önemli bir araçtır. Filmler aracılığıyla engelli bireylerin nasıl temsil edildiği, toplumun bu bireylere yönelik tutumlarını etkileyebilmektedir. Bu bağlamda bu çalışmada, senaristliğini ve yönetmenliğini Mehmet Tanrısever'in yaptığı 2020 yılı yapımı bir Türk filmi olan "Keman Ağıtları" filmi, engelli bireylere yönelik tutumlar açısından incelenmiştir. Filmdeki temel olay örgüsü; trafik kazası sonucunda fiziksel engelli hale gelen kemancı Mehmet ile zihinsel engelli Seher'in yaşamları, maruz kaldıkları toplumsal dışlanma ve istismar üzerine kuruludur. Nitel araştırma yöntemlerinden doküman incelemesi kullanılarak gerçekleştirilen çalışmada film; engelli bireyin temsili, toplumsal dışlanma, ayrımcılık, koruyucu tutumlar, istismar ve güçlendirme temaları çerçevesinde analiz edilmiştir. Bulgular, filmde hem fiziksel hem de zihinsel engelli karakterlerin toplumdaki önyargılar, dışlanma ve istismar biçimleriyle karşı karşıya bırakıldığını göstermektedir. Bununla birlikte film, engelli bireyleri yalnızca mağdur olarak sunmamakta, aynı zamanda mücadele eden ve özne konumunda bireyler olarak da temsil etmektedir. Film genel olarak değerlendirildiğinde, toplumdaki önyargıların engelli bireylerin yaşamlarını olumsuz etkilediğini ortaya koymakta ve engelliliğe ilişkin farkındalık geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Engelli bireylerin toplumsal yaşama tam ve eşit katılımının sağlanabilmesi için yalnızca bireysel değil, toplumsal dönüşümlerin de gerekli olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Sonuç olarak, toplumda engellilere yönelik olumlu tutum geliştirme ve toplumsal bilinçlenme konusunda sinema etkili bir araç olarak kullanılabilir. Ayrıca bu konuda yapılmış filmlerin bilimsel açıdan analiz edilmesi önerilebilir.

Anahtar kelimeler: engellilik, sinema, toplumsal tutumlar, engelli bireyler

AN EXAMINATION OF THE FILM "STRINGS OF SORROW" IN TERMS OF ATTITUDES TOWARDS INDIVIDUALS WITH DISABILITIES

ABSTRACT

Initially perceived solely as entertainment, cinema has transformed into a powerful mass communication tool capable of influencing societies. In recent years, films that aim to raise awareness about the challenges faced by individuals with disabilities and to find solutions to these problems have attracted attention. Cinema is a significant tool in shaping societal perceptions of disability. How individuals with disabilities are represented through films can influence societal attitudes towards them. In this context, this study examines the 2020 Turkish film "Violin Laments," written and directed by Mehmet Tanrısever, in terms of attitudes towards individuals with disabilities. The film's central plot revolves around the lives of Mehmet, a violinist who becomes physically disabled as a result of a traffic accident, and Seher, who has an intellectual disability, and the social exclusion and abuse they experience. Using document analysis, a qualitative research method, the study analyzes the film within the framework of themes such as the representation of individuals with disabilities, social exclusion, discrimination, protective attitudes, abuse, and empowerment. The findings show that both physically and intellectually disabled characters in the film are confronted with forms of societal prejudice, exclusion, and abuse. However, the film does not present disabled individuals solely as victims, but also represents them as individuals who struggle and are subjects in their own right. Overall, the film reveals how societal prejudices negatively impact the lives of disabled individuals and contributes to raising awareness about disability. It concludes that achieving full and equal participation of disabled individuals in social life requires not only individual but also societal transformations. In conclusion, cinema can be used as an effective tool in developing positive attitudes towards disabled people and raising social awareness. Furthermore, it is suggested that films made on this subject should be analyzed from a scientific perspective.

Keywords: disability, cinema, social attitudes, disabled individuals

GİRİŞ

Engellilik, doğum öncesi, doğum sırası veya doğum sonrası dönemde meydana gelen fiziksel, zihinsel veya duygusal bir sorun veya bir fonksiyon kaybı nedeniyle bireyin belirli bir işlevi yerine getirmede yaşadığı yetersizlik olarak tanımlanabilir (Özyürek, 2006). Engellilik, yalnızca bir sağlık sorunu olmayıp bireyin yaşadığı toplumsal çevreyle etkileşimi sonucunda ortaya çıkan sosyal bir olgu olarak değerlendirilmektedir (Öztabak, 2017). Benzer şekilde Barnes ve Mercer (2010) engelliliğin sadece bireysel değil, aynı zamanda toplumsal ilişkilere

gömülü bir inşa süreci olduğunu ifade etmektedir. Toplumun engelli bireylere yönelik tutumları, bu bireylerin eğitim, istihdam, sosyal yaşam ve bağımsız yaşam becerileri üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir. Bu bağlamda, engelliliğin sosyal boyutunda engelli bireyler toplumsal önyargılar ve dışlanma ile sıkça karşılaşabilmektedir (Ciminli vd., 2023).

Engellilik tarih boyunca her coğrafyada var olan bir durum olsa da 18. yüzyıla kadar toplumdan dışlanarak ihtiyaçları göz adı edilmiştir. Engelli bireylere yönelik ayrımcılık, yük olarak görme, alay etme veya acıma gibi olumsuz tutum ve davranışların temelinde önyargılar yatmaktadır (Aksoy, 2012). Antik çağlarda engelli bireylerin günahlar karşılığında verilmiş ilahi bir ceza olduğu düşüncesi ile ölüme terk edilmiştir (Barnes ve Mercer, 2005). Orta çağ ve öncesinde özellikle Avrupa'da olumsuz tutumlara maruz kalmış olan engelli bireyler ötekileştirilmiştir (Nazlı, 2012). Engelliliğe yönelik yaklaşımlar, toplumsal değişimlerle birlikte dönüşmüş ve bu doğrultuda önemli politikalar geliştirilmiştir (Baysal, 2019). Özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından sonra sosyal devlet anlayışının gelişmesiyle birlikte engelli bireylerin topluma katılımı konusunda bilinçlenme yaşanmıştır (Shakespeare, 2006).

Engelli bireyler, II. Dünya Savaşı sonrasında bazı yasal haklara kavuşmuştur (Aköğretmen, 2023). Birleşmiş Milletler tarafından 1975 yılında "Engelli Hakları Bildirgesi" ile engelli bireylerin diğer vatandaşlarla aynı temel haklara sahip olduğu uluslararası düzeyde kabul edilmiştir (Birleşmiş Milletler, 1975). Ancak her ne kadar yasal düzeyde engelli hakları yer alsa da uygulamada engelli bireylerin sağlık, eğitim, ulaşım gibi temel ihtiyaçlara erişimde sorunlarla karşı karşıya kaldığı yadsınamaz bir gerçektir (Çağlar, 2012).

Sinema, geniş kitlelere ulaşabilmesi bakımından önemli bir iletişim aracıdır (Öztürk, 2019). Kitle iletişim araçları içerisinde önemli bir yere sahip olan sinema, engelli bireylere yönelik toplumsal algıların oluşmasında ve sürdürülmesinde etkili rol oynamaktadır (Yılmazkol, 2025). Filmlerde engelli bireylerin nasıl temsil edildiği, toplumun bu bireylere ilişkin tutumlarını olumlu ya da olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu bağlamda, engelliliği konu edinen filmlerin incelenmesi önem taşımaktadır.

Senaristliğini ve yönetmenliğini Mehmet Tanrısever'in yaptığı 2020 yılı yapımı bir Türk filmi olan "Keman Ağıtları" filmi, trafik kazası sonucunda fiziksel engelli hale gelen kemancı Mehmet ile zihinsel engelli Seher'in yaşam öyküsünü konu almaktadır. Film, engelli bireylerin yaşadığı toplumsal sorunları ve maruz kaldıkları ayrımcılığı görünür kılması bakımından dikkat çekmektedir. Bu araştırmanın amacı, *Keman Ağıtları* filmini engelli bireylere yönelik tutumlar açısından analiz etmektir.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bu çalışma nitel araştırma yöntemlerinden doküman incelemesine dayanmaktadır. Araştırmanın veri kaynağını 2020 yapımı *Keman Ağıtları* filmi oluşturmaktadır. Filmin afişi Görsel 1'de yer almaktadır.

Görsel 1. Filmin afişi

Ulusal ve uluslararası festivallerde 40'ın üzerinde ödül elde eden filmin künyesi Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Filmin künyesi

Tür	Dram
Süre	102 dk
Yönetmen	Mehmet Tanrısever
Senarist	Mehmet Tanrısever
Oyuncular	Tarık Tanrısever, Reyhan Asena Keskinci, Soydan Soydaş, Gülin Tokat, Mehmet Tanrısever
Filmin Özeti	Başarılı bir kemancı olan Mehmet geçirdiği trafik kazası sonucunda yürüme engelli hale gelir. Annesinin ölümüyle yalnız ve çaresiz kalınca, zihinsel engelli Seher ile yeni bir hayat kurar. İki karakter arasında güçlü bir dayanışma gelişir. Ancak mahallede yaşayan kötü niyetli serseriler Seher'e yönelik istismar ve taciz davranışlarında bulunur. Seher'i taciz eden serseriler, Seher'in ölümüne sebep olur. Seher'in ölüm acısıyla intikam yemini alan Mehmet yürüme engeline rağmen serserilerle tek tek yüzleşir. Film boyunca engelli bireylerin toplumla ilişkileri, karşılaştıkları önyargılar ve yaşadıkları zorluklar ön plana çıkarılmaktadır.
Kazandığı Ödüllerden Bazıları	DRUK International Film Festivalinde 2020 yılında En İyi Erkek Oyuncu (Tarık Tanrısever) En İyi Uzun Metraj Film (Mehmet Tanrısever) En İyi Yönetmen (Mehmet Tanrısever) Engellilik Konulu En İyi Film (Mehmet Tanrısever) (https://www.imdb.com/title/tt10682112/awards/) Istanbul Film Awards (2020): En İyi Yönetmen- Uzun Metraj Film (Mehmet Tanrısever)

Kaynak: https://www.sinemalar.com/film/264199/keman-agitlari

Bu çalışmada film, içerik analizi yöntemiyle değerlendirilmiştir. Engelli bireylerin temsili, toplumsal dışlanma, ayrımcılık, istismar, bağımsız yaşam ve güçlendirme olmak üzere 5 tema belirlenmiştir. Film, belirlenen bu temalar çerçevesinde incelenmiştir.

1. Engelli Bireylerin Toplumsal Dışlanması

Filmde hem Mehmet hem de Seher toplumun farklı biçimlerde dışlayıcı tutumlarına maruz kalmaktadır. Mehmet'in fiziksel engeli nedeniyle bağımsız hareket edemeyeceği düşünülmekte, Seher ise zihinsel yetersizliği nedeniyle toplum tarafından korunmasız ve güçsüz biri olarak görülmektedir.

Bu durum, engelli bireylerin toplum tarafından çoğu zaman yetersizlikleri üzerinden değerlendirildiğini göstermektedir. Filmde engelli bireylerin sosyal çevre içerisinde eşit bireyler olarak kabul edilmekte zorlandıkları görülmektedir.

2. Engelli Kadınlara Yönelik Çifte Dezavantaj

Seher karakteri filmde yalnızca engelli olması nedeniyle değil, aynı zamanda kadın olması nedeniyle de risk altında gösterilmektedir. Özellikle maruz kaldığı taciz ve istismar sahneleri, engelli kadınların toplumda daha yüksek düzeyde korunmasızlık yaşayabildiklerine işaret etmektedir.

Film bu yönüyle engellilik ve toplumsal cinsiyetin kesişiminde ortaya çıkan çoklu dezavantajları görünür hale getirmektedir.

3. Acıma ve Korumacı Yaklaşımlar

Film boyunca engelli bireylere yönelik zaman zaman korumacı ve acıma temelli yaklaşımlar dikkat çekmektedir. Bu tür tutumlar ilk bakışta olumlu görünse de engelli bireyin bağımsızlığını ve öz yeterlik algısını sınırlandırabilmektedir.

Engelli bireylerin toplumsal yaşama katılımlarını desteklemek yerine onları sürekli korunmaya muhtaç kişiler olarak görmek, modern engellilik anlayışıyla çelişmektedir.

4. Engelli Bireyin Güçlü ve Mücadeleci Temsili

Filmin dikkat çekici yönlerinden biri, Mehmet karakterinin yalnızca mağdur bir birey olarak sunulmamasıdır. Mehmet, yaşadığı fiziksel engeline rağmen mücadele eden, karar alan ve olayların akışını değiştiren aktif bir karakter olarak temsil edilmektedir.

Bu durum, sinemada sıklıkla karşılaşılan "pasif engelli birey" stereotipinin kısmen kırıldığını göstermektedir. Mehmet'in özne konumunda sunulması, engelli bireylerin yeterliliklerini vurgulayan olumlu bir temsil örneği olarak değerlendirilebilir.

5. Toplumsal Önyargı ve Ayrımcılık

Filmde engelli bireylere yönelik ayrımcı tutumlar açık biçimde işlenmektedir. Özellikle Seher'e yönelik davranışlar, toplumdaki bazı bireylerin engelliliği güçsüzlük olarak algıladığını göstermektedir.

Film, engelli bireylerin yalnızca fiziksel engellerle değil, toplumsal önyargılarla da mücadele etmek zorunda kaldıklarını ortaya koymaktadır.

SONUÇ

Araştırma bulguları, filmde engelli bireylerin hem sosyal model hem de tıbbi model çerçevesinde temsil edildiğini göstermektedir. Bir taraftan karakterlerin yaşadıkları güçlükler

engellerinden kaynaklanıyor gibi sunulurken, diğer taraftan asıl sorunun toplumun dışlayıcı ve ayrımcı tutumları olduğu vurgulanmaktadır.

Literatürde engelli bireylerin sinemada çoğunlukla acınacak, korunmaya muhtaç veya kahramanlaştırılmış karakterler olarak temsil edildiği belirtilmektedir. *Keman Ağıtları* filminde bu temsillerin izlerine rastlanmakla birlikte Mehmet karakterinin güçlü, mücadeleci ve bağımsız bir birey olarak sunulması olumlu bir farklılık oluşturmaktadır.

Film ayrıca zihinsel engelli kadınların maruz kalabileceği istismar risklerini görünür kılması bakımından önemlidir. Bulut ve Karaman (2018) engelli bireylerin şiddet ve istismar açısından daha yüksek risk altında olduklarını belirtmektedir. Seher karakteri bu durumu sinematik bir örnek üzerinden ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte filmde bazı sahnelerde engelli bireylerin trajedi ve mağduriyet ekseninde ele alınması, engelliliğin dramatik bir unsur olarak kullanıldığı yönünde eleştirilere de açık görünmektedir. Modern kapsayıcı yaklaşım, engelli bireylerin yalnızca sorun yaşayan kişiler olarak değil, toplumun doğal bir parçası olarak temsil edilmesini önermektedir.

Keman Ağıtları filmi, engelli bireylere yönelik toplumsal tutumları görünür kılan önemli yapımlardan biridir. Filmde fiziksel ve zihinsel engelli karakterlerin karşılaştıkları ayrımcılık, dışlanma ve istismar örnekleri dikkat çekmektedir. Bununla birlikte engelli bireylerin güçlü, mücadeleci ve bağımsız yönleri de vurgulanmaktadır.

Film genel olarak değerlendirildiğinde, toplumdaki önyargıların engelli bireylerin yaşamlarını olumsuz etkilediğini ortaya koymakta ve engelliliğe ilişkin farkındalık geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Engelli bireylerin toplumsal yaşama tam ve eşit katılımının sağlanabilmesi için yalnızca bireysel değil, toplumsal dönüşümlerin de gerekli olduğu sonucuna ulaşılmaktadır.

KAYNAKÇA

Aköğretmen, M. (2023). Batı'da engelli emeğinin kısa tarihi: Engellilik modelleri bağlamında bir değerlendirme. *HAK-İŞ Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi,* 12(32), 129-144.

Aksoy, V. (2012). Tutumlara etki eden faktörler. İ. H. Diken içinde, *Engellilere Yönelik Tutumlar* (s. 22-48). Ankara: Vize Yayınları.

Barnes, C., & Mercer, G. (2005). Disability, Work, And Welfare: Challenging The Social Exclusion Of Disabled People. Work, Employment And Society, 19(3), 527–545. Https://Doi.Org/10.1177/0950017005055669

Barnes, C. ve Mercer, G. (2010). *Exploring Disability* (2nd ed.). Polity Press.

Baysal, Ş. (2019). *Toplum temelli rehabilitasyon modelleri üzerine bir inceleme: Engellilerin sosyal rehabilitasyonu.* Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi, İstanbul.

Birleşmiş Milletler (1975). *Engelli Hakları Bildirgesi,* http://eyh.aile.gov.tr/data/54256071369dc314a097ec24/humanrightsofpersonswithdisabilities.doc,

Bulut, S., & Karaman, H. B. (2018). Engelli bireylerin cinsel, fiziksel ve duygusal istismarı. *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Özel Eğitim Dergisi,* 19(2), 277-301. doi: 10.21565/ozelegitimdergisi.382961

Ciminli, A., Yılmaz A. T. & Kazdal C. (2023). Ortopedik engelli bireylerde iyi oluş ve sosyal dışlanma arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Bayburt Eğitim Fakültesi Dergisi,* 18 (37), 241-257.

Çağlar, S. (2012). Engellilerin erişebilirlik hakkı ve Türkiye'de erişebilirlikleri. *Ankara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi,* 61(2), 541-598. https://doi.org/10.1501/Hukfak_0000001666

https://www.sinemalar.com/film/264199/keman-agitlari

Nazlı, A. (2012). "Öteki Beden": Bir Ötekilik Biçimi Olarak Engelli Beden ve Engellilik. *Sosyoloji Dergisi,* 27, 15-32. https://izlik.org/JA77XL76BN

Öztabak, M. Ü. (2017). Engelli Bireylerin Yaşamdan Beklentilerinin İncelenmesi. *FSM İlmî Araştırmalar İnsan ve Toplum Bilimleri Dergisi,* (9), 355-375. https://doi.org/10.16947/fsmia.323388.

Öztürk, M. H. (2019). *Bir kitle iletişim aracı olarak sinema ve postmodern sinema ile algı yönetimi.* Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Özyürek, M. (2006). *Tutumlar ve yetersizlikten etkilenmişlere yönelik tutumların değiştirilmesi,* Kök Yayınları, Ankara.

Shakespeare, T. (2006). *Disability Rights And Wrongs.* Routledge.

Yılmazkol, Ö. (2025). Engelli Karakterlerin Temsilinde Filmlerin Enformatik Rolü: 'Coda' Filmi Örneği. *Sosyal Politika Çalışmaları Dergisi,* 25(67), 426-450. DOI:10.21560/spcd.vi.1595748

CHRISTY BROWN'IN SOL AYAĞI İLE ENGELLERİ AŞMA MÜCADELESİ

Doç. Dr. Nisa Gökden KAYA
Hitit Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Çocuk Gelişimi Bölümü, Çorum, Türkiye
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-6969-371X
nisagokdenkaya@hitit.edu.tr

ÖZET

Christy Brown, 5 Haziran 1932 tarihinde İrlanda'nın Dublin şehrinde, beyin felci (serebral palsi) hastası olarak dünyaya gelmiştir. 22 çocuğundan 13'ü hayatta kalan bir ailede büyümüştür. Beyin felci nedeniyle, sol ayağı hariç bedenini kontrol edemeyen Brown, çevrenin onu zihinsel engelli sanması nedeniyle yaşadığı derin yalnızlık, yabancılaşma ve iletişim kuramamanın getirdiği öfke ve çaresizlik duygularını yaşamıştır. Ancak kalabalık ve işçi sınıfı ailesi Christy'i bir "yük" olarak değil, ailenin eşit bir ferdi olarak kabul görmüştür. Beş yaşındayken, toplumun ve tıp dünyasının umut kestiği noktada annesi Bridget Brown'ın koşulsuz sevgisi ve desteği sayesinde sol ayağını kullanarak yazı yazmayı ve resim yapmayı başarmıştır. Hem fiziksel engeli hem de toplumun önyargıları nedeniyle karşılaştığı zorlukları 1954 yılında yayımlanan "Sol Ayağım" adlı otobiyografik romanı ile geniş kitlelere anlatmıştır. Yazımı dört yıl süren bu eserde, önce öfke ve depresyonla başlayan bu yolculuğun kendi yeteneklerini keşfederek durumu kabullenme aşamasına gelmesi konu edilmektedir. Başka bir ifadeyle bu eser, benlik karmaşasını aşma, psikolojik dayanıklılık geliştirme ve sanatsal katarsis yoluyla öz-gerçekleştirimini tamamlama sürecini dile getirmektedir. Daha sonra bu otobiyografik eser 1989 yılında aynı adla sinemaya uyarlanmış ve Oscar Akademi ödülünü kazanmıştır. Engelleri aşma mücadelesini anlatan otobiyografik romanı ve filmi ile dünya çapında üne kavuşmuştur. 1981 yılında hayata gözlerini yuman Brown, 49 yıllık yaşamında ürettiği resimler, şiirler ve "Sol Ayağım" başta olmak üzere kaleme aldığı nitelikli edebiyat eserleriyle kendi kimliğini inşa ederek birçok kişiye ilham olmuştur. Beyin felçli bir bireyin yaşadığı zorlukları, engelleri aşmak için kendisinin ve ailesinin çabalarını gözler önüne sermesi nedeniyle Christy Brown'ın mücadelesi, yalnızca fiziksel engelleri aşma hikayesi değil; iletişimsizlik duvarını sol ayağının tek bir parmağıyla yıkan zihinsel ve sanatsal bir özgürleşme destanıdır. Bu çalışma, Christy Brown'ın "Sol Ayağım" adlı otobiyografik eseri ekseninde, ağır fiziksel engelli bir bireyin benlik inşasını ve psikolojik mücadele süreçlerini incelemeyi amaçlamaktadır.

Anahtar kelimeler: engellilik, Christy Brown, Sol Ayağım

CHRISTY BROWN'S STRUGGLE TO OVERCOME OBSTACLES WITH HIS LEFT FOOT

ABSTRACT

Christy Brown was born on June 5, 1932, in Dublin, Ireland, with cerebral palsy. He grew up in a family where 13 of 22 children survived. Unable to control his body except for his left foot due to cerebral palsy, Brown experienced profound loneliness, alienation, and anger and helplessness stemming from his inability to communicate, as those around him perceived him as mentally disabled. However, his large, working-class family accepted Christy not as a "burden," but as an equal member. At the age of five, when society and the medical world had given up hope, thanks to the unconditional love and support of his mother, Bridget Brown, he managed to write and draw using his left foot. He shared the difficulties he faced due to both his physical disability and societal prejudices with a wider audience in his autobiographical novel, "My Left Foot," published in 1954. This work, which took four years to write, depicts his journey, beginning with anger and depression, and culminating in acceptance of his condition through the discovery of his own abilities. In other words, this work expresses the process of overcoming self-confusion, developing psychological resilience, and completing self-realization through artistic catharsis. Later, this autobiographical work was adapted into a film of the same name in 1989 and won an Academy Award. He gained worldwide fame with his autobiographical novel and film, which depict his struggle to overcome obstacles. Brown, who passed away in 1981, inspired many by building his own identity through the paintings, poems, and high-quality literary works he produced during his 49-year life, most notably "My Left Foot." Christy Brown's struggle, which reveals the difficulties faced by an individual with cerebral palsy and the efforts of himself and his family to overcome obstacles, is not only a story of overcoming physical disabilities; it is an epic of mental and artistic liberation, breaking down the wall of communication with a single toe of his left foot. This study aims to examine the self-construction and psychological struggle processes of an individual with severe physical disabilities, focusing on Christy Brown's autobiographical work, "My Left Foot."

Keywords: disability, Christy Brown, My Left Foot

GİRİŞ

Engel, bireyin yetersizliğinden dolayı yaş, cins, sosyal ve kültürel olarak yerine getirmesi gereken rolleri yapamaması durumudur (Özsoy vd., 1998). Engel, doğum öncesi, doğum sırası veya doğum sonrası nedenlere bağlı olarak oluşabilmektedir. Engelli bireyler de öğrenme bozukluğu olanlar, zihinsel engelliler, görme engelliler, işitme engelliler, otizm spektrum bozukluğu olanlar ve bedensel engelliler şeklinde sınıflandırılmaktadır (Cavkaytar, 2008).

Bedensel engelliler, bütün düzeltmelere karşın iskelet, kas, sinir sistemi ve eklemlerdeki yetersizliklerden dolayı bir etkinlik yapma kabiliyeti kısıtlı olan bireylerdir (Özyürek, 2009). Bedensel engellik türleri içinde en sık görülenlerden biri serebral palsi diğer adıyla beyin felcidir. Beyinde oluşan lezyon sonucu meydana gelen, ilerleyici olmayan bir hareket ve postür bozukluğudur (El vd., 2007). Doğum öncesi nedenleri arasında genetik etmenler, gebelik sırasında annenin bilinçsiz ilaç kullanımı, radyasyona maruz kalması veya enfeksiyon geçirmesi sayılabilir. Doğum sırasında bebeğin oksijensiz kalması, prematüre veya zor doğumlar ile doğum sonrasında beynin enfeksiyon ya da yaralanmalar sonucu hasara uğraması da serebral palsinin nedenlerindendir (Temel ve Dere Çiftçi, 2020). Lezyonun oluştuğu yere ve şiddetine göre değişik tipleri bulunmaktadır. Beyinde hasarın olduğu bölgeye göre kaslarda gerginlik, istemsiz kasılmalar ve hareketler, titreme ya da denge bozukluklarına yol açmaktadır (Hallahan ve Kauffman, 2003). Hastalık ne kadar erken dönemde tanılanarak tedavi edilirse, çocukta o kadar az hasar oluşur.

Bu çalışma, serebral palsi hastası Christy Brown'ın "Sol Ayağım" adlı otobiyografik eseri ekseninde, ağır fiziksel engelli bir bireyin benlik inşasını ve psikolojik mücadele süreçlerini incelemeyi amaçlamaktadır. Brown'un yaşadığı sorunlar, toplumun bakış açısı, ailesinin tutumu ve kişisel mücadelesi çerçevesinde engelli bireylerin sosyal hayata uyum sağlaması için yapılması gerekenler tartışılmaktadır. Ayıca engelli hakları bağlamda, toplumun bu konuda bilinçlenmesinin önemi ele alınmaktadır.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

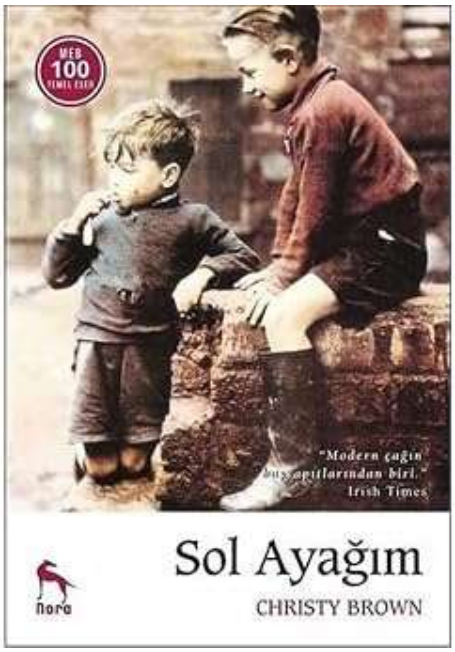
Christy Brown'un Hayatı

Christy Brown, 5 Haziran 1932 tarihinde İrlanda'nın Dublin şehrinde, beyin felci (serebral palsi) hastası olarak dünyaya gelmiştir. 22 çocuğundan 13'ü hayatta kalan bir ailede büyümüştür. Beyin felci nedeniyle, sol ayağı hariç bedenini kontrol edemeyen Brown, çevrenin onu zihinsel engelli sanması nedeniyle yaşadığı derin yalnızlık, yabancılaşma ve iletişim kuramamanın getirdiği öfke ve çaresizlik duygularını yaşamıştır. Ancak kalabalık ve işçi sınıfı ailesi Christy'i bir "yük" olarak değil, ailenin eşit bir ferdi olarak kabul görmüştür. Beş yaşındayken, toplumun ve tıp dünyasının umut kestiği noktada annesi Bridget Brown'ın koşulsuz sevgisi ve desteği sayesinde sol ayağını kullanarak yazı yazmayı ve resim yapmayı başarmıştır. Görsel 1'de Christy Brown'un sol ayağı ile resim yaptığı bir fotoğraf yer almaktadır.

Görsel 1. Christy Brown'un sol ayağı ile resim yaptığı bir fotoğraf

Dr. Robert Collis ve ekibinin desteğiyle yoğun fizyoterapi programı sayesinde kas koordinasyonu gelişerek konuşma becerisi kazanmıştır. Hem fiziksel engeli hem de toplumun önyargıları nedeniyle karşılaştığı zorlukları 1954 yılında yayımlanan "Sol Ayağım" adlı otobiyografik romanı ile geniş kitlelere anlatmıştır. Yazımı dört yıl süren bu eserde, önce öfke ve depresyonla başlayan bu yolculuğun kendi yeteneklerini keşfederek durumu kabullenme aşamasına gelmesi konu edilmektedir. Başka bir ifadeyle bu eser, benlik karmaşasını aşma, psikolojik dayanıklılık geliştirme ve sanatsal katarsis yoluyla öz-gerçekleştirimini tamamlama sürecini dile getirmektedir. Ayrıca "Sol Ayağım" Millî Eğitim Bakanlığı (MEB) tarafından öğrencilere okuma alışkanlığı kazandırmak amacıyla belirlenen 100 Temel Eser listesinde yer almaktadır. Görsel 2'de "Sol Ayağım" adlı otobiyografik roman yer almaktadır.

Görsel 2. "Sol Ayağım" adlı otobiyografik roman



Daha sonra bu otobiyografik eser 1989 yılında aynı adla sinemaya uyarlanmış ve Oscar Akademi ödülünü kazanmıştır. Engelleri aşma mücadelesini anlatan otobiyografik romanı ve filmi ile dünya çapında üne kavuşmuştur. 1972 yılında Mary Carr ile evlenmiştir. 1981 yılında hayata gözlerini yuman Brown, 49 yıllık yaşamında ürettiği resimler, şiirler ve "Sol Ayağım" başta olmak üzere kaleme aldığı nitelikli edebiyat eserleriyle kendi kimliğini inşa ederek birçok kişiye ilham olmuştur. Parlak Meslek, Yaz Üzerinde Gölge ve Vahşi Zambaklar adlı romanları bulunmaktadır (https://www.insanokur.org/christy-brown/). Beyin felçli bir bireyin yaşadığı zorlukları, engelleri aşmak için kendisinin ve ailesinin çabalarını gözler önüne sermesi nedeniyle Christy Brown'ın mücadelesi, yalnızca fiziksel engelleri aşma hikayesi değil; iletişimsizlik duvarını sol ayağının tek bir parmağıyla yıkan zihinsel ve sanatsal bir özgürleşme destanıdır.

Engelli Bireylerin Karşılaştıkları Sorunlar

Engelli bireylerin toplumsal, mimari, duygusal ve yasal alanlarda karşılaştıkları güçlükler; Christy Brown'un hayat hikayesi üzerinden incelendiğinde somutlaşmaktadır. Örneğin 20. yüzyılın ortalarında Dublin'deki altyapı yetersizlikleri, tekerlekli sandalye kullanımının zorluğu ve ev içi mimarinin uygunsuzluğu, Christy'nin hareket özgürlüğünü aile üyelerinin (özellikle kardeşlerinin taşıdığı tahta el arabasının) fiziksel desteğine bağımlı kılmıştır. Böylece erişilebilirlik eksikliği, bireysel kısıtlılığı toplumsal bir engele dönüştürmektedir. Çevresel düzenlemelerin yetersizliği, engelli bireyin özerklik kazanmasını engelleyerek ve kronik bir bağımlılık ilişkisi yaratmaktadır. Erdurak ve Yıldız (2025) fiziksel çevredeki erişim engellerinin sosyal dışlanmayı da beraberinde getirdiğini belirtmektedir.

Christy Brown'un yaşamı, engellilik çalışmalarının iki temel modeli olan Medikal (Tıbbi) Model ve Sosyal Model arasındaki çatışmayı açıkça sergilemektedir. Tarih boyunca engelli bireyler her toplumda var olsa da özellikle 18. yüzyıl öncesinde topluma kabulleri çok zor olmuş, çoğu zaman dışlanmış, kötü muamele görmüş ve temel haklardan mahrum bırakılmıştır. Modernizasyon sürecinde engelli bireylere yönelik yaklaşımlardan ilki medikal modeldir (Atasü Topcuoğlu, 2014). Engelliliğe yönelik medikal model yaklaşımında, engelli birey, vücudundaki bir bozukluk, hastalık veya yetersizlik nedeniyle "kusurlu" veya "tedavi edilmesi gereken bir hasta" olarak görülmektedir. Bu nedenle sorunun kaynağı bireyin kendisi olarak görülür, çevresel ve toplumsal engeller göz ardı edilir. Amaç, bireyi topluma uyumlu hale getirmekten ziyade tıbbi müdahaleler, ameliyatlar veya rehabilitasyon ile "iyileştirmek" veya eksikliği gidermektir. Ayrıca bu modelde engelli birey kendi hayatı hakkında karar veren aktif

bir yurttaş değil, sağlık profesyonellerine bağımlı bir "hasta" veya "bakım alıcısı" konumundadır (Ünal, 2021).

II. Dünya Savaşı sonrasında, medikal modelin eleştirilmesiyle sosyal model ortaya çıkmıştır (Lang, 2001). Birleşmiş Milletler tarafından kabul edilen insan haklarına ilişkin uluslararası yasalarla birlikte engelli bireylerin sosyal hakları da yasal güvence altına alınmıştır. Shakespeare (2018) engelliliğin bireysel değil toplumsal bir sorun olduğunu ve engelli bireylerin yaşadıkları sorunların sadece bireysel patolojiden kaynaklanmadığını, toplumun engelli bireylerin haklarına duyarlı olmayıp dışlamasının da önemi bir etken olduğunu belirtmektedir. Günümüzde engelli bireylere hak temelli anlayış çerçevesinde yaklaşılmaktadır (Abay-Alyüz, 2022).

Engelli Bireyleri için Aile Desteği

“Sol Ayağım” kitabında da detaylıca yer aldığı üzere Christy Brown'un ailesinin, özellikle de annesinin fedakarlığı ve sevgisi engelleri aşmasında en büyük etken olmuştur. Doktorlar Christy'nin zihinsel engelli olduğunu ve hiçbir zaman öğrenemeyeceğini söylemesine rağmen annesi ona hep inandı. Aile, dönemin tıp otoritelerine ve dış seslere karşı durarak Christy'nin bir birey olarak gelişmesine olanak sağladı. Kalabalık (ve çok çocuklu) bir ailede dışlanmadan, diğer kardeşler gibi benimsendi. Christy'nin kontrol edebildiği tek uzvu olan sol ayağıyla ilk harfi (tebeşirle yere yazarak) yazabilmesi, annesinin ona duyduğu güven ve verdiği destek sayesinde gerçekleşti. Annesi onunla saatlerce ilgilendi, iletişim kurması ve öğrenmesi için çabaladı. Bu durumu “Sol Ayağım” kitabından bir paragraf açıklamaktadır.

> “Doktorların benden ümidi kesmesini veya başka bir deyişle benim bir insan olduğumu unutmasını, hatta benim sadece beslenecek, yıkanacak ve tekrar bir kenara bırakılacak bir şey olduğumu söylemenin dışında hiçbir şekilde yardım etmediklerini gören annem, o noktada meselelerle kendi ilgilenmeye karar vermiş. Ben, onun çocuğu ve bu ailenin bir parçasıydım. Her ne kadar bedenen arızalı olsam ve anlama zorluğu çeksem de bana diğerlerine davrandığı gibi davranmaya, misafirler varken asla söz edilmeyen arka odadaki "tuhaf şey" olarak kalmamama karar vermişti. Bu gelecek yaşamımla ilgili çok önemli bir karadı. Annemin, yapacağım tüm savaşlarda her zaman yanımda olacağı, yenileceğimi hissettiği zamanlarda ise bana güç vereceği anlamına geliyordu.” (Brown, 2004:4).

Annesinin bu tutumu, kardeşlerinin de Christy'i birey olarak kabul edip desteklemelerine öncülük etmiştir. Bu ailevi dayanışma ve fedakârlık, Christy Brown'ın sadece sol ayağıyla yazan bir yazar ve ressam olmasını değil, aynı zamanda hayata bağlanmasını

sağlamıştır. Böylece engelli bireylerin desteklendiğinde neleri başarabileceğinin en güzel örneklerinden biri olmuştur.

SONUÇ

Christy Brown'un yaşamı, engelliliğin biyolojik bir durumdan ibaret olmadığını; fiziksel çevrenin yetersizlikleri, toplumsal ön yargılar ve erişilebilirlik sorunları birleştiğinde toplumsal bir engele dönüştüğünü kanıtlamaktadır. Brown'un sol ayağıyla yazdığı eserler ve ürettiği tablolar, uygun imkânlar sağlandığında ve toplumsal bariyerler aşıldığında engelli bireylerin kendini gerçekleştirme düzeyine ulaşabileceğini bilimsel olarak göstermektedir. Türkiye'de de Millî Eğitim Bakanlığı (MEB) tarafından öğrencilere önerilen "Sol Ayağım" adlı otobiyografik roman, engelli bireylere mücadele etmenin önemini, topluma engelli bireylerin önündeki toplumsal engeller kaldırıldığında yapabileceklerini ve engelli bireylerin ailelerine aile desteğinin önemini gösteren önemli bir eser niteliğindedir. Bu bağlamda okullarda kitabın okutulup sonra analiz edilerek toplumsal farkındalığın arttırılması önerilebilir.

KAYNAKÇA

Abay-Alyüz, S. B. (2022). Engelli ve engelli sorunlarında yeni bir perspektif: sosyal dışlanmadan sosyal entegrasyon ve sosyal içermeye yönelim. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi,* 12(1), 457-471.

Atasü Topçuoğlu, R. (2014). 1900-2000 Yılları Arasında Avusturya'da Engellilere Yönelik Sosyal Politika Ve Sosyal Hizmetler: Medikal Modelden Sosyal Modele Geçiş. *Toplum ve Sosyal Hizmet*, 25(2), 127-144. https://izlik.org/JA25WH42YK

Brown, C. (2004). *Sol Ayağım,* çev. Kaan Mutlu, Nokta Kitap.

Cavkaytar, A. (2008). Özel eğitime gereksinimi olan öğrenciler ve özel eğitim, Diken, İ.H. (Ed.), *Özel eğitim* içinde (1-28). Pegem Akademi.

El, Ö., Peker, Ö., Berk, H, ve Koşar, C.(2007). Serebral Palsi Hastalarının Genel Özellikleri. *Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi Dergisi,* 21(2), 75 – 80.

Erdurak, Y., & Yıldız, R. (2025). Engelli Bireylerin Toplumsal Bütünleşmelerini Etkileyen Bariyerlere Yönelik Geliştirdikleri Çözümler. *Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi,* 25(3), 536-562. https://doi.org/10.18037/ausbd.1711212

Hallahan, D. P., & Kauffman, J. M. (2003). *Exceptional learners: Introduction to special education.* Allyn and Bacon.

https://www.insanokur.org/christy-brown/

Lang, R. (2001). *The development and critique of the social model of disability,* London: Leonard Cheshire Disability and Inclusive Development Centre.

Özsoy, Y., Özyürek, M., Eripek S. (1998). *Özel Eğitime Giriş* (9. Baskı). Karatepe Yayınları.

Özyürek, M. (2009). Bedensel yetersizliği olan çocukların eğitimi. Akçamete, G. (Ed.) *Genel Eğitim Okullarında Özel Gereksinimi Olan Öğrenciler ve Özel Eğitim* içinde (367-395). Kök Yayınları.

Shakespeare, T. (2018). *Disability the basics.* Routledge and Taylor & Francis Group.

Temel, F. ve Dere Çiftçi, H. (2020). Bedensel yetersizliği ve süreğen hastalığı olan çocuklar. Aral ve F. Gürsoy (Eds.) *Özel Gereksinimli Çocuklar ve Eğitimleri: Özel Gereksinimli Çocuklar* içinde (s. 113-145). Hedef.

Ünal, V. (2021). Türkiye'de engellilik yaklaşımlarının sosyal politika açısından değerlendirilmesi. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi,* XLV (2), 235-257.

BEDEN EĞİTİMİ VE SPOR ÖĞRETMENLERİNDE ÖĞRETMEN ÖZ-YETERLİĞİ VE İŞ DOYUMU İLİŞKİSİ: CİNSİYET VE KURUMSAL DEĞİŞKENLER AÇISINDAN İNCELENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Özlem EKİZOĞLU
Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi, Spor Bilimleri Fakültesi, Yalnızbağ/ Erzincan
ORCID ID: 0000-0002-5705-7134

ÖZET

Bu araştırmanın amacı, beden eğitimi ve spor öğretmenlerinin öğretmen öz-yeterlikleri ile iş doyumları arasındaki ilişkiyi ve bu değişkenlerin cinsiyet ile kurum olanaklarına ilişkin değerlendirmelere göre farklılaşıp farklılaşmadığını incelemektir. Araştırmanın çalışma grubunu, Erzincan ilinde devlet okullarında görev yapan 66 beden eğitimi ve spor öğretmeni oluşturmaktadır. Veri toplama aracı olarak Tschannen-Moran ve Hoy (2001) tarafından geliştirilen, Çapa, Çakıroğlu ve Sarıkaya (2005) tarafından Türkçeye uyarlanan Öğretmen Öz-Yeterlik Ölçeği ile Weiss ve arkadaşları (1967) tarafından geliştirilen ve Baycan (1985) tarafından Türkçeye uyarlanan Minnesota İş Doyum Ölçeği kullanılmıştır. Veriler SPSS 21.0 programında analiz edilmiş; normal dağılım varsayımının sağlanması doğrultusunda bağımsız örneklemler t-testi ve Pearson korelasyon analizi uygulanmıştır.

Katılımcıların %36,4'ü kurum olanaklarını ileri düzeyde, %39,4'ü yeterli ve %24,2'si zayıf düzeyde değerlendirmiştir. Öğretmen öz-yeterliğinin alt boyutlarında cinsiyete göre anlamlı farklılık bulunmazken ($p > .05$), Minnesota İş Doyum Ölçeği'nin dışsal doyum boyutunda anlamlı farklılık belirlenmiştir ($t = 2,09$; $p = .04$). Kadın öğretmenlerin dışsal doyum düzeylerinin erkeklerden daha yüksek olduğu görülmüştür. Kurum olanaklarına ilişkin değerlendirmelere göre ise her iki ölçeğin tüm alt boyutlarında anlamlı farklılık saptanmamıştır ($p > .05$). Korelasyon analizi sonucunda öğrenci katılımına yönelik öz-yeterlik ile dışsal doyum ($r = .84$), öğretim stratejilerine yönelik öz-yeterlik ile içsel doyum ($r = .83$) ve sınıf yönetimine yönelik öz-yeterlik ile dışsal doyum ($r = .85$) arasında yüksek düzeyde, pozitif yönlü ve anlamlı ilişkiler bulunmuştur ($p < .001$). Ayrıca, toplam öğretmen öz-yeterliği ile toplam iş doyumu arasında çok yüksek düzeyde pozitif yönlü ilişki saptanmıştır ($r = .90$, $p < .001$). Bulgular, beden eğitimi ve spor öğretmenlerinde öğretmen öz-yeterliği ile iş doyumunun güçlü biçimde ilişkili olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Beden eğitimi ve spor öğretmeni, öğretmen öz-yeterliği, iş doyumu, kurum olanakları

THE RELATIONSHIP BETWEEN TEACHER SELF-EFFICACY AND JOB SATISFACTION IN PHYSICAL EDUCATION AND SPORTS TEACHERS: AN EXAMINATION IN TERMS OF GENDER AND INSTITUTIONAL VARIABLES

ABSTRACT

This study aimed to examine the relationship between teacher self-efficacy and job satisfaction among physical education and sports teachers and to determine whether these variables differed according to gender and evaluations of institutional facilities. The study group consisted of 66 physical education and sports teachers working in public schools in Erzincan, Türkiye. Data were collected using the Teacher Self-Efficacy Scale developed by Tschannen-Moran and Hoy (2001) and adapted into Turkish by Çapa, Çakıroğlu, and Sarıkaya (2005), and the Minnesota Job Satisfaction Questionnaire developed by Weiss et al. (1967) and adapted into Turkish by Baycan (1985). Data were analyzed using SPSS 21.0. Since the normality assumption was met, independent-samples t-tests and Pearson correlation analysis were conducted. Of the participants, 36.4% evaluated institutional facilities as advanced, 39.4% as adequate, and 24.2% as poor. No significant gender differences were found in the subdimensions of teacher self-efficacy ($p > .05$). However, a significant gender difference was found in the extrinsic satisfaction dimension of job satisfaction ($t = 2.09$, $p = .04$), with female teachers reporting higher levels of extrinsic satisfaction than male teachers. No significant differences were found in any subdimension of either scale according to evaluations of institutional facilities ($p > .05$). Pearson correlation analysis revealed strong, positive, and significant associations between self-efficacy for student engagement and extrinsic satisfaction ($r = .84$), self-efficacy for instructional strategies and intrinsic satisfaction ($r = .83$), and self-efficacy for classroom management and extrinsic satisfaction ($r = .85$) ($p < .001$). Furthermore, a very strong, positive, and significant relationship was found between total teacher self-efficacy and total job satisfaction ($r = .90$, $p < .001$). These findings indicate that teacher self-efficacy and job satisfaction are strongly associated among physical education and sports teachers.

Keywords: Physical education and sports teachers, teacher self-efficacy, job satisfaction, institutional facilities

GÜVENSİZ DAVRANIŞLARIN NÖROFİZYOLOJİSİNİN BİYOPSİKOSOSYAL ÖNLEME STRATEJİLERİNDEKİ YERİ

Öğr. Gör. Dr. Fatih Mehmet ATEŞ
Bayburt University, Vocational School of Technical Sciences Department of Property Protection and Security, Civil Defense and Firefighting Program, 69000 Merkez, Bayburt
ORCID ID: 0000-0002-7497-2211

ÖZET

Güvensiz davranışlar, iş kazalarının ve trafik kazalarının önemli bir bölümünün doğrudan veya dolaylı nedeni olarak kabul edilmekte ve halk sağlığı açısından ciddi bir yük oluşturmaktadır. Uzun yıllar boyunca güvensiz davranışlar ağırlıklı olarak psikolojik ve örgütsel değişkenlerle açıklanmaya çalışılmış; ancak nörobilim ve nörogörüntüleme yöntemlerindeki ilerlemeler, bu davranışların altında yatan nörofizyolojik mekanizmaların da anlaşılmasını mümkün kılmıştır. Bu çalışma, güvensiz davranışların nörofizyolojik temellerini gözden geçirmeyi, bu bilgi birikiminin biyopsikososyal önleme stratejileri içindeki yerini değerlendirmeyi ve gelecekteki araştırmalar için öneriler sunmayı amaçlamaktadır.

Çalışmada, prefrontal korteksin yürütücü kontrol işlevleri, amigdalanın tehdit işleme rolü, anterior singulat korteksin hata izleme kapasitesi, mezolimbik ödül sisteminin risk alma davranışındaki etkisi ile dopaminerjik, serotonerjik ve noradrenerjik sistemlerin dürtüsellik ve dikkat üzerindeki düzenleyici rolleri ele alınmıştır. Ayrıca uyku yoksunluğu, sirkadyen ritim bozuklukları, kronik stres ve hipotalamus-hipofiz-adrenal ekseninin işlevsel dengesizliğinin güvensiz davranış riskini nasıl artırdığı incelenmiştir.

Elde edilen bulgular, güvensiz davranışların tek bir nedene indirgenemeyeceğini; biyolojik, psikolojik ve sosyal etmenlerin karmaşık bir etkileşimi sonucunda ortaya çıktığını göstermektedir. Bu nedenle önleme stratejilerinin de yalnızca eğitim ve denetime dayalı geleneksel yaklaşımlarla sınırlı kalmaması, nörofizyolojik gerçeklikleri dikkate alan çok katmanlı bir biyopsikososyal çerçeve içinde tasarlanması gerektiği vurgulanmaktadır. Yorgunluk yönetim sistemleri, nörogeri-bildirim uygulamaları, farkındalık temelli müdahaleler ve katılımcı güvenlik iklimi programları gibi yaklaşımların bütünleşik biçimde uygulanmasının, güvensiz davranışların azaltılmasında daha etkili olabileceği sonucuna varılmıştır.

Bu çalışma aynı zamanda, nörofizyolojik bilginin uygulamaya aktarılmasında ortaya çıkan yöntemsel ve etik sorunları da ele almakta; giyilebilir izleme teknolojileri, nörogeri-bildirim ve kişiselleştirilmiş müdahaleler gibi yeni yaklaşımların potansiyellerini ve sınırlılıklarını değerlendirmektedir. Bulgular, güvensiz davranışların önlenmesinin, biyolojik kapasiteyi

destekleyen, psikolojik süreçleri güçlendiren ve sosyal bağlamı iyileştiren çok katmanlı ve sürekli bir çaba olarak ele alınması gerektiğini ortaya koymaktadır. Bu bütüncül yaklaşım, hem daha etkili hem de insan onurunu ve çalışan haklarını gözeten bir güvenlik anlayışının temelini oluşturmaktadır.

Anahtar kelimeler: Güvensiz davranış, nörofizyoloji, biyopsikososyal model, iş sağlığı ve güvenliği

THE PLACE OF THE NEUROPHYSIOLOGY OF UNSAFE BEHAVIORS IN BIOPSYCHOSOCIAL PREVENTION STRATEGIES

ABSTRACT

Unsafe behaviors are recognized as a direct or indirect cause of a significant proportion of occupational and traffic accidents, and they constitute a serious burden for public health. For many years, unsafe behaviors have primarily been explained through psychological and organizational variables; however, advances in neuroscience and neuroimaging methods have also made it possible to understand the neurophysiological mechanisms underlying these behaviors. This research aims to examine the neurophysiological foundations of unsafe behaviors, evaluate the place of this body of knowledge within biopsychosocial prevention strategies, and offer recommendations for future research.

The research addresses the executive control functions of the prefrontal cortex, the role of the amygdala in threat processing, the error-monitoring capacity of the anterior cingulate cortex, the influence of the mesolimbic reward system on risk-taking behavior, and the regulatory roles of the dopaminergic, serotonergic, and noradrenergic systems in impulsivity and attention. It also examines how sleep deprivation, circadian rhythm disruptions, chronic stress, and functional imbalance of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis increase the risk of unsafe behavior.

The findings indicate that unsafe behaviors cannot be reduced to a single cause but instead emerge from a complex interaction of biological, psychological, and social factors. It is therefore emphasized that prevention strategies should not be limited to traditional approaches based solely on training and supervision, but should be designed within a multilayered biopsychosocial framework that takes neurophysiological realities into account. It is concluded that the integrated application of approaches such as fatigue management systems, neurofeedback applications, mindfulness-based interventions, and participatory safety climate programs may be more effective in reducing unsafe behaviors.

This research also addresses the methodological and ethical challenges that arise in translating neurophysiological knowledge into practice, evaluating the potential and limitations of

emerging approaches such as wearable monitoring technologies, neurofeedback, and personalized interventions. The findings reveal that the prevention of unsafe behaviors should be treated as a multilayered and continuous effort that supports biological capacity, strengthens psychological processes, and improves the social context. This holistic approach forms the foundation of a safety understanding that is both more effective and respectful of human dignity and worker rights.

Keywords: Unsafe behavior, neurophysiology, biopsychosocial model, occupational health and safety

1. GİRİŞ

1.1. Problemin Kapsamı ve Önemi

İş yerlerinde ve günlük yaşamda meydana gelen kazaların önemli bir bölümünün, teknik veya çevresel etmenlerden çok, insan davranışlarından kaynaklandığı uzun süredir bilinmektedir. Endüstriyel güvenlik alanının öncülerinden Heinrich'in (1931) ortaya koyduğu ve daha sonra pek çok araştırmacı tarafından geliştirilen görüşe göre, iş kazalarının yaklaşık yüzde seksen ila doksanı doğrudan veya dolaylı olarak güvensiz davranışlarla ilişkilidir. Her ne kadar bu oranların kesinliği ve yöntemsel dayanağı zaman içinde eleştirilmiş olsa da, insan davranışının kaza oluşumundaki merkezi rolü çok sayıda ampirik çalışmayla desteklenmiştir. Güvensiz davranış, kişinin kendisini veya çevresindekileri yaralanma, hastalık veya ölüm riskine sokan; kural, prosedür veya güvenli çalışma pratiklerine aykırı olan gözlemlenebilir eylemler bütünü olarak tanımlanabilir.

Güvensiz davranışlar, kişisel koruyucu donanımın kullanılmaması, güvenlik prosedürlerinin atlanması, tehlikeli hız veya konumlarda çalışma, dikkatin dağılması, aşırı risk alma ve uyarı işaretlerinin göz ardı edilmesi gibi çok çeşitli biçimlerde ortaya çıkabilir. Bu davranışların bir kısmı bilinçli ihlaller şeklinde, bir kısmı ise farkında olunmayan hatalar, unutmalar ve dikkat kaymaları biçiminde gerçekleşir. Reason'ın (1990) insan hatası taksonomisi, bu ayrımı kayma ve gaflar (istem dışı eylemler) ile hatalar ve ihlaller (planlama ve karar düzeyindeki sorunlar) arasında yaparak literatüre önemli bir kavramsal çerçeve kazandırmıştır. Bu ayrım, güvensiz davranışların önlenmesinde tek tip bir yaklaşımın yeterli olmayacağını; farklı davranış türlerinin farklı mekanizmalardan kaynaklandığını ve dolayısıyla farklı müdahaleler gerektirdiğini göstermesi açısından kritik öneme sahiptir.

Güvensiz davranışın bir diğer önemli özelliği, çoğu zaman kazayla sonuçlanmamasıdır. Bir çalışan defalarca güvensiz bir eylemi tekrarlayabilir ve her seferinde şansı yaver giderek zarar görmeyebilir. Bu durum, güvensiz davranışın sürmesine katkıda bulunan sinsi bir pekiştirme

mekanizması yaratır; çünkü kişi, güvensiz davranışın zaman kazandırdığını veya çaba azalttığını hemen deneyimlerken, olası olumsuz sonucu yalnızca uzak bir olasılık olarak algılar. Bu nedenle, kazaların yalnızca buzdağının görünen ucu olduğu; her ciddi kazanın altında çok sayıda daha küçük olay ve çok daha fazla sayıda fark edilmemiş güvensiz davranışın yattığı kabul edilmektedir. Bu piramit yapısı, önleme çabalarının yalnızca kazalara değil, onlara zemin hazırlayan güvensiz davranışlara ve bu davranışların altında yatan koşullara odaklanması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Geleneksel olarak, güvensiz davranışların açıklanmasında ve önlenmesinde iki büyük yaklaşım baskın olmuştur. Bunlardan ilki, kişiyi merkeze alan ve davranışı bireysel dikkatsizlik, umursamazlık veya kural ihlali olarak gören yaklaşımdır. İkincisi ise sistem odaklı yaklaşımdır; bu bakış açısına göre güvensiz davranışlar, hatalı tasarlanmış sistemlerin, yetersiz eğitimin, olumsuz örgüt ikliminin ve yönetsel eksikliklerin kaçınılmaz sonucudur (Christian ve ark., 2009). Her iki yaklaşımın da açıklayıcı gücü bulunmakla birlikte, ikisi de davranışın gerçekleştiği anda insan beyninde neler olduğunu, yani davranışın nörofizyolojik temelini büyük ölçüde göz ardı etmiştir. Oysa bir çalışanın yorgunken neden daha fazla hata yaptığını, stres altında neden risk algısının bozulduğunu veya bazı bireylerin neden diğerlerine göre daha dürtüsel davrandığını anlamak, ancak beynin ilgili işlevsel sistemlerinin incelenmesiyle mümkün olabilir.

1.2. Nörofizyolojik Perspektifin Gerekliliği

Son otuz yılda nörogörüntüleme teknolojilerinde yaşanan olağanüstü gelişmeler, insan davranışının biyolojik temellerini benzeri görülmemiş bir ayrıntı düzeyinde incelemeyi mümkün kılmıştır. İşlevsel manyetik rezonans görüntüleme, elektroensefalografi, manyetoensefalografi ve yakın kızılötesi spektroskopi gibi yöntemler, karar verme, risk alma, dikkat, dürtü kontrolü ve tehdit işleme gibi güvenli davranış için kritik olan bilişsel süreçlerin sinirsel karşılıklarını ortaya koymuştur. Bu bulgular, güvensiz davranışların salt bir karakter zayıflığı veya motivasyon eksikliği olmadığını; bunların büyük ölçüde beynin belirli işlevsel durumlarıyla, özellikle de yürütücü kontrol sistemleri ile dürtüsel-duygusal sistemler arasındaki dengeyle ilişkili olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmanın temel savı, güvensiz davranışların önlenmesine yönelik stratejilerin, yalnızca psikolojik ve örgütsel düzeyde kalmayıp, davranışın nörofizyolojik gerçekliğini de hesaba katan bütüncül bir biyopsikososyal çerçeve içinde yeniden ele alınması gerektiğidir. Engel'in (1977) tıp alanında ortaya koyduğu biyopsikososyal model, hastalık ve sağlığın yalnızca biyolojik değil, aynı zamanda psikolojik ve sosyal etmenlerin etkileşimiyle şekillendiğini

savunur. Bu model, güvensiz davranışların anlaşılması ve önlenmesine uyarlandığında, davranışı üç düzeyde eş zamanlı olarak ele almayı mümkün kılar: bireyin nörofizyolojik ve fizyolojik durumu, bilişsel-duygusal süreçleri ve içinde bulunduğu sosyal-örgütsel bağlam. Bu üç düzeyin birbirinden yalıtılarak incelenmesi, davranışın eksik anlaşılmasına ve dolayısıyla etkisiz önleme stratejilerine yol açar.

1.3. Çalışmanın Amacı ve Yöntemi

Bu bilimsel çalışmanın amacı, güvensiz davranışların nörofizyolojik temellerine ilişkin mevcut bilgi birikimini sistematik biçimde gözden geçirmek, bu bilginin biyopsikososyal önleme stratejileri içindeki yerini ve katkısını değerlendirmek ve alanda gelecekte yapılabilecek çalışmalar için öneriler geliştirmektir. Çalışma, konunun tarihsel gelişimini izleyerek başlamakta, ardından güvensiz davranışlarda rol oynayan başlıca beyin bölgeleri ve nörokimyasal sistemleri incelemekte, uyku, yorgunluk ve stres gibi durumsal etmenlerin nörofizyolojik etkilerini ele almakta ve son olarak bu bilginin önleme uygulamalarına nasıl aktarılabileceğini tartışmaktadır.

Çalışma kapsamında, iş sağlığı ve güvenliği, nörobilim, bilişsel psikoloji, ergonomi ve halk sağlığı alanlarındaki temel ve güncel literatür taranmış; nörofizyolojik mekanizmalar ile davranışsal çıktılar arasındaki bağlantıları kuran çalışmalara öncelik verilmiştir. Sunulan tablolar ve şekiller, farklı çalışmalardan elde edilen bulguların sentezine dayanmakta olup, alandaki genel eğilimleri görselleştirmeyi amaçlamaktadır. Bu tür bir sentez, tek tek çalışmaların ötesine geçerek, güvensiz davranışların çok düzeyli doğasını bütüncül bir çerçevede sunma olanağı sağlamaktadır.

1.4. Güvensiz Davranışın Kavramsal Çerçevesi

Güvensiz davranışın bilimsel olarak incelenebilmesi için öncelikle kavramın açık ve işlevsel biçimde tanımlanması gerekmektedir. Alanyazında güvensiz davranış, çoğunlukla güvenli davranışın karşıtı olarak ele alınmış; güvenli davranış ise kural ve prosedürlere uygunluk anlamındaki uyum davranışı ile gönüllü olarak güvenliğe katkıda bulunma anlamındaki katılım davranışı olarak iki bileşende incelenmiştir. Bu ayrım, Neal ve Griffin tarafından geliştirilen güvenlik performansı modelinin temelini oluşturmaktadır (Neal & Griffin, 2006). Güvensiz davranış, bu çerçevede hem uyum eksikliği hem de katılım eksikliği biçiminde ortaya çıkabilir. Uyum eksikliği, açıkça belirlenmiş güvenlik kurallarının ihlal edilmesini; katılım eksikliği ise güvenliği artıracak gönüllü davranışların gösterilmemesini ifade eder.

Güvensiz davranışın bir başka önemli boyutu, niyetsellik derecesidir. Bazı güvensiz davranışlar tamamen istem dışıdır; dikkat kaymaları, unutmalar ve otomatik alışkanlıkların yol

açtığı hatalar bu kategoriye girer. Bu tür davranışların altında yatan temel mekanizma, bilişsel ve nörofizyolojik kaynakların yetersizliği veya yanlış yönlendirilmesidir. Diğer güvensiz davranışlar ise bilinçli tercihlerdir; kişi kuralın farkındadır ancak çeşitli nedenlerle onu ihlal etmeyi seçer. Bu tür ihlallerin altında ise genellikle güdüsel ve sosyal etmenler yatar. Nörofizyolojik açıdan bakıldığında, istem dışı hatalar daha çok dikkat ve yürütücü kontrol sistemlerinin işlevsel durumuyla, bilinçli ihlaller ise ödül değerlendirme ve dürtü kontrolü sistemleriyle ilişkilidir. Bu ayrım, farklı güvensiz davranış türlerinin farklı önleme stratejileri gerektirdiğini bir kez daha vurgulamaktadır.

Güvensiz davranışın ölçülmesi de metodolojik açıdan önemli zorluklar barındırır. Doğrudan gözlem, öz bildirim ölçekleri, kaza ve olay kayıtları ve son yıllarda giderek yaygınlaşan sensör temelli davranış izleme sistemleri, güvensiz davranışın ölçülmesinde kullanılan başlıca yöntemlerdir. Her yöntemin kendine özgü güçlü ve zayıf yönleri bulunmaktadır. Öz bildirim ölçekleri kolay uygulanabilir olmakla birlikte sosyal beğenilirlik yanlılığına açıktır; doğrudan gözlem daha nesnel olsa da gözlemcinin varlığı davranışı değiştirebilir; kaza kayıtları ise ancak nadir ve ciddi olayları yakaladığı için güvensiz davranışın büyük bölümünü gözden kaçırır. Nörofizyolojik ölçüm yöntemleri, bu geleneksel yaklaşımları tamamlayarak, davranışın altında yatan durumların nesnel biçimde izlenmesine olanak sağlama potansiyeli taşımaktadır.

1.5. Biyopsikososyal Modelin Kavramsal Temelleri

Engel'in (1977) ortaya koyduğu biyopsikososyal model, tıp ve sağlık bilimlerinde indirgemeci biyomedikal paradigmaya bir alternatif olarak geliştirilmiştir. Biyomedikal model, hastalığı yalnızca biyolojik bir arıza olarak ele alır ve psikolojik ile sosyal etmenleri büyük ölçüde göz ardı eder. Buna karşılık biyopsikososyal model, sağlık ve hastalığın üç düzeyin dinamik etkileşimi içinde şekillendiğini savunur. Bu üç düzey, hücresel ve fizyolojik süreçleri kapsayan biyolojik düzey, düşünce, duygu ve davranışları içeren psikolojik düzey ve kültürel, ekonomik ve örgütsel bağlamı kapsayan sosyal düzeydir. Bu model, sistem kuramından esinlenerek, her düzeyin kendi içinde bütünlüğe sahip olduğunu ancak aynı zamanda diğer düzeylerle sürekli etkileşim içinde bulunduğunu kabul eder.

Biyopsikososyal modelin güvensiz davranış alanına uygulanması, görece yeni ancak umut verici bir gelişmedir. Bu uygulama, güvensiz davranışın ne salt bireysel bir kusur ne de yalnızca sistemik bir başarısızlık olduğunu; her iki düzeyin ve aralarındaki nörofizyolojik aracı mekanizmaların birlikte ele alınması gerektiğini öne sürer. Örneğin, bir çalışanın güvensiz davranışı, onun uyku düzeni ve fizyolojik durumu (biyolojik), risk algısı ve stres düzeyi (psikolojik) ve içinde bulunduğu güvenlik iklimi ile iş baskısı (sosyal) tarafından eş zamanlı

olarak belirlenir. Bu bütüncül bakış açısı, önleme stratejilerinin de çok düzeyli olması gerektiği sonucunu doğurur. Tek bir düzeye odaklanan müdahaleler, diğer düzeylerdeki etmenler değişmeden kaldığı sürece sınırlı ve geçici etkiler üretmeye mahkumdur.

Biyopsikososyal modelin bir diğer önemli katkısı, sorumluluk ve fail konusundaki dengeli yaklaşımıdır. Salt bireyi suçlayan yaklaşımlar, çalışanları damgalayarak ve savunmacı bir tutuma iterek güvenlik kültürüne zarar verirken; salt sistemi sorumlu tutan yaklaşımlar ise bireysel farkındalık ve sorumluluğu göz ardı etme riski taşır. Biyopsikososyal model, her iki uçtan da kaçınarak, bireyin nörofizyolojik ve psikolojik gerçekliğini destekleyici bir örgütsel bağlam içinde ele almayı önerir. Bu denge, hem etik hem de pratik açıdan sürdürülebilir bir önleme yaklaşımının temelini oluşturur.

1.6. Güvensiz Davranışların Toplumsal ve Ekonomik Yükü

Güvensiz davranışların önlenmesinin önemini kavramak için, bu davranışların yol açtığı toplumsal ve ekonomik yükün büyüklüğünü göz önünde bulundurmak gerekir. Dünya genelinde her yıl milyonlarca insan iş kazaları ve işle ilişkili hastalıklar nedeniyle yaşamını yitirmekte; çok daha fazlası ise kalıcı sakatlık ve yaralanmalara maruz kalmaktadır. Uluslararası çalışma örgütlerinin tahminlerine göre, işle ilişkili ölümler ve kazalar, küresel gayri safi hasılanın önemli bir oranına karşılık gelen ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu kayıplar, doğrudan tıbbi maliyetlerin yanı sıra, üretkenlik kaybı, tazminat ödemeleri, ekipman hasarı ve nitelikli iş gücünün yitirilmesi gibi dolaylı maliyetleri de kapsamaktadır.

İş kazalarının ötesinde, güvensiz davranışlar trafik kazaları, ev kazaları ve çeşitli halk sağlığı sorunlarının da temelinde yer almaktadır. Karayolu trafik kazaları, özellikle genç yetişkinler arasında önde gelen ölüm nedenlerinden biridir ve bu kazaların büyük bölümü aşırı hız, dikkatsizlik, yorgunluk ve alkol etkisi gibi güvensiz davranışlardan kaynaklanmaktadır. Bu durum, güvensiz davranışın yalnızca bir iş sağlığı sorunu değil, aynı zamanda geniş kapsamlı bir halk sağlığı ve toplumsal güvenlik meselesi olduğunu göstermektedir. Nörofizyolojik temellerin anlaşılması, tüm bu alanlarda önleme çabalarına katkıda bulunma potansiyeli taşımaktadır.

Güvensiz davranışların yükü yalnızca maddi boyutla sınırlı değildir. Bir kazanın ardından yaşanan travma, kaybedilen yaşamların geride bıraktığı acı, sakatlıkların yol açtığı yaşam kalitesi düşüşü ve toplumsal güven kaybı gibi maddi olmayan boyutlar da son derece önemlidir. Bu bütüncül yük tablosu, güvensiz davranışların önlenmesine yatırılan her çabanın, hem insani hem de ekonomik açıdan yüksek getiri sağlayan bir yatırım olduğunu ortaya koymaktadır. Bu

nedenle, önleme stratejilerinin bilimsel temellerinin güçlendirilmesi, çağdaş toplumların öncelikli hedeflerinden biri olmalıdır.

1.7. Disiplinler Arası Bir Yaklaşımın Gerekliliği

Güvensiz davranışların anlaşılması ve önlenmesi, hiçbir tek disiplinin kendi başına üstesinden gelemeyeceği kadar karmaşık bir olgudur. Nörobilim, davranışın biyolojik temellerini aydınlatırken; psikoloji, bilişsel ve duygusal süreçleri açıklar (Bandura, 1986); ergonomi, insan ile çevre arasındaki uyumu inceler; örgütsel davranış bilimi, sosyal ve yönetsel bağlamı ele alır; halk sağlığı ise nüfus düzeyindeki örüntüleri ve önleme stratejilerini değerlendirir. Bu disiplinlerin her biri, güvensiz davranışın farklı bir yüzünü aydınlatmakta, ancak hiçbiri tek başına bütün resmi sunamamaktadır. Bu nedenle, bu çalışmanın benimsediği biyopsikososyal çerçeve, temelde disiplinler arası bir bütünleşme çabasıdır.

Disiplinler arası bir yaklaşımın önündeki en önemli engellerden biri, farklı alanların farklı kavramsal diller, yöntemler ve varsayımlar kullanmasıdır. Bir nörobilimcinin beyin ağları hakkında konuştuğu düzey ile bir örgüt psikoloğunun güvenlik iklimi hakkında konuştuğu düzey arasında köprü kurmak, hem kavramsal hem de yöntemsel çaba gerektirir. Ancak bu çaba, güvensiz davranışın çok düzeyli doğasını gerçekten anlamak için vazgeçilmezdir. Ortak kavramsal çerçevelerin, ortak ölçüm araçlarının ve ortak araştırma programlarının geliştirilmesi, bu bütünleşmenin somut adımlarını oluşturmaktadır. Bu çalışma, bu bütünleşme çabasına katkıda bulunmayı amaçlamaktadır.

1.8. Nörofizyoloji ile Davranış Arasındaki Bağın Kurulması

Nörofizyolojik bulguların güvensiz davranış alanına anlamlı biçimde katkıda bulunabilmesi için, beyin düzeyindeki süreçler ile gözlemlenebilir davranış arasındaki bağlantının açık biçimde kurulması gerekmektedir. Bu bağlantı, çok düzeyli bir açıklama modeliyle sağlanabilir. En alt düzeyde, moleküler ve hücresel süreçler yer alır; nörotransmitter salınımı, reseptör etkinliği ve sinaptik iletim bu düzeyi oluşturur. Bir üst düzeyde, bu hücresel süreçlerin bir araya gelmesiyle ortaya çıkan işlevsel beyin ağları bulunur; dikkat ağı, yürütücü kontrol ağı ve ödül ağı bu düzeye örnektir. Daha üst düzeyde, bu ağların etkinliğinden doğan bilişsel ve duygusal durumlar yer alır; dikkat, uyarılma, risk algısı ve dürtü kontrolü bu düzeydedir. En üst düzeyde ise, tüm bu süreçlerin sonucu olan gözlemlenebilir davranış bulunur.

Bu çok düzeyli model, güvensiz davranışın neden tek bir düzeyde açıklanamayacağını göstermektedir. Her düzey, bir alt düzeyden ortaya çıkar ancak ona indirgenemez; kendine özgü örgütlenme ilkeleri ve nedensel güçleri vardır. Aynı zamanda, üst düzeyler alt düzeyleri geriye dönük olarak etkiler; örneğin, sosyal bir stres kaynağı (üst düzey) kortizol salınımını (alt

düzey) tetikleyebilir. Bu yukarıdan aşağıya ve aşağıdan yukarıya çift yönlü nedensellik, güvensiz davranışın karmaşık ve dinamik doğasının temelini oluşturur. Biyopsikososyal model, tam da bu çok düzeyli ve çift yönlü nedenselliği kavramsallaştırmak için geliştirilmiş güçlü bir çerçevedir.

Bu bağlantının kurulması, aynı zamanda güvenlik biliminde ölçüm ve müdahale düzeyleri arasındaki uyumun önemini de vurgulamaktadır. Bir müdahalenin etkili olabilmesi için, hedeflediği düzeyde ölçülebilir bir etki yaratması gerekir. Örneğin, uyarılma düzeyini hedefleyen bir yorgunluk yönetim sistemi, fizyolojik uyarılma göstergelerinde bir değişiklik yaratmalıdır. Bu düzey uyumu, hem müdahalelerin etkinliğinin değerlendirilmesi hem de farklı düzeydeki müdahalelerin bütünleştirilmesi açısından kritiktir. Nörofizyolojik ölçüm yöntemlerinin sunduğu en önemli katkılardan biri, tam da bu ara düzeydeki mekanizmaların doğrudan gözlemlenebilir hale gelmesidir.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1. Konunun Tarihsel Gelişimi

2.1.1. Erken Dönem: Kaza Eğilimi ve Davranışçı Yaklaşımlar

Güvensiz davranışların bilimsel olarak incelenmesinin kökleri, yirminci yüzyılın başlarındaki endüstriyel psikoloji çalışmalarına dayanır. Birinci Dünya Savaşı sırasında İngiliz mühimmat fabrikalarında yapılan gözlemler, kazaların işçiler arasında rastgele dağılmadığını; belirli bireylerin diğerlerine göre çok daha sık kaza geçirdiğini ortaya koymuştur. Bu gözlem, kaza eğilimi kavramının doğmasına yol açmıştır. Greenwood ve Woods'un (1919) çalışmaları ile Farmer ve Chambers'ın (1926) izleyen yıllardaki araştırmaları, bazı bireylerin kalıcı kişilik özellikleri nedeniyle kazaya daha yatkın olduğunu öne sürmüştür. Ancak bu kavram zaman içinde ciddi biçimde eleştirilmiş; kaza dağılımındaki eşitsizliğin büyük ölçüde maruziyet farklılıkları, iş koşulları ve istatistiksel dalgalanmalarla açıklanabileceği gösterilmiştir.

Kaza eğilimi kavramının açıklayıcı gücünün zayıflaması, dikkatlerin bireysel kişilik özelliklerinden çevresel ve durumsal etmenlere kaymasına neden olmuştur. Heinrich'in (1931) yayımladığı Endüstriyel Kaza Önleme adlı eseri, bu geçiş döneminin en etkili çalışmalarından biri olmuştur. Heinrich, kazaların büyük çoğunluğunun güvensiz davranışlardan kaynaklandığını öne sürmekle birlikte, bu davranışların da altta yatan nedenlerinin araştırılması gerektiğini vurgulamıştır. Onun domino teorisi, kazayı birbirini tetikleyen bir olaylar zinciri olarak modellemiş ve zincirdeki güvensiz davranış halkasının çıkarılmasıyla kazanın önlenebileceğini savunmuştur.

2.1.2. Bilişsel Devrim ve İnsan Hatası Modelleri

Yirminci yüzyılın ikinci yarısında, psikolojide yaşanan bilişsel devrim, güvensiz davranışların anlaşılmasında da önemli bir dönüşüme yol açmıştır. Davranışçı yaklaşımın gözlemlenebilir davranışlara odaklanan indirgemeci bakış açısının yerini, zihinsel süreçleri, dikkati, belleği ve karar vermeyi merkeze alan bilişsel yaklaşımlar almaya başlamıştır. Bu dönemde Rasmussen'in (1983) beceri-kural-bilgi temelli davranış sınıflandırması ile Reason'ın (1990) insan hatası taksonomisi, güvensiz davranışların bilişsel temellerini anlamak için güçlü kavramsal araçlar sunmuştur.

Reason'ın (1990) yayımladığı İnsan Hatası adlı eseri, güvenlik biliminde bir dönüm noktası olmuştur. Reason, hataları icra düzeyindeki başarısızlıklar (kaymalar ve gaflar) ile planlama düzeyindeki başarısızlıklar (hatalar ve ihlaller) olarak ayırmış; ayrıca örgütsel düzeydeki gizli koşulların, keskin uçtaki operatör hatalarına nasıl zemin hazırladığını açıklayan İsviçre peyniri modelini geliştirmiştir (Reason, 1997). Bu model, güvensiz davranışın yalnızca bireyin sorumluluğu olmadığını, örgütsel savunma katmanlarındaki deliklerin hizalanmasıyla ortaya çıktığını göstermesi bakımından paradigma değiştirici olmuştur. Ancak bu bilişsel ve sistemik modeller, hatanın gerçekleştiği anda beyinde neler olduğuna, yani nörofizyolojik düzeye henüz inememişlerdir.

2.1.3. Nörobilimsel Dönemeç

Yirminci yüzyılın son on yılı ve yirmi birinci yüzyılın başları, nörogörüntüleme teknolojilerinin olgunlaşmasıyla birlikte, güvensiz davranışların incelenmesinde nörobilimsel bir dönemecin başlangıcına tanıklık etmiştir. İşlevsel manyetik rezonans görüntülemenin yaygınlaşması, daha önce yalnızca davranışsal düzeyde gözlemlenebilen dürtüsellik, risk alma, dikkat ve karar verme gibi süreçlerin sinirsel temellerinin haritalanmasını mümkün kılmıştır. Nöroergonomi olarak adlandırılan yeni bir disiplinler arası alan, beyin ve davranış bilimlerini iş yerindeki insan performansının incelenmesiyle birleştirmiştir. Parasuraman ve arkadaşlarının öncülük ettiği bu alan, güvenli davranışın nörofizyolojik önkoşullarını sistematik biçimde araştırmaya başlamıştır (Parasuraman & Rizzo, 2007).

Bu tarihsel gelişim, güvensiz davranış anlayışının giderek daha çok katmanlı ve bütüncül hale geldiğini göstermektedir. Başlangıçta sabit kişilik özelliklerine indirgenen davranış, önce durumsal ve çevresel etmenlerle, ardından bilişsel ve örgütsel süreçlerle ve nihayet nörofizyolojik mekanizmalarla ilişkilendirilmiştir. Aşağıdaki Tablo 1'de, bu tarihsel evrimin başlıca aşamalarını özetlemektedir.

Tablo 1. Güvensiz davranış anlayışının tarihsel gelişimi

Dönem	Baskın Yaklaşım	Temel Kavram	Öncü İsimler
1910-1930	Kaza eğilimi	Sabit bireysel yatkınlık	Greenwood, Woods, Farmer
1930-1960	Davranışçı/çevresel	Domino teorisi, güvensiz eylem	Heinrich
1960-1990	Bilişsel/sistemik	İnsan hatası, gizli koşullar	Rasmussen, Reason
1990-2010	Örgütsel/iklim	Güvenlik iklimi ve kültürü	Zohar, Neal, Griffin
2010-günümüz	Nöroergonomik/biyopsikososyal	Nörofizyolojik mekanizmalar	Parasuraman, Rizzo

Bu tarihsel dönüşümün önemli bir yönü, açıklama düzeyinin giderek derinleşmesidir. Kaza eğilimi kavramı davranışı sabit bir kişilik özelliğine bağlarken, sonraki yaklaşımlar davranışın değişken ve bağlama duyarlı doğasını kabul etmiştir. Bilişsel modeller, gözlemlenemeyen zihinsel süreçlere odaklanarak açıklama gücünü artırmış; sistemik modeller ise bireysel davranışı örgütsel bağlam içine yerleştirerek analiz düzeyini genişletmiştir. Nörobilimsel dönemeç ise, bu zihinsel ve davranışsal süreçlerin biyolojik temellerini görünür kılarak, açıklamayı beynin işlevsel mekanizmalarına kadar indirmiştir. Bu ilerleyiş, güvensiz davranış anlayışının hem daha derin hem de daha bütüncül hale geldiğini göstermektedir. Ancak bu derinleşme, önceki düzeyleri geçersiz kılmamış, aksine onları tamamlayarak çok düzeyli bir açıklama çerçevesinin ortaya çıkmasını sağlamıştır.

2.2. Güvensiz Davranışların Nörofizyolojik Temelleri

2.2.1. Prefrontal Korteks ve Yürütücü Kontrol

Güvenli davranışın en önemli nörofizyolojik dayanaklarından biri, prefrontal korteksin sağladığı yürütücü kontrol işlevleridir. Beynin en gelişmiş ve evrimsel açıdan en genç bölgesi olan prefrontal korteks (PFK), planlama, dürtü kontrolü, çalışma belleği, dikkatin sürdürülmesi, sonuçların öngörülmesi ve uygunsuz tepkilerin baskılanması gibi işlevlerden sorumludur (Miller & Cohen, 2001). Bu işlevler, bir çalışanın tehlikeyi fark etmesi, güvenli bir eylem planı oluşturması ve dürtüsel veya kısayol arayan tepkileri baskılaması için gereklidir (Aron ve ark., 2014). Dorsolateral prefrontal korteks özellikle çalışma belleği ve bilişsel esneklikte, ventromedial prefrontal korteks ise değer temelli karar verme ve duygusal düzenlemede kritik rol oynar (Bechara ve ark., 2000).

Prefrontal korteksin işlevsel kapasitesinin azaldığı durumlarda, güvensiz davranış riski belirgin biçimde artar. Bu azalma, uyku yoksunluğu, kronik stres, alkol ve madde etkisi, yaşa bağlı

değişimler veya bireysel farklılıklar nedeniyle ortaya çıkabilir. Nörogörüntüleme çalışmaları, prefrontal aktivitenin baskılandığı koşullarda risk alma davranışının arttığını ve dürtü kontrolünün zayıfladığını tutarlı biçimde göstermiştir. Bu bulgu, güvenlik açısından kritik işlerde çalışanların prefrontal işlevlerini koruyan çalışma koşullarının sağlanmasının önemine işaret etmektedir.

Prefrontal korteksin güvenli davranıştaki rolü, yalnızca dürtülerin baskılanmasıyla sınırlı değildir. Bu bölge aynı zamanda geleceğe yönelik zihinsel simülasyon yeteneğinin de merkezidir. Bir çalışanın, bir eylemin olası sonuçlarını gerçekleştirmeden önce zihninde canlandırabilmesi, yani bir kısayolun yol açabileceği tehlikeyi önceden öngörebilmesi, prefrontal korteksin bu ileriye dönük simülasyon kapasitesine dayanır. Bu kapasite zayıfladığında, kişi eylemlerinin uzak sonuçlarını yeterince değerlendiremez ve anlık kazanımlara odaklanır. Bu durum, güvensiz davranışların neden çoğunlukla kısa vadeli düşünceyle ilişkili olduğunu açıklamaktadır. Güvenli davranış, büyük ölçüde geleceği bugüne taşıyabilme, yani soyut ve uzak riskleri somut ve yakın gibi değerlendirebilme yeteneğine bağlıdır.

2.2.2. Amigdala ve Tehdit İşleme Sistemi

Amigdala, tehdit ve tehlikenin hızlı biçimde algılanmasından ve buna uygun duygusal ve fizyolojik tepkilerin başlatılmasından sorumlu olan, beynin derinliklerinde yer alan badem şeklindeki bir yapıdır (Phelps & LeDoux, 2005). Güvenlik bağlamında amigdala çift yönlü bir rol oynar. Bir yandan, tehlikeyi hızla algılayarak koruyucu tepkileri tetikler ve bu açıdan güvenli davranışa katkıda bulunur. Öte yandan, aşırı veya uygunsuz biçimde etkinleştiğinde, panik, donma veya düşüncesiz kaçış gibi tepkilere yol açarak akılcı karar vermeyi bozabilir (Cannon, 1929). Amigdala ile prefrontal korteks arasındaki işlevsel denge, güvenli davranışın belirleyici bir unsurudur.

Kronik stres ve kaygı koşullarında, amigdalanın aktivitesi artarken prefrontal korteksin düzenleyici denetimi zayıflar. Bu durum, tehdit algısının abartılmasına veya tam tersine, sürekli uyarılmışlık nedeniyle gerçek tehlikelere karşı duyarsızlaşmaya yol açabilir. Her iki durum da güvensiz davranış riskini artırır. Amigdala ile prefrontal korteks arasındaki bu dinamik denge, güvensiz davranışların yalnızca bilişsel değil, aynı zamanda duygusal ve fizyolojik bir boyutu olduğunu göstermektedir.

Amigdalanın öğrenmedeki rolü de güvenlik açısından önemlidir. Bu yapı, korku koşullanması adı verilen süreç aracılığıyla, tehlikeli durumlarla ilişkili uyaranların hızla öğrenilmesini ve hatırlanmasını sağlar. Bir kez tehlikeli bir deneyim yaşandığında, amigdala benzer durumlara

karşı güçlü bir uyarı sinyali üretmeyi öğrenir. Bu mekanizma, deneyimli çalışanların tehlikeli durumları neden daha hızlı fark ettiğini kısmen açıklar. Ancak aynı mekanizma, travmatik deneyimler sonrası aşırı genellenmiş korku tepkilerine de yol açabilir; bu da bazı durumlarda işlevsel olmayan kaçınma davranışlarına neden olabilir. Amigdalanın bu çift yönlü öğrenme rolü, güvenlik eğitiminde deneyimsel öğrenmenin gücünü ve aynı zamanda dikkatli tasarlanması gerektiğini göstermektedir.

2.2.3. Anterior Singulat Korteks ve Hata İzleme

Anterior singulat korteks (ASK), performansın izlenmesi, hataların saptanması, çatışmanın algılanması ve dikkatin yönlendirilmesi gibi işlevlerde merkezi bir rol oynar. Bu bölge, bir eylemin beklenen sonucuyla gerçek sonucu arasındaki uyuşmazlığı saptayarak bir tür iç uyarı sistemi işlevi görür. Elektroensefalografi çalışmalarında, hata yapıldıktan hemen sonra ortaya çıkan hataya bağlı negativite adı verilen beyin dalgası (Gehring ve ark., 1993), anterior singulat korteksin bu izleme işlevinin doğrudan bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Bu hata izleme kapasitesinin zayıflaması, kişinin kendi hatalarını fark edip düzeltme yeteneğini azaltır ve dolayısıyla güvensiz davranışların sürmesine katkıda bulunur.

Yorgunluk, uyku yoksunluğu ve dikkat dağınıklığı, anterior singulat korteksin hata izleme işlevini bozarak, kişinin kendi performansındaki bozulmayı fark edememesine yol açabilir. Bu durum, özellikle tekrarlayan ve monoton görevlerde, kişinin farkında olmadan güvensiz bir çalışma moduna kaymasına neden olabilir. Hata izleme sisteminin nörofizyolojik olarak güçlendirilmesi, örneğin nörogeri-bildirim uygulamaları yoluyla, gelecekte umut vaat eden bir önleme yaklaşımı olabilir.

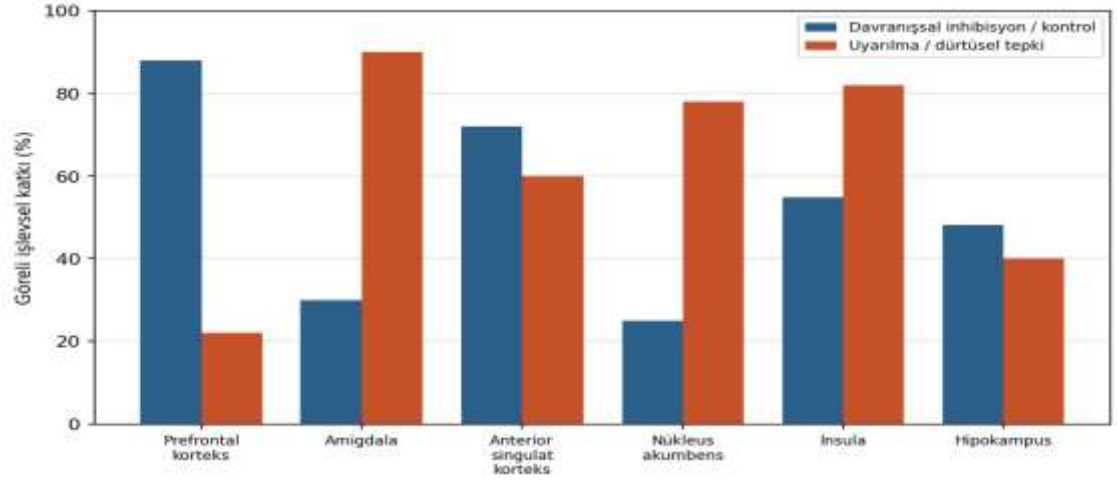
2.2.4. Mezolimbik Ödül Sistemi ve Risk Alma

Nükleus akumbens ve ventral tegmental alanı içeren mezolimbik dopamin sistemi, ödül beklentisi, motivasyon ve risk alma davranışının temel nörofizyolojik alt yapısını oluşturur (Knutson & Cooper, 2005). Bu sistem, zaman baskısı altında kısayol kullanmak, koruyucu donanım giymeyerek zaman kazanmak veya tehlikeli ama hızlı bir çalışma yöntemini tercih etmek gibi güvensiz davranışların ödül temelli boyutunu açıklar. Kısa vadeli ödüller (zaman kazancı, çaba azalması, sosyal onay) beynin ödül sisteminde güçlü sinyaller üretirken, uzun vadeli ve olasılıksal olan güvenlik faydaları çok daha zayıf sinyaller üretir. Bu asimetri, güvensiz davranışların neden bu kadar dirençli olduğunu nörofizyolojik düzeyde açıklamaktadır.

Bireyler arasında ödül sistemi duyarlılığı bakımından önemli farklılıklar bulunmaktadır. Yüksek ödül duyarlılığına ve heyecan arayışına sahip bireyler, aynı risk düzeyini daha az

tehlikeli olarak algılayabilir ve güvensiz davranışlardan daha fazla haz alabilir. Bu bireysel farklılıklar, güvenlik açısından kritik pozisyonlar için personel seçiminde ve kişiselleştirilmiş müdahalelerin tasarımında dikkate alınması gereken önemli bir değişkendir. Aşağıdaki Şekil, güvensiz davranışlarda rol oynayan başlıca beyin bölgelerinin göreli işlevsel katkısını özetlemektedir.

Şekil 1. Güvensiz davranışlarda rol oynayan başlıca beyin bölgelerinin işlevsel katkısı



Yukarıdaki Şekil 1'de de görüldüğü gibi, davranışsal inhibisyon ve kontrol işlevleri ağırlıklı olarak prefrontal korteks ve anterior singulat korteks tarafından sağlanırken, uyarılma ve dürtüsel tepkiler amigdala, insula ve nükleus akumbens gibi yapılarla ilişkilidir. Güvenli davranış, bu iki işlevsel sistem arasındaki dengenin kontrol lehine korunmasına bağlıdır. Bu dengeyi bozan her etmen, güvensiz davranış riskini artırma potansiyeli taşır.

Ödül sisteminin güvensiz davranıştaki rolü, davranışsal ekonomi ilkeleriyle de yakından ilişkilidir. İnsan beyni, gelecekteki ödülleri ve cezaları, şimdiki zamana kıyasla değersizleştirme eğilimindedir; bu olguya gelecek indirimi adı verilir. Güvensiz davranışın sağladığı zaman kazancı veya çaba azalması gibi ödüller hemen ve kesin biçimde elde edilirken, güvenli davranışın faydaları (kaza yaşamama) gelecekte ve olasılıksal biçimde ortaya çıkar. Bu asimetri, ödül sisteminin neden çoğunlukla güvensiz davranış lehine çalıştığını açıklamaktadır. Etkili önleme stratejileri, bu asimetriyi tersine çevirmeyi, yani güvenli davranışın ödüllerini daha yakın ve somut, güvensiz davranışın maliyetlerini ise daha görünür hale getirmeyi hedeflemelidir.

2.2.5. İnsula ve İçsel Beden Farkındalığı

İnsula, beden içi durumların algılanması, yani içduyum olarak adlandırılan sürecin merkezi olan bir beyin bölgesidir. Kalp atışı, solunum, açlık, ağrı ve yorgunluk gibi bedensel sinyaller insula aracılığıyla bilinçli farkındalığa taşınır. Güvenlik bağlamında insulanın rolü çok

yönlüdür. Bir yandan, kişinin kendi yorgunluk ve gerginlik düzeyinin farkına varmasını sağlayarak koruyucu davranışlara katkıda bulunur. Öte yandan, insula risk ve belirsizlik durumlarındaki olumsuz duygusal tepkilerin de işlenmesinde rol oynar. İçduyum kapasitesi yüksek bireyler, bedenlerinin verdiği erken yorgunluk ve aşırı yüklenme sinyallerini daha iyi algılayabilir ve bu sayede güvensiz duruma sürüklenmeden önce önlem alabilir. Bu bulgu, içduyum farkındalığını geliştirmeyi hedefleyen farkındalık temelli müdahalelerin güvenlik açısından potansiyel değerine işaret etmektedir.

İnsula ayrıca risk kararlarında beklenen olumsuz sonuçların duygusal ağırlığının hesaplanmasına katkıda bulunur. Nörogörüntüleme çalışmaları, riskli kararlar öncesinde insula aktivitesinin arttığını ve bu aktivitenin kişiyi riskten kaçınmaya yönlendirebildiğini göstermiştir. İnsula işlevinin zayıf olduğu bireylerde ise bu duygusal fren mekanizması yeterince çalışmayabilir ve bu da artmış risk alma davranışına yol açabilir. Bu bakımdan insula, prefrontal korteksin bilişsel kontrolü ile amigdalanın hızlı tehdit tepkisi arasında bir köprü işlevi görerek, güvenli karar vermenin bütünleşik doğasını yansıtır.

2.2.6. Beyin Gelişimi, Yaşlanma ve Yaşam Boyu Perspektifi

Güvensiz davranışın nörofizyolojik temelleri, yaşam boyunca sabit kalmaz; beyin gelişimi ve yaşlanma süreçleriyle birlikte değişir. Ergenlik ve genç yetişkinlik döneminde, ödül ve heyecan arayışıyla ilişkili limbik sistemler görece erken olgunlaşırken, dürtü kontrolü ve sonuç değerlendirmesinden sorumlu prefrontal korteks yaklaşık yirmi beş yaşına kadar gelişimini sürdürür. Bu gelişimsel asimetri, genç bireylerin neden daha fazla risk aldığını nörofizyolojik düzeyde açıklar. Steinberg'in (2008) gelişimsel sinirbilim perspektifi, bu dönemdeki risk alma davranışının bir karakter kusuru değil, beyin gelişiminin doğal bir aşaması olduğunu vurgulamaktadır. Bu bulgu, genç çalışanlara yönelik güvenlik programlarının, onların gelişimsel özelliklerini dikkate alarak tasarlanması gerektiğini göstermektedir.

Yaşamın diğer ucunda, ileri yaş da güvensiz davranış açısından kendine özgü nörofizyolojik değişiklikler getirir. Yaşlanmayla birlikte tepki süreleri uzayabilir, dikkatin bölünmesi zorlaşabilir ve bazı bilişsel işlevlerde yavaşlama görülebilir. Ancak yaşlı çalışanların, deneyim yoluyla kazandıkları güçlü örüntü tanıma becerileri, gelişmiş risk değerlendirmesi ve daha istikrarlı duygusal düzenleme kapasiteleri, bu bilişsel yavaşlamayı büyük ölçüde telafi edebilir. Dolayısıyla yaş ile güvensiz davranış arasındaki ilişki basit ve tek yönlü değildir; her yaş grubunun kendine özgü güçlü ve zayıf yönleri bulunmaktadır. Yaşam boyu perspektifi, güvenlik müdahalelerinin çalışanların yaş ve gelişim dönemlerine uyarlanmasının önemini ortaya koymaktadır.

2.3. Nörokimyasal Sistemler ve Güvensiz Davranış

2.3.1. Dopaminerjik Sistem

Dopamin, motivasyon, ödül işleme, dürtü kontrolü ve motor kontrolde merkezi rol oynayan bir nörotransmitterdir. Dopaminerjik sistemin işlevsel dengesi, güvenli davranış için kritik öneme sahiptir. Bu sistemdeki bozukluklar, hem aşırı dürtüsellik hem de motivasyon eksikliği biçiminde güvensiz davranışa katkıda bulunabilir. Dopamin sistemindeki genetik farklılıklar, özellikle dopamin reseptör genlerindeki polimorfizmler, bireylerin risk alma eğilimini ve dürtüsellik düzeyini etkileyebilmektedir. Bu bulgular, güvensiz davranışa yatkınlığın kısmen kalıtsal bir bileşene sahip olabileceğini düşündürmektedir.

2.3.2. Serotonerjik Sistem

Serotonin, dürtü kontrolü, duygu düzenlemesi ve saldırganlığın baskılanmasında önemli bir düzenleyici rol oynar. Düşük serotonerjik aktivite, artmış dürtüsellik, saldırganlık ve risk alma davranışıyla ilişkilendirilmiştir. Serotonin sisteminin işlevi, beslenme, uyku ve stres gibi çevresel etmenlerden etkilenir; bu da yaşam tarzı ve çalışma koşullarının güvensiz davranış üzerindeki nörokimyasal etkisine işaret eder. Serotonerjik işlevin desteklenmesi, dolaylı olarak dürtü kontrolünün güçlendirilmesine ve güvensiz davranışların azaltılmasına katkıda bulunabilir.

2.3.3. Noradrenerjik Sistem ve Uyarılma

Noradrenalin, uyanıklık, dikkat ve uyarılma düzeyinin düzenlenmesinde kritik rol oynar. Uyarılma ile performans arasındaki ilişki, klasik Yerkes-Dodson yasasıyla açıklanan ters U biçimli bir eğri izler (Yerkes & Dodson, 1908). Çok düşük uyarılma düzeyinde dikkat dağılır, tepki süreleri uzar ve önemli uyaranlar gözden kaçar; çok yüksek uyarılma düzeyinde ise dikkat aşırı daralır, esneklik kaybolur ve panik tepkileri ortaya çıkabilir. Her iki uç da güvensiz davranış riskini artırır. Optimal uyarılma düzeyinin korunması, güvenli performans için nörofizyolojik bir önkoşuldur. Aşağıdaki tablo 2'de, başlıca nörokimyasal sistemlerin güvensiz davranışla ilişkisini özetlemektedir.

Tablo 2. Başlıca nörokimyasal sistemler ve güvensiz davranışla ilişkileri

Sistem	Temel İşlev	İşlev Bozukluğunun Etkisi	Güvenlik Sonucu
Dopaminerjik	Ödül, motivasyon, dürtü kontrolü	Aşırı risk arayışı veya motivasyon kaybı	Artmış risk alma, kısayol davranışı
Serotonerjik	Dürtü kontrolü, duygu düzenleme	Artmış dürtüsellik ve saldırganlık	Ani, düşünülmemiş güvensiz eylemler
Noradrenerjik	Uyanıklık, dikkat, uyarılma	Aşırı düşük/yüksek uyarılma	Dikkat kaybı veya panik tepkileri

Kortizol (HPA)	Stres yanıtı	Kronik yükselme	Zayıflamış yürütücü kontrol

2.3.4. Diğer Nörokimyasal Etmenler: GABA ve Asetilkolin

Dopamin, serotonin ve noradrenalinin yanı sıra, beynin başlıca inhibitör nörotransmitteri olan GABA ve dikkat ile öğrenmede kritik rol oynayan asetilkolin de güvensiz davranışla dolaylı olarak ilişkilidir. GABA, sinirsel aktivitenin aşırı uyarılmasını dengeleyerek kaygı ve gerginliğin düzenlenmesine katkıda bulunur. GABA sisteminin işlevindeki bozukluklar, artmış kaygı ve gerginlik yoluyla dikkat ve karar verme kapasitesini olumsuz etkileyebilir. Alkolün GABA sistemi üzerindeki etkisi, alkol tüketiminin güvensiz davranış üzerindeki bilinen olumsuz etkisinin nörokimyasal açıklamalarından biridir.

Asetilkolin ise dikkatin sürdürülmesi, uyanıklık ve öğrenme süreçlerinde merkezi bir rol oynar. Kolinerjik sistemin işlevi, uyku yoksunluğu ve yaşlanma gibi etmenlerden etkilenir. Dikkatin sürdürülmesi, özellikle uzun süreli izleme gerektiren ve monoton olan görevlerde güvenli performansın belirleyicisidir. Bu tür görevlerde asetilkolin sisteminin işlevindeki azalma, dikkat kayıplarına ve dolayısıyla güvensiz durumların gözden kaçmasına yol açabilir. Bu nörokimyasal sistemlerin karmaşık etkileşimi, güvensiz davranışın basit bir açıklamaya indirgenemeyeceğini bir kez daha ortaya koymaktadır.

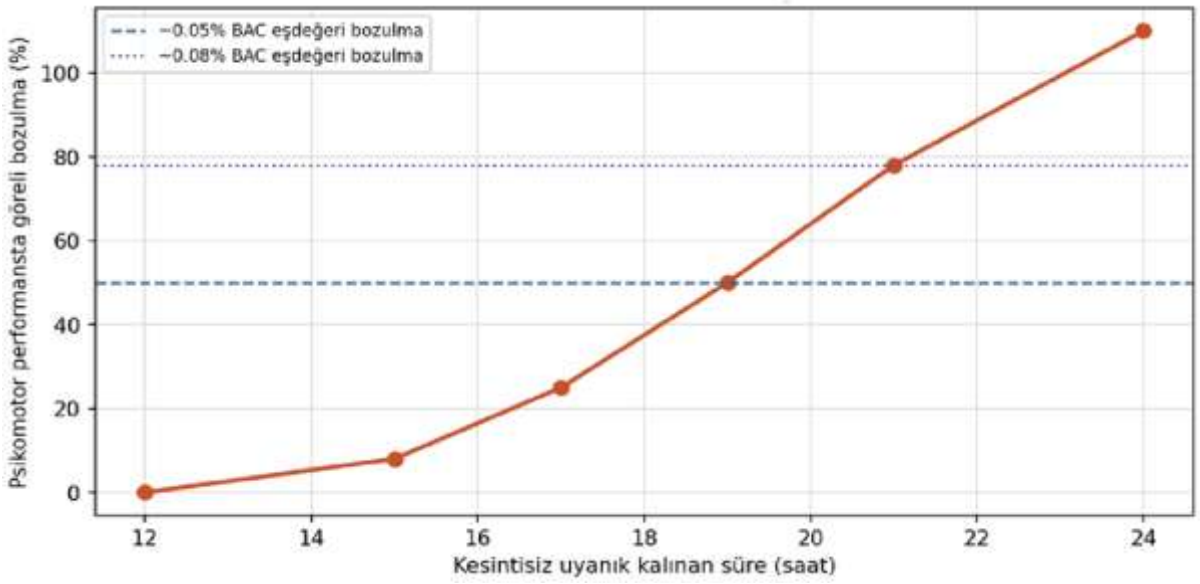
2.4. Durumsal Nörofizyolojik Etmenler

2.4.1. Uyku Yoksunluğu ve Yorgunluk

Uyku yoksunluğu, güvensiz davranışın en güçlü ve en iyi belgelenmiş nörofizyolojik yordayıcılarından biridir (Dinges, 1995). Yetersiz uyku, prefrontal korteksin işlevini seçici biçimde bozarak yürütücü kontrolü, dikkati ve karar vermeyi olumsuz etkiler. Araştırmalar, on yedi ila on dokuz saat kesintisiz uyanık kalmanın psikomotor performans üzerindeki etkisinin, yaklaşık yüzde sıfır nokta beş kan alkol düzeyinin (BAC:Blood Alcohol Concentration) etkisine eşdeğer olduğunu; yirmi dört saatlik uyanıklığın ise yasal sarhoşluk sınırının üzerindeki bir bozulmaya karşılık geldiğini göstermiştir (Dawson & Reid, 1997). Bu çarpıcı bulgu, yorgunluğun güvenlik açısından alkol kadar tehlikeli olabileceğini ortaya koymaktadır. Uyku yoksunluğunun bir diğer sinsi yönü, kişinin kendi bozulmuş performansının farkında olmamasıdır (Lim & Dinges, 2008). Anterior singulat korteksin hata izleme işlevinin de uyku yoksunluğundan etkilenmesi nedeniyle, yorgun bireyler genellikle ne kadar bozulduklarını fark edemezler ve kendilerine olan güvenlerini sürdürürler. Bu durum, öznel değerlendirmeye dayalı yorgunluk yönetiminin neden yetersiz kaldığını ve nesnel yorgunluk izleme sistemlerinin neden gerekli olduğunu açıklamaktadır.

Aşağıdaki Şekil 2.'de uzamış uyanıklık ile psikomotor perfosmans bozulması arasındaki ilişki görülmektedir.

Şekil 2. Uzamış uyanıklık ile psikomotor perfosmans bozulması arasındaki ilişki



Uyku yoksunluğunun etkileri, yalnızca toplam uyku süresiyle değil, aynı zamanda uykunun kalitesi ve yapısıyla da ilişkilidir. Derin uyku ve hızlı göz hareketi uykusu evreleri, bilişsel işlevlerin yenilenmesi, belleğin pekiştirilmesi ve duygusal düzenlemenin sağlanması açısından kritik öneme sahiptir. Bu evrelerin bölünmesi veya kısalması, toplam uyku süresi yeterli görünse bile, bilişsel performansı ve güvenli davranış kapasitesini olumsuz etkileyebilir. Uyku apnesi gibi uyku bozuklukları, kişinin farkında olmadan uyku kalitesini bozarak gündüz aşırı uykululuğuna ve dolayısıyla güvensiz davranış riskine yol açabilir. Bu nedenle, güvenlik açısından kritik işlerde çalışanların uyku sağlığının bütüncül olarak değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Uyku borcu kavramı, güvenlik açısından özellikle önemli bir olgudur. Yetersiz uyku, günden güne birikerek bir borç oluşturur ve bu borç, kişinin öznel olarak fark etmediği bir performans düşüşüne yol açar. Birkaç gün üst üste yetersiz uyuyan bir kişi, kendini uyum sağlamış hissetse bile, nesnel performans ölçümleri belirgin bir bozulma göstermektedir. Bu birikimli etki, kısa dönemli yoğun çalışma programlarının ve sürekli fazla mesainin neden güvensiz davranış riskini artırdığını açıklamaktadır. Uyku borcunun ancak yeterli ve düzenli uykuyla kapatılabilmesi, dinlenme sürelerinin güvenlik açısından pazarlık konusu olamayacak bir gereklilik olduğunu göstermektedir.

2.4.2. Sirkadyen Ritim ve Vardiyalı Çalışma

İnsan fizyolojisi, yaklaşık yirmi dört saatlik bir döngüde işleyen sirkadyen ritim tarafından düzenlenir. Bu ritim, uyanıklık, dikkat, beden ısısı, hormon salınımı ve bilişsel performansı

etkiler. Sirkadyen ritmin doğal düşük noktası, gece yarısı ile sabahın erken saatleri arasına denk gelir; bu dönemde uyanıklık ve dikkat en düşük düzeydedir. Gece vardiyasında çalışanlar, tam da fizyolojik olarak en savunmasız oldukları bu saatlerde uyanık ve dikkatli kalmak zorunda kalırlar. Bu nedenle gece vardiyasında güvensiz davranış ve kaza riski belirgin biçimde artar.

Vardiyalı çalışma, yalnızca akut yorgunluğa değil, aynı zamanda kronik sirkadyen ritim bozukluğuna da yol açar. Sürekli değişen çalışma saatleri, bedenin sirkadyen ritmini hiçbir zaman tam olarak uyum sağlayamayacağı bir duruma sokar. Bu kronik uyumsuzluk, uzun vadede bilişsel işlevleri, duygu düzenlemesini ve genel sağlığı olumsuz etkileyerek güvensiz davranışa zemin hazırlar. Vardiya sistemlerinin sirkadyen ilkeler doğrultusunda tasarlanması, güvensiz davranışların önlenmesinde önemli bir sistemik müdahaledir.

2.4.3. Kronik Stres ve HPA Ekseni

Kronik stres, hipotalamus-hipofiz-adrenal (HPA) ekseninin sürekli etkinleşmesine ve kortizol düzeylerinin uzun süreli yükselmesine yol açar (Selye, 1956). Yüksek kortizol düzeyleri, prefrontal korteksin işlevini bozarken amigdalanın aktivitesini artırır; bu da yürütücü kontrolün zayıflamasına ve duygusal tepkiselliğin artmasına neden olur (Arnsten, 2009). Kronik stres ayrıca dikkat, çalışma belleği ve karar verme kapasitesini düşürerek güvensiz davranış riskini yükseltir. İş yerindeki yüksek talep, düşük kontrol ve yetersiz destek koşulları, kronik stresin en önemli kaynakları arasındadır.

Stresin güvensiz davranış üzerindeki etkisi, hem doğrudan nörofizyolojik yollarla hem de dolaylı davranışsal yollarla gerçekleşir (Cohen ve ark., 2007). Doğrudan yolda, stres beynin karar verme ve kontrol sistemlerini bozar. Dolaylı yolda ise stres, uyku bozukluğuna, madde kullanımına ve olumsuz baş etme davranışlarına yol açarak güvensiz davranışa katkıda bulunur. Bu çok yönlü etki, stres yönetiminin güvenlik açısından neden bu kadar önemli olduğunu göstermektedir. Aşağıdaki Tablo 3'de, başlıca durumsal etmenlerin nörofizyolojik etki mekanizmalarını ve davranışsal sonuçlarını özetlemektedir.

Tablo 3. Durumsal etmenlerin nörofizyolojik etki mekanizmaları

Etmen	Etkilenen Sistem	Nörofizyolojik Mekanizma	Davranışsal Sonuç
Uyku yoksunluğu	Prefrontal korteks, ASK	Yürütücü kontrol ve hata izlemede bozulma	Dikkat kaybı, yavaş tepki, hata farkındalığı azalması
Sirkadyen bozukluk	Beyin sapı uyanıklık sistemi	Düşük uyarılma penceresi (gece)	Gece vardiyasında artan kaza riski
Kronik stres	PFK-amigdala, HPA ekseni	Kortizolün PFK'yi baskılaması	Bozulmuş karar verme, artmış tepkisellik

Zaman baskısı	Ödül sistemi	Kısa vadeli ödül sinyalinin baskınlığı	Kural ihlali, kısayol tercihi

Stresin güvensiz davranış üzerindeki etkisi, akut ve kronik biçimleri arasında farklılık gösterir. Akut stres, kısa süreli ve yoğun bir uyarılma durumudur; bu durum belirli koşullarda performansı geçici olarak artırabilir, ancak aşırı düzeyde olduğunda dikkat daralmasına ve panik tepkilerine yol açar. Kronik stres ise uzun süreli ve sürekli bir yük olarak, beynin yapısını ve işlevini kalıcı biçimde etkiler. Uzun süreli yüksek kortizol maruziyetinin, hipokampusta ve prefrontal kortekste yapısal değişikliklere yol açabildiği, buna karşılık amigdalanın aktivitesini artırabildiği gösterilmiştir (McEwen, 2007). Bu değişiklikler, kronik stres altındaki bireylerin neden zamanla daha tepkisel, daha az kontrollü ve dolayısıyla güvensiz davranışa daha yatkın hale geldiğini açıklamaktadır (Sapolsky, 2004).

İş yerindeki stresin önemli bir kaynağı, iş talepleri ile bireyin kaynakları ve kontrolü arasındaki dengesizliktir. Yüksek talep, düşük karar serbestliği ve yetersiz sosyal destek koşulları, en yıpratıcı stres profilini oluşturur. Bu tür koşullar altında çalışanlar, hem kronik stresin nörofizyolojik etkilerine hem de bunun sonucunda ortaya çıkan güvensiz davranış riskine maruz kalır. Bu bulgu, iş tasarımının, çalışanlara yeterli özerklik ve destek sağlayacak biçimde düzenlenmesinin, yalnızca bir refah meselesi değil, aynı zamanda doğrudan bir güvenlik önlemi olduğunu ortaya koymaktadır. Stres yönetimi, bu nedenle biyopsikososyal önleme çerçevesinin merkezi bir bileşenidir.

2.4.4. Bilişsel Yük ve Çoklu Görev

İnsan beyninin bilgi işleme kapasitesi sınırlıdır ve bu sınır, güvenli davranış açısından önemli sonuçlar doğurur. Çalışma belleği, aynı anda tutulabilen ve işlenebilen bilgi miktarı bakımından oldukça kısıtlıdır (Van der Linden ve ark., 2003). Bir görevin bilişsel yükü bu kapasiteyi aştığında, dikkat bölünür, hata olasılığı artar ve güvenli davranış için gereken izleme ve kontrol işlevleri zayıflar. Modern iş ortamlarında yaygınlaşan çoklu görev, teknolojik dikkat dağıtıcılar ve sürekli kesintiler, bilişsel yükü artırarak güvensiz davranışa zemin hazırlamaktadır.

Çoklu görevin nörofizyolojik maliyeti, prefrontal korteksin sınırlı kaynaklarının birden fazla görev arasında paylaştırılmasından kaynaklanır. Görevler arasında geçiş yapmak, her seferinde bir bilişsel maliyete yol açar ve bu geçiş maliyeti, özellikle karmaşık ve dikkat gerektiren görevlerde belirgin performans düşüşüne neden olur (Hockey, 2013). Güvenlik açısından kritik görevler yürütülürken dikkat dağıtıcıların en aza indirilmesi ve çalışanların birbiriyle çelişen taleplerle aşırı yüklenmemesi, bilişsel yükü yönetmenin ve dolayısıyla güvensiz davranışı

önlemenin temel yollarıdır. Ergonomik tasarım ilkeleri, tam da bu bilişsel sınırları dikkate alarak iş ve çevre tasarımını insan kapasitesine uyarlamayı hedefler.

2.4.5. Çevresel Stres Etmenleri: Gürültü, Isı ve Aydınlatma

Fiziksel çalışma çevresinin özellikleri, nörofizyolojik işlevleri doğrudan etkileyerek güvensiz davranış riskine katkıda bulunur. Gürültü, en yaygın çevresel stres etmenlerinden biridir. Sürekli veya yüksek düzeyli gürültü, dikkatin dağılmasına, iletişimin bozulmasına ve kronik strese yol açarak bilişsel performansı düşürür. Gürültünün beyindeki etkisi, yalnızca işitsel bir rahatsızlıkla sınırlı değildir; gürültü, uyarılma sistemini ve stres yanıtını da etkinleştirerek, uzun vadede yorgunluğa ve dikkat kaynaklarının tükenmesine neden olur. Bu nedenle, gürültü kontrolü, hem işitme sağlığı hem de bilişsel performans ve güvenlik açısından önemli bir müdahaledir.

Termal koşullar da nörofizyolojik işlevleri belirgin biçimde etkiler. Aşırı sıcak veya soğuk ortamlar, bedenin ısı düzenleme mekanizmalarını zorlar ve bilişsel kaynakların bir kısmının bu düzenlemeye yönlendirilmesine neden olur. Sıcak ortamlarda, dikkat ve karar verme performansının düştüğü, hata oranının arttığı ve yorgunluğun hızlandığı gösterilmiştir. Soğuk ortamlarda ise el becerisi ve ince motor kontrol bozulabilir, bu da özellikle hassas görevlerde güvensiz durumlara yol açabilir. Aydınlatma da benzer biçimde önemlidir; yetersiz aydınlatma, hem görsel algıyı zorlaştırır hem de sirkadyen ritmi etkileyerek uyanıklık düzeyini değiştirir. Bu çevresel etmenlerin optimize edilmesi, nörofizyolojik işlevleri destekleyerek güvensiz davranış riskini azaltmanın temel yollarından biridir.

2.4.6. Beslenme, Hidrasyon ve Madde Kullanımı

Beynin işlevi, sürekli ve dengeli bir enerji ve besin arzına bağlıdır. Kan şekeri düzeyindeki dalgalanmalar, prefrontal korteksin işlevini etkileyerek dürtü kontrolü ve karar verme kapasitesini değiştirebilir. Düşük kan şekeri durumları, dikkat kaybına, sinirliliğe ve azalmış öz denetime yol açabilir. Benzer biçimde, yetersiz sıvı alımı sonucu ortaya çıkan hafif dehidrasyon bile, dikkat, kısa süreli bellek ve ruh hali üzerinde ölçülebilir olumsuz etkiler yaratabilir. Bu bulgular, çalışanların düzenli beslenme ve sıvı alımına erişiminin sağlanmasının, göründüğünden çok daha önemli bir güvenlik meselesi olduğunu göstermektedir.

Madde kullanımı, güvensiz davranışın en iyi bilinen ve en güçlü nörofizyolojik risk etmenlerinden biridir. Alkol, prefrontal korteksin işlevini baskılayarak dürtü kontrolünü zayıflatır, risk algısını bozar ve motor koordinasyonu olumsuz etkiler. Bu etkiler, alkolün güvensiz davranış ve kaza riskini neden bu kadar dramatik biçimde artırdığını açıklamaktadır.

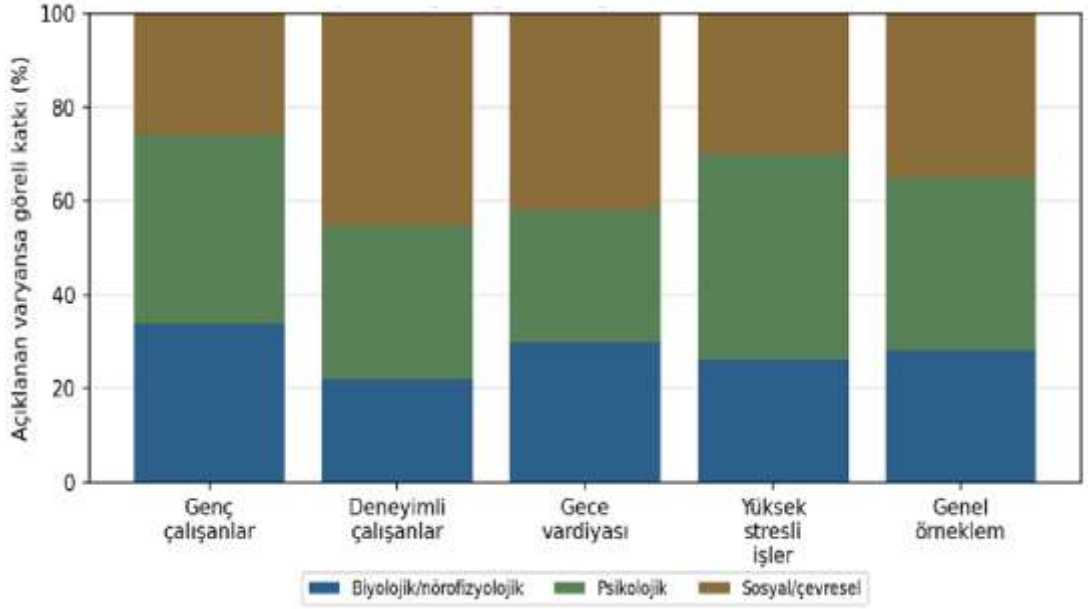
Çeşitli yasa dışı maddeler ve bazı reçeteli ilaçlar da benzer biçimde bilişsel ve motor işlevleri etkileyerek güvenlik riski oluşturabilir. Kafein gibi uyarıcılar ise dikkat ve uyanıklığı geçici olarak artırabilir, ancak aşırı kullanımda kaygı ve huzursuzluğa yol açabilir ve altta yatan yorgunluğu maskeleyerek gerçek riski gizleyebilir. Bu nedenle, madde kullanımının güvenlik üzerindeki etkilerinin ele alınması, biyopsikososyal önleme çerçevesinin önemli bir bileşenidir.

2.5. Biyopsikososyal Bütünleşme

2.5.1. Üç Düzeyin Etkileşimi

Buraya kadar sunulan bulgular, güvensiz davranışların nörofizyolojik, psikolojik ve sosyal düzeylerin karmaşık bir etkileşiminin ürünü olduğunu göstermektedir. Bu düzeyler birbirinden bağımsız değildir; sürekli ve çift yönlü olarak birbirlerini etkilerler. Örneğin, olumsuz bir güvenlik iklimi (sosyal düzey) çalışanda kronik strese (nörofizyolojik düzey) yol açabilir (Zohar, 2010); bu stres risk algısını (psikolojik düzey) bozabilir; bozulmuş risk algısı ise güvensiz davranışa ve muhtemelen bir kazaya yol açarak güvenlik iklimini daha da olumsuz hale getirebilir. Bu döngüsel etkileşim, güvensiz davranışların neden tek düzeyli müdahalelerle kalıcı biçimde çözülemediğini açıklamaktadır.

Şekil 3. Güvensiz davranış varyansının biyopsikososyal bileşenlere göre dağılımı



Yukarıdaki Şekil 3'de görüldüğü gibi, güvensiz davranış varyansına biyolojik, psikolojik ve sosyal etmenlerin göreli katkısı, çalışan grubuna ve iş bağlamına göre değişmektedir. Genç ve deneyimsiz çalışanlarda biyolojik ve nörofizyolojik etmenlerin (örneğin prefrontal korteksin gelişimini tam tamamlamamış olması) katkısı görece yüksekken, deneyimli çalışanlarda sosyal ve örgütsel etmenlerin katkısı öne çıkmaktadır. Bu değişkenlik, önleme stratejilerinin hedef gruba göre uyarlanması gerektiğini vurgulamaktadır.

Bu döngüsel etkileşimin bir başka önemli sonucu, güvensiz davranış ve kazaların yalnızca bir çıktı değil, aynı zamanda bir girdi olarak da işlev görmesidir. Bir kaza yaşandığında, bu olay yalnızca anlık zararla sınırlı kalmaz; geride kalan çalışanlarda kaygı ve stres yaratır, güvenlik iklimini etkiler ve örgütsel öğrenme için bir fırsat veya travma kaynağı oluşturur. Olumlu bir güvenlik kültürüne sahip örgütlerde, kazalar ve ramak kala olayları öğrenme fırsatlarına dönüştürülür ve sistem sürekli olarak iyileştirilir. Olumsuz bir kültürde ise aynı olaylar, suçlama, savunmacılık ve gizlemeye yol açarak sorunun sürmesine katkıda bulunur. Bu geri besleme döngüsü, önlemenin statik değil, dinamik ve sürekli bir süreç olarak ele alınması gerektiğini bir kez daha vurgulamaktadır.

Biyopsikososyal bütünleşmenin pratik değeri, farklı düzeydeki müdahalelerin birbirini güçlendirebilmesinde yatar. Örneğin, yorgunluk yönetimi yoluyla çalışanların nörofizyolojik durumu iyileştirildiğinde, aynı zamanda risk algıları keskinleşir ve güvenli davranışa yönelik motivasyonları artar. Benzer biçimde, olumlu bir güvenlik iklimi oluşturulduğunda, çalışanların stres düzeyi azalır ve bu da nörofizyolojik işlevlerini olumlu etkiler. Bu sinerjik etkiler, çok düzeyli müdahalelerin, tek düzeyli müdahalelerin basit toplamından daha büyük bir etki yaratabileceğini göstermektedir. Bu bütünleştirici içgörü, biyopsikososyal önleme çerçevesinin en önemli pratik katkılarından biridir ve gelecekteki müdahale programlarının tasarımına rehberlik etmelidir.

2.5.2. Bireysel Farklılıkların Rolü

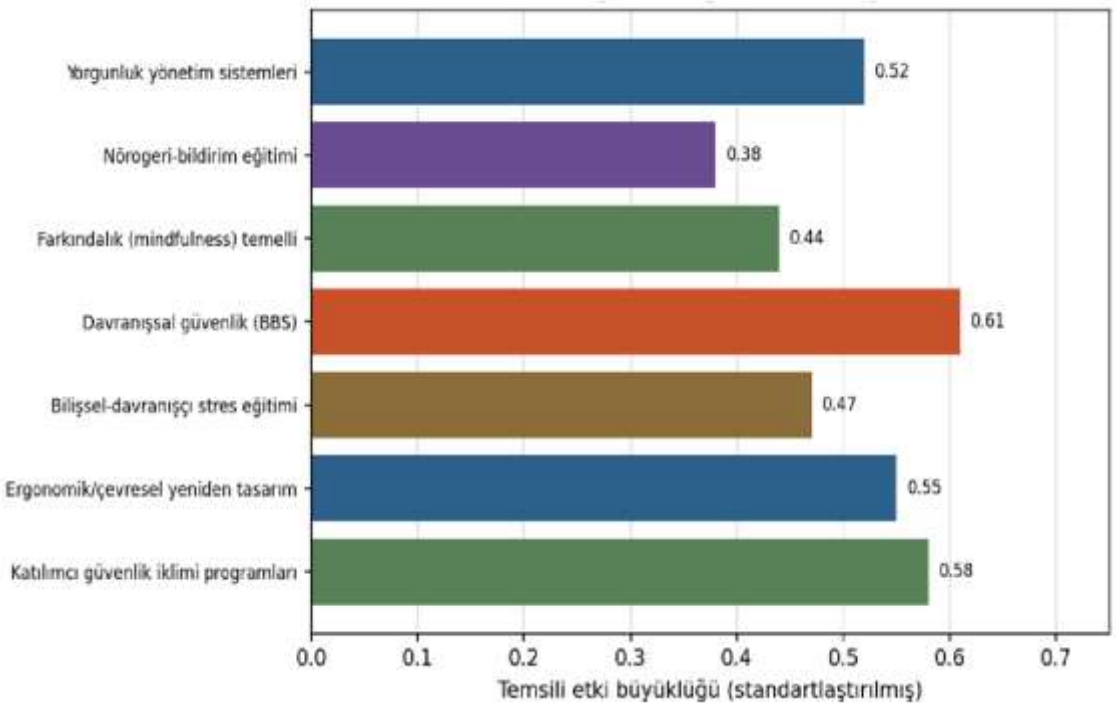
Güvensiz davranışa yatkınlık, bireyler arasında önemli farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıkların bir kısmı, dürtüsellik, heyecan arayışı ve risk toleransı gibi nörofizyolojik temelli kişilik özelliklerinden kaynaklanır. Yaş da önemli bir değişkendir; prefrontal korteksin yaklaşık yirmi beş yaşına kadar olgunlaşmaya devam etmesi, genç çalışanların dürtü kontrolü ve risk değerlendirmesi açısından görece dezavantajlı olabileceğini düşündürmektedir. Cinsiyet, genetik yatkınlık ve önceki deneyimler de bireysel farklılıklara katkıda bulunur. Bu farklılıkların tanınması, güvenlik müdahalelerinin herkese aynı şekilde uygulanan tek tip programlar yerine, kişiselleştirilmiş yaklaşımlar biçiminde tasarlanmasının önemini ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte, bireysel farklılıkların vurgulanması, sorumluluğun tamamen bireye yüklenmesi anlamına gelmemelidir. Nörofizyolojik yatkınlıklar, uygun çalışma koşulları, destekleyici bir güvenlik iklimi ve iyi tasarlanmış sistemler aracılığıyla büyük ölçüde telafi edilebilir. Biyopsikososyal model, tam da bu nedenle, bireysel yatkınlıkları göz ardı etmeden onları destekleyici bir çevresel bağlam içinde ele almayı önerir.

2.5.3. Önleme Stratejilerinin Etkinliği

Güvensiz davranışların önlenmesine yönelik çeşitli müdahalelerin etkinliği, çok sayıda çalışmada değerlendirilmiştir. Bu müdahaleler, geleneksel davranışsal güvenlik programlarından, çevresel ve ergonomik yeniden tasarıma, farkındalık temelli müdahalelerden nörogeri-bildirim uygulamalarına kadar geniş bir yelpazeyi kapsar. Genel olarak, tek bir mekanizmaya odaklanan müdahaleler sınırlı ve genellikle geçici etkiler üretirken, birden fazla düzeyde eş zamanlı olarak çalışan bütünleşik programlar daha güçlü ve kalıcı sonuçlar vermektedir.

Şekil 4. Güvensiz davranışları azaltmaya yönelik önleme stratejilerinin görece etki büyüklükleri



Yukarıdaki Şekil 4'de sunulan etki büyüklüğü karşılaştırması, davranışsal güvenlik programları, ergonomik yeniden tasarım ve katılımcı güvenlik iklimi programlarının görece yüksek etkinlik gösterdiğini; nörogeri-bildirim gibi daha yeni ve deneysel yaklaşımların ise henüz gelişmekte olduğunu ve daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyduğunu göstermektedir. Önemle vurgulanması gereken nokta, bu müdahalelerin birbirinin alternatifi değil, tamamlayıcısı olduğudur. En etkili önleme stratejileri, farklı düzeylere yönelik müdahaleleri bir arada uygulayan çok bileşenli programlardır.

2.5.4. Bütünleşik Biyopsikososyal Önleme Çerçevesi

Bu çalışmada sunulan bulguların bir sentezi olarak, güvensiz davranışların nörofizyolojisini temel alan bütünleşik bir biyopsikososyal önleme çerçevesi önerilebilir. Bu çerçeve, biyolojik, psikolojik ve sosyal girdilerin nörofizyolojik aracı mekanizmalar aracılığıyla güvensiz

davranış riskine dönüştüğünü ve önleme stratejilerinin bu zincirin her halkasına müdahale etmesi gerektiğini kabul eder. Aşağıdaki Şekil 5'de, bu kavramsal çerçeveyi görselleştirmektedir.

Şekil 5. Güvensiz davranışları nörofizyolojisini temel alan biyopsikososyal önleme çerçevesi

Bu çerçevede biyolojik düzey, uyku, sirkadyen ritim, yorgunluk ve fizyolojik uyarılma gibi etmenleri; psikolojik düzey, dikkat, dürtüsellik, risk algısı ve stresle baş etme gibi süreçleri; sosyal düzey ise güvenlik iklimi, sosyal normlar, liderlik ve iş yükü gibi bağlamsal etmenleri kapsar. Bu üç düzeyin girdileri, prefrontal korteks-amigdala dengesi ve HPA ekseni işlevi gibi nörofizyolojik aracı mekanizmalar üzerinden birleşerek güvensiz davranış riskini belirler. Önleme stratejileri, bu zincirin farklı noktalarına eş zamanlı olarak müdahale ettiğinde en yüksek etkinliğe ulaşır. Ayrıca, güvensiz davranış ve kazaların kendileri de sisteme geri besleme yaparak biyolojik, psikolojik ve sosyal düzeyleri yeniden etkiler; bu da önlemenin sürekli ve döngüsel bir süreç olarak ele alınması gerektiğini gösterir.

Aşağıdaki Tablo 4'de, her düzeyde uygulanabilecek başlıca önleme stratejilerini ve bunların hedeflediği nörofizyolojik mekanizmaları özetlemektedir.

Tablo 4. Biyopsikososyal düzeylere göre önleme stratejileri

Düzey	Önleme Stratejisi	Hedeflenen Mekanizma	Örnek Uygulama
Biyolojik	Yorgunluk yönetim sistemleri	Uyku/uyanıklık dengesi	Vardiya optimizasyonu, mola planlaması
Biyolojik	Sirkadyen uyumlu vardiya tasarımı	Uyarılma düzeyi	İleri dönüşlü vardiya rotasyonu
Psikolojik	Farkındalık ve stres yönetimi	PFK-amigdala dengesi	Mindfulness temelli eğitim
Psikolojik	Nörogeri-bildirim / bilişsel eğitim	Dikkat ve hata izleme	Dikkat sürdürme egzersizleri

Sosyal	Güvenlik iklimi programları	Sosyal norm ve stres	Katılımcı liderlik, geri bildirim
Sosyal	Ergonomik yeniden tasarım	Bilişsel yük	İş istasyonu ve süreç iyileştirme

2.5.5. Cinsiyet, Genetik ve Bireysel Değişkenlik

Güvensiz davranışa yatkınlıktaki bireysel farklılıkların bir boyutu da cinsiyet ve genetik etmenlerle ilişkilidir. Araştırmalar, ortalama olarak erkeklerin kadınlara kıyasla daha fazla risk alma eğilimi gösterebildiğini ortaya koymuş olsa da, bu farklılıkların büyük ölçüde biyolojik, sosyal ve kültürel etmenlerin karmaşık bir etkileşiminden kaynaklandığı ve gruplar içindeki değişkenliğin gruplar arasındaki farklardan çok daha büyük olduğu vurgulanmalıdır. Cinsiyete dayalı genellemeler, bireysel farklılıkları gölgeleyerek yanıltıcı olabilir ve ayrımcılığa zemin hazırlayabilir. Bu nedenle, cinsiyet farklılıklarına ilişkin bulgular dikkatle ve bağlamı içinde yorumlanmalıdır.

Genetik yatkınlık da güvensiz davranıştaki bireysel değişkenliğe katkıda bulunan bir etmendir. Dopamin ve serotonin sistemlerini düzenleyen genlerdeki bireysel farklılıklar, dürtüsellik, risk toleransı ve stres tepkiselliği gibi güvenlik açısından önemli özellikleri etkileyebilmektedir. Ancak genetik yatkınlığın etkisi asla kaderci bir biçimde yorumlanmamalıdır. Genler, davranışı doğrudan belirlemez; yalnızca çevresel koşullarla etkileşim içinde belirli eğilimleri daha olası hale getirir. Uygun çalışma koşulları, iyi tasarlanmış sistemler ve destekleyici bir güvenlik iklimi, genetik yatkınlıkların olumsuz etkilerini büyük ölçüde telafi edebilir. Bu nedenle, bireysel değişkenliğe ilişkin bilgi, çalışanları etiketlemek veya dışlamak için değil, herkese uygun ve destekleyici çalışma ortamları tasarlamak için kullanılmalıdır.

2.5.6. Nörofizyolojik İzleme Teknolojileri ve Uygulama Alanları

Nörofizyolojik bilginin güvenlik uygulamalarına aktarılmasında en heyecan verici gelişmelerden biri, taşınabilir ve giyilebilir izleme teknolojilerinin ortaya çıkışıdır. Giyilebilir elektroensefalografi cihazları, göz kırpma ve göz hareketi izleme sistemleri, kalp atış hızı değişkenliği ölçen sensörler ve deri iletkenliği ölçerler, çalışanların yorgunluk, dikkat ve uyarılma düzeylerinin gerçek zamanlı olarak izlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu teknolojiler, özellikle ulaşım, madencilik ve süreç endüstrileri gibi yüksek riskli sektörlerde, güvensiz durumların ortaya çıkmadan önce saptanmasına yönelik erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesine zemin hazırlamaktadır.

Örneğin, uzun mesafe sürücülerinde göz kapağı kapanma süresini ve baş pozisyonunu izleyen sistemler, uyuklama başlamadan önce sürücüyü uyararak potansiyel kazaları önleyebilmektedir. Benzer biçimde, kontrol odası operatörlerinin dikkat düzeyini izleyen

sistemler, dikkat kaybı durumlarında görev dağılımını yeniden düzenleyebilir veya mola önerisi sunabilir. Ancak bu teknolojilerin yaygınlaşması, ciddi etik ve mahremiyet sorunlarını da beraberinde getirmektedir. Çalışanların nörofizyolojik verilerinin sürekli izlenmesi, gözetim, veri güvenliği ve çalışan özerkliği açısından hassas dengeleri gerektirir. Bu nedenle, bu tür sistemlerin geliştirilmesi ve uygulanması, güçlü etik güvenceler, şeffaflık ve çalışan katılımı ilkeleri çerçevesinde yürütülmelidir.

Bu teknolojilerin bir diğer önemli uygulama alanı, güvenlik eğitimi ve becerilerin geliştirilmesidir. Sanal gerçeklik ortamları, çalışanları gerçek tehlike olmaksızın riskli senaryolarla karşılaştırarak, güvenli tepkilerin nörofizyolojik düzeyde pekiştirilmesine olanak sağlar. Bu tür sürükleyici eğitim ortamları, geleneksel sınıf temelli eğitimlere kıyasla, öğrenilenlerin gerçek durumlara aktarılmasında daha etkili olabilir. Nörogeri-bildirim ile birleştirildiğinde, bu teknolojiler çalışanların dikkat düzenleme ve stres yönetimi becerilerini doğrudan güçlendirme potansiyeli taşımaktadır.

2.6. Önleme Paradigmalarının Nörofizyolojik Yeniden Değerlendirmesi

Güvensiz davranışların nörofizyolojik temellerine ilişkin bilgi birikimi, geleneksel önleme paradigmalarının yeniden değerlendirilmesini gerektirmektedir. Uzun yıllar boyunca baskın olan iki temel paradigma, eğitim temelli ve caydırma temelli yaklaşımlardır. Eğitim temelli yaklaşım, güvensiz davranışın bilgi eksikliğinden kaynaklandığını varsayar ve çözümü bilgilendirme ve farkındalık artırmada arar. Caydırma temelli yaklaşım ise güvensiz davranışın bilinçli bir tercih olduğunu varsayar ve çözümü denetim, ceza ve olumsuz sonuçlarda arar. Her iki paradigma da belirli koşullarda işe yarar, ancak nörofizyolojik bulgular ışığında önemli sınırlılıklara sahiptir.

Nörofizyolojik perspektif, güvensiz davranışların önemli bir bölümünün ne bilgi eksikliğinden ne de bilinçli tercihten kaynaklandığını göstermektedir. Yorgun bir çalışanın dikkat kaybı, stres altındaki bir bireyin bozulmuş risk algısı veya dürtüsel bir kişinin ani tepkisi, ne eğitimle ne de cezayla doğrudan çözülebilecek durumlardır; çünkü bunlar beynin işlevsel durumundan kaynaklanmaktadır. Bu tür davranışlar için gereken, çalışanın nörofizyolojik durumunu iyileştiren müdahalelerdir; yeterli dinlenme, stres azaltma, dikkat destekleyici çevre tasarımı ve bilişsel yükün azaltılması gibi. Bu içgörü, önleme paradigmasının bilgilendirme ve cezalandırmadan, koşulları iyileştirme ve kapasiteyi destekleme yönünde genişletilmesini gerektirmektedir.

Bu yeniden değerlendirme, güvenlik kültürü kavramına da yeni bir boyut kazandırmaktadır. Olgun bir güvenlik kültürü, güvensiz davranışları yalnızca bireysel başarısızlıklar olarak

görmek yerine, bunların altında yatan sistemik ve nörofizyolojik koşulları anlamaya çalışan bir öğrenme kültürüdür. Bu tür bir kültürde, bir çalışanın yorgunluğunu dile getirmesi bir zayıflık işareti değil, sorumlu bir güvenlik davranışı olarak değerlendirilir. Suçlama yerine öğrenmeye odaklanan bu adil kültür anlayışı, çalışanların güvensiz durumları çekinmeden bildirmelerini teşvik ederek, önlemenin temelini oluşturan açık iletişimi mümkün kılar. Bu bakımdan, nörofizyolojik bilgi, teknik bir konu olmanın ötesinde, güvenlik kültürünün insani ve etik boyutunu da zenginleştirmektedir.

2.7. Sektörel Uygulamalar ve Alan Bulguları

Güvensiz davranışların nörofizyolojik temellerine ilişkin bilgi birikimi, farklı endüstri kollarında değişen biçimlerde uygulama bulmaktadır. Ulaşım sektörü, yorgunluk ve uyku yoksunluğunun güvenlik üzerindeki etkilerinin en yoğun biçimde araştırıldığı alanların başında gelmektedir. Havacılık, karayolu taşımacılığı ve demiryolu işletmeciliğinde, pilot ve sürücü yorgunluğunun kaza riskini artırdığına ilişkin güçlü kanıtlar bulunmaktadır. Bu sektörlerde uygulamaya konan yorgunluk risk yönetim sistemleri, çalışma ve dinlenme sürelerini nörofizyolojik ilkeler doğrultusunda düzenleyerek güvensiz davranışın en önemli tetikleyicilerinden birini kontrol altına almayı hedeflemektedir.

Sağlık sektörü, uzun ve düzensiz çalışma saatleri, gece vardiyaları ve yüksek bilişsel yük nedeniyle güvensiz davranış açısından özellikle risk altındaki bir alandır. Hekim ve hemşirelerin uzun nöbetler sonrası verdikleri kararlarda hata oranının arttığı, uyku yoksunluğunun tıbbi hataları artırdığı çeşitli çalışmalarda gösterilmiştir. Bu bulgular, çalışma saati düzenlemelerinin ve yeterli dinlenme olanaklarının sağlanmasının, yalnızca çalışan refahı değil, aynı zamanda hasta güvenliği açısından da kritik olduğunu ortaya koymaktadır. Sağlık kuruluşlarında uygulanan mola planlaması, ekip temelli çalışma ve dikkat destekleyici sistemler, nörofizyolojik gerçeklikleri dikkate alan önleme yaklaşımlarına örnek oluşturmaktadır.

Madencilik, inşaat ve süreç endüstrileri gibi ağır sanayi kolları, hem yüksek fiziksel talepler hem de ciddi tehlike potansiyeli nedeniyle güvensiz davranışın sonuçlarının en ağır olduğu sektörlerdir. Bu alanlarda, çevresel stres etmenleri, gürültü, sıcaklık ve fiziksel yorgunluk, nörofizyolojik işlevleri olumsuz etkileyerek güvensiz davranış riskini artırmaktadır. Bu sektörlerde uygulanan davranışsal güvenlik programları, ergonomik yeniden tasarım ve katılımcı güvenlik iklimi çalışmaları, biyopsikososyal önleme çerçevesinin pratik uygulamalarını temsil etmektedir. Bu programların en başarılı örnekleri, teknik önlemleri davranışsal ve örgütsel müdahalelerle bütünleştirenlerdir.

Bu sektörel bulguların ortak dersi, hiçbir tek müdahalenin güvensiz davranışı tek başına ortadan kaldıramayacağıdır. En etkili sonuçlar, nörofizyolojik gerçeklikleri (yorgunluk, dikkat, stres), psikolojik süreçleri (risk algısı, motivasyon) ve sosyal bağlamı (güvenlik iklimi, liderlik) eş zamanlı olarak ele alan bütünleşik programlardan elde edilmektedir. Bu durum, bu çalışmanin merkezi savı olan biyopsikososyal önleme çerçevesinin uygulamadaki geçerliliğini desteklemektedir.

2.8. Politika ve Uygulama Önerileri

Bu çalışmanin bulguları, iş sağlığı ve güvenliği politikaları ve uygulamaları için çeşitli somut öneriler doğurmaktadır. Politika düzeyinde, yorgunluk yönetiminin düzenleyici çerçevelere dahil edilmesi öncelikli bir adımdır. Uyku yoksunluğunun güvenlik açısından alkol kadar tehlikeli olabileceği gerçeği göz önüne alındığında, çalışma ve dinlenme sürelerine ilişkin bilimsel temelli düzenlemelerin geliştirilmesi ve uygulanması büyük önem taşımaktadır. Bu düzenlemeler, yalnızca toplam çalışma saatlerini değil, aynı zamanda vardiya düzenini, gece çalışmasını ve yeterli dinlenme aralıklarını da kapsamalıdır.

Örgüt düzeyinde, güvenlik yönetim sistemlerinin nörofizyolojik gerçeklikleri dikkate alacak biçimde genişletilmesi önerilmektedir. Bu, yorgunluk risk yönetim sistemlerinin kurulmasını, stres yönetimi programlarının güvenlik önlemleri olarak ele alınmasını ve çalışma çevresinin nörofizyolojik işlevleri destekleyecek biçimde tasarlanmasını içerir. Ayrıca, güvenlik eğitiminin, yalnızca kural ve prosedür bilgisi aktarımından öte, çalışanların kendi nörofizyolojik durumlarının farkına varmalarını ve bunu yönetmelerini sağlayacak biçimde zenginleştirilmesi değerli olacaktır. Çalışanların yorgunluk, stres ve dikkat kaybı belirtilerini tanımaları ve bu durumları çekinmeden bildirebilmeleri, önlemenin temel taşlarından biridir.

Birey düzeyinde ise, çalışanların uyku sağlığı, stres yönetimi ve genel yaşam tarzı konularında desteklenmesi önerilmektedir. Ancak bu bireysel önlemlerin, sorumluluğu tamamen bireye yükleyen bir anlayışla değil, örgütsel ve sistemik desteklerle bütünleştirilerek sunulması kritik öneme sahiptir. Bir çalışandan iyi uyumasını beklemek, ancak aynı zamanda ona sürekli değişen ve dinlenmeye izin vermeyen bir vardiya düzeni dayatmak, çelişkili ve etkisiz bir yaklaşımdır. Etkili önleme, bireysel kapasiteyi destekleyen ve onu zorlaştırmayan bir örgütsel bağlam gerektirir. Bu bütüncül anlayış, biyopsikososyal önleme çerçevesinin özünü oluşturmaktadır.

Son olarak, tüm bu önerilerin uygulanmasında, sürekli değerlendirme ve iyileştirme ilkesinin benimsenmesi önemlidir. Güvensiz davranışların önlenmesi, bir kez uygulanıp tamamlanan bir proje değil, sürekli izleme, öğrenme ve uyarlamayı gerektiren dinamik bir süreçtir.

Nörofizyolojik izleme teknolojilerinin sunduğu veriler, bu sürekli iyileştirme sürecine değerli girdiler sağlayabilir; ancak bu verilerin kullanımı, her zaman etik ilkeler, çalışan hakları ve mahremiyet güvenceleri çerçevesinde yürütülmelidir. Bilime dayalı, etik açıdan sorumlu ve çalışan katılımını merkeze alan bir önleme yaklaşımı, hem daha güvenli hem de daha insani iş yerlerinin inşasına katkıda bulunacaktır.

3. SONUÇ

3.1. Temel Bulguların Değerlendirilmesi

Bu çalışma, güvensiz davranışların yalnızca psikolojik veya örgütsel bir sorun olmadığını, aynı zamanda derin nörofizyolojik temellere sahip olduğunu ortaya koymuştur. Prefrontal korteksin yürütücü kontrol işlevleri, amigdalanın tehdit işleme rolü, anterior singulat korteksin hata izleme kapasitesi ve mezolimbik ödül sisteminin risk alma davranışındaki etkisi, güvenli davranışın sinirsel altyapısını oluşturmaktadır. Dopaminerjik, serotonerjik ve noradrenerjik sistemlerin dürtüsellik, dikkat ve uyarılma üzerindeki düzenleyici rolleri, güvensiz davranışın nörokimyasal boyutunu açıklamaktadır. Uyku yoksunluğu, sirkadyen ritim bozukluğu ve kronik stres gibi durumsal etmenler ise bu sistemlerin işlevini bozarak güvensiz davranış riskini önemli ölçüde artırmaktadır.

Bu bulguların en önemli çıkarımı, güvensiz davranışların tek bir nedene indirgenemeyeceği ve dolayısıyla tek bir müdahale türüyle önlenemeyeceğidir. Davranış, biyolojik yatkınlıkların, psikolojik durumların ve sosyal bağlamların sürekli etkileşimi içinde ortaya çıkar. Bu nedenle önleme stratejilerinin de bu üç düzeyi eş zamanlı olarak hedefleyen, nörofizyolojik gerçeklikleri dikkate alan bütüncül bir biyopsikososyal çerçeve içinde tasarlanması gerekmektedir.

3.2. Uygulamaya Yönelik Çıkarımlar

Çalışmanın bulguları, iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları için çeşitli somut çıkarımlar sunmaktadır. Birincisi, yorgunluk ve uyku yoksunluğunun güvenlik açısından alkol kadar tehlikeli olabileceği gerçeği, öznel değerlendirmeye dayalı yaklaşımların ötesine geçen nesnel yorgunluk yönetim sistemlerinin kurulmasını zorunlu kılmaktadır. İkincisi, vardiya sistemlerinin sirkadyen ilkeler doğrultusunda tasarlanması, gece vardiyalarında kaza riskini azaltmada kritik öneme sahiptir. Üçüncüsü, kronik stresin nörofizyolojik etkileri göz önüne alındığında, iş yerinde stres yönetiminin bir refah meselesi olmanın ötesinde, doğrudan bir güvenlik önlemi olarak ele alınması gerekmektedir.

Dördüncüsü, bireysel farklılıkların nörofizyolojik temelleri, güvenlik müdahalelerinin herkese aynı şekilde uygulanan tek tip programlar yerine, kişiselleştirilmiş yaklaşımlar biçiminde

tasarlanmasının önemini ortaya koymaktadır. Beşincisi, farklı düzeylere yönelik müdahalelerin birbirinin alternatifi değil tamamlayıcısı olduğu anlayışı, çok bileşenli bütünleşik programların benimsenmesini gerektirmektedir. Son olarak, güvenli davranışın bir güvenlik iklimi ve liderlik meselesi olduğu gerçeği, yönetimin güvenliğe verdiği görünür önemin, çalışanların nörofizyolojik durumları üzerinde bile dolaylı bir etkisi olabileceğini göstermektedir.

Bu çıkarımların ortak noktası, güvenli davranışın bireyden beklenen bir çaba olmanın ötesinde, örgütün çalışana sağladığı koşullarla mümkün kılınan bir sonuç olduğu anlayışıdır. Nörofizyolojik bulgular, en iyi niyetli ve en yetkin çalışanın bile, yorgunluk, stres veya elverişsiz çevresel koşullar altında güvensiz davranışa sürüklenebileceğini göstermektedir. Bu nedenle, güvenlik yönetimi, çalışanların nörofizyolojik kapasitesini korumayı ve desteklemeyi öncelikli bir hedef olarak benimsemelidir. Bu yaklaşım, güvenliği bir kurallar bütününden çok, insan kapasitesinin sınırlarını tanıyan ve bu sınırlar içinde çalışmayı mümkün kılan bir sistem tasarımı meselesine dönüştürmektedir.

3.3. Gelecekteki Çalışmalar İçin Öneriler

Bu çalışma, alanda önemli bir bilgi birikimi olduğunu ortaya koymakla birlikte, çok sayıda açık soru ve araştırma boşluğunun da mevcut olduğunu göstermektedir. Gelecekteki çalışmalar için aşağıdaki öneriler geliştirilebilir.

Birinci öneri, saha temelli nörofizyolojik ölçümlerin geliştirilmesi ve doğrulanmasıdır. Laboratuvar koşullarında elde edilen bulguların gerçek iş ortamlarına aktarılabilmesi için, giyilebilir elektroensefalografi cihazları, göz izleme sistemleri ve fizyolojik sensörler gibi taşınabilir teknolojilerin geliştirilmesi ve geçerliliğinin sınanması gerekmektedir. Bu tür teknolojiler, çalışanların yorgunluk, dikkat ve uyarılma düzeylerinin gerçek zamanlı olarak izlenmesine olanak sağlayarak, güvensiz durumların ortaya çıkmadan önce fark edilmesini mümkün kılabilir.

İkinci öneri, boylamsal ve neden-sonuç ilişkilerini test eden çalışmaların artırılmasıdır. Mevcut literatürün büyük bir bölümü kesitsel ve ilişkisel niteliktedir; bu da nörofizyolojik değişkenler ile güvensiz davranış arasındaki nedensel bağlantıların kesin olarak kurulmasını zorlaştırmaktadır. Uzun süreli izleme çalışmaları ve iyi tasarlanmış müdahale denemeleri, bu boşluğun doldurulmasına katkıda bulunacaktır.

Üçüncü öneri, nörogeri-bildirim ve bilişsel eğitim gibi doğrudan nörofizyolojik müdahalelerin güvenlik bağlamındaki etkinliğinin sistematik olarak değerlendirilmesidir. Bu yaklaşımlar diğer alanlarda umut vaat eden sonuçlar vermiş olsa da, iş güvenliği bağlamındaki etkinlikleri

henüz yeterince araştırılmamıştır. Randomize kontrollü çalışmalar, bu müdahalelerin gerçek dünya koşullarındaki değerini belirlemek için gereklidir.

Dördüncü öneri, bireysel farklılıkların ve genetik yatkınlıkların rolünün daha ayrıntılı incelenmesidir. Ancak bu araştırma alanı, ciddi etik sorunları da beraberinde getirmektedir. Nörofizyolojik veya genetik yatkınlığa dayalı personel seçiminin, ayrımcılığa ve damgalamaya yol açma riski bulunmaktadır. Bu nedenle, bireysel farklılıklara ilişkin araştırmaların, güçlü etik güvenceler ve çalışan hakları çerçevesinde yürütülmesi büyük önem taşımaktadır.

Beşinci öneri, kültürel ve bağlamsal değişkenlerin dikkate alınmasıdır. Mevcut nörofizyolojik literatürün önemli bir bölümü, sınırlı sayıda ülke ve endüstri kolundan elde edilen verilere dayanmaktadır. Farklı kültürel, ekonomik ve örgütsel bağlamlarda güvensiz davranışın nörofizyolojik ve biyopsikososyal dinamiklerinin nasıl değiştiğini anlamak için daha çeşitli örneklemlerle çalışmalar yapılması gerekmektedir.

Altıncı öneri, disiplinler arası iş birliğinin güçlendirilmesidir. Güvensiz davranışın anlaşılması ve önlenmesi, nörobilim, psikoloji, ergonomi, halk sağlığı, mühendislik ve örgütsel davranış gibi birçok disiplinin ortak katkısını gerektirmektedir. Bu disiplinler arasında ortak kavramsal çerçevelerin, ortak ölçüm araçlarının ve ortak araştırma programlarının geliştirilmesi, alanın ilerlemesi için hayati öneme sahiptir. Aşağıdaki Tablo 5'de, bu önerileri ve her birinin öncelikli araştırma sorularını özetlemektedir.

Tablo 5. Gelecekteki araştırmalar için öncelikli alanlar

Araştırma Alanı	Öncelikli Soru	Beklenen Katkı
Saha temelli ölçüm	Giyilebilir sensörler gerçek zamanlı riski öngörebilir mi?	Erken uyarı sistemleri
Boylamsal tasarım	Nörofizyolojik değişkenler kazayı yordar mı?	Nedensel kanıt
Nörogeri-bildirim	Bilişsel eğitim güvenli davranışı artırır mı?	Yeni müdahale araçları
Bireysel farklılık	Yatkınlık etik biçimde nasıl ele alınır?	Kişiselleştirilmiş, adil yaklaşım
Kültürel bağlam	Bulgular farklı bağlamlarda geçerli mi?	Genellenebilirlik
Disiplinler arası	Ortak çerçeveler nasıl kurulur?	Bütünleşik bilim

3.4. Çalışmanin Sınırlılıkları

Bu çalışmanin bulguları değerlendirilirken, çeşitli sınırlılıkların göz önünde bulundurulması gerekmektedir. Birincisi, güvensiz davranışların nörofizyolojik temellerine ilişkin araştırmaların önemli bir bölümü, kontrollü laboratuvar koşullarında yürütülmüştür.

Laboratuvar ortamında elde edilen bulguların, karmaşık ve çok değişkenli gerçek iş ortamlarına ne ölçüde aktarılabileceği her zaman açık değildir. Gerçek dünya koşulları, laboratuvarda kontrol edilemeyen sayısız etmeni barındırır ve bu da bulguların doğrudan uygulanmasını zorlaştırabilir.

İkincisi, alandaki çalışmaların büyük bir bölümü kesitsel ve ilişkisel niteliktedir. Bu tür çalışmalar, değişkenler arasındaki ilişkileri ortaya koymakla birlikte, neden-sonuç ilişkilerini kesin olarak kanıtlayamaz. Nörofizyolojik bir değişkenin güvensiz davranışla ilişkili olması, onun bu davranışın nedeni olduğu anlamına gelmez; her iki değişken de üçüncü bir etmenin sonucu olabilir veya ilişki ters yönde işliyor olabilir. Üçüncüsü, nörofizyolojik ölçüm yöntemlerinin kendileri de çeşitli teknik ve yorumsal sınırlılıklar barındırır. Beyin aktivitesinin ölçülmesi ve yorumlanması karmaşık bir süreçtir ve aynı verilerin farklı biçimlerde yorumlanması mümkündür.

Dördüncüsü, bu çalışmada sunulan tablo ve şekiller, farklı çalışmalardan elde edilen bulguların bir sentezini temsil etmekte olup, alandaki genel eğilimleri görselleştirmeyi amaçlamaktadır. Bu sentezler, kesin sayısal değerlerden çok kavramsal ilişkileri yansıtmaktadır ve belirli bir çalışmanın kesin sonuçları olarak değil, literatürün genel yönelimini gösteren araçlar olarak değerlendirilmelidir. Son olarak, bu alan hızla gelişmekte olan bir araştırma alanıdır ve mevcut bilgi birikimi sürekli olarak genişlemekte ve güncellenmektedir. Bu nedenle, burada sunulan sonuçların, gelecekteki araştırmalar ışığında yeniden değerlendirilmesi gerekebilir.

Güvensiz davranışlar, insan yaşamına, sağlığına ve ekonomik refahına yönelik önemli ve büyük ölçüde önlenebilir bir tehdit oluşturmaya devam etmektedir. Bu çalışma, bu davranışların ardında yatan nörofizyolojik mekanizmaların anlaşılmasının, önleme çabalarına yeni ve güçlü bir boyut kazandırabileceğini göstermiştir. Ancak nörofizyolojik bilginin, mevcut psikolojik ve sosyal yaklaşımların yerini alması değil, onları tamamlaması ve zenginleştirmesi gerekmektedir. Güvensiz davranışın biyolojik, psikolojik ve sosyal düzeylerini bütünleştiren, bilime dayalı, etik açıdan sorumlu ve insan onurunu merkeze alan bir biyopsikososyal önleme yaklaşımı, daha güvenli iş yerleri ve daha güvenli bir toplum inşa etme yolunda en umut verici çerçeveyi sunmaktadır.

KAYNAKÇA

Aron, A. R., Robbins, T. W., & Poldrack, R. A. (2014). Inhibition and the right inferior frontal cortex: One decade on. Trends in Cognitive Sciences, 18(4), 177-185.

Arnsten, A. F. T. (2009). Stress signalling pathways that impair prefrontal cortex structure and function. Nature Researchs Neuroscience, 10(6), 410-422.

Bandura, A. (1986). Social foundations of thought and action: A social cognitive theory. Prentice-Hall.

Bechara, A., Damasio, H., & Damasio, A. R. (2000). Emotion, decision making and the orbitofrontal cortex. Cerebral Cortex, 10(3), 295-307.
Cannon, W. B. (1929). Bodily changes in pain, hunger, fear and rage. Appleton-Century-Crofts.
Christian, M. S., Bradley, J. C., Wallace, J. C., & Burke, M. J. (2009). Workplace safety: A meta-analysis of the roles of person and situation factors. Journal of Applied Psychology, 94(5), 1103-1127.
Cohen, S., Janicki-Deverts, D., & Miller, G. E. (2007). Psychological stress and disease. JAMA, 298(14), 1685-1687.
Dawson, D., & Reid, K. (1997). Fatigue, alcohol and performance impairment. Nature, 388(6639), 235.
Dinges, D. F. (1995). An overview of sleepiness and accidents. Journal of Sleep Research, 4(S2), 4-14.
Engel, G. L. (1977). The need for a new medical model: A challenge for biomedicine. Science, 196(4286), 129-136.
Farmer, E., & Chambers, E. G. (1926). A psychological study of individual differences in accident rates. Industrial Fatigue Research Board.
Gehring, W. J., Goss, B., Coles, M. G. H., Meyer, D. E., & Donchin, E. (1993). A neural system for error detection and compensation. Psychological Science, 4(6), 385-390.
Greenwood, M., & Woods, H. M. (1919). The incidence of industrial accidents upon individuals. Industrial Fatigue Research Board.
Heinrich, H. W. (1931). Industrial accident prevention: A scientific approach. McGraw-Hill.
Hockey, G. R. J. (2013). The psychology of fatigue: Work, effort and control. Cambridge University Press.
Knutson, B., & Cooper, J. C. (2005). Functional magnetic resonance imaging of reward prediction. Current Opinion in Neurology, 18(4), 411-417.
Lim, J., & Dinges, D. F. (2008). Sleep deprivation and vigilant attention. Annals of the New York Academy of Sciences, 1129(1), 305-322.
McEwen, B. S. (2007). Physiology and neurobiology of stress and adaptation. Physiological Researchs, 87(3), 873-904.
Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An integrative theory of prefrontal cortex function. Annual Research of Neuroscience, 24, 167-202.
Neal, A., & Griffin, M. A. (2006). A study of the lagged relationships among safety climate, safety motivation, safety behavior, and accidents. Journal of Applied Psychology, 91(4), 946-953.
Parasuraman, R., & Rizzo, M. (Eds.). (2007). Neuroergonomics: The brain at work. Oxford University Press.
Phelps, E. A., & LeDoux, J. E. (2005). Contributions of the amygdala to emotion processing. Neuron, 48(2), 175-187.
Rasmussen, J. (1983). Skills, rules, and knowledge: Signals, signs, and symbols in human performance models. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 13(3), 257-266.
Reason, J. (1990). Human error. Cambridge University Press.
Reason, J. (1997). Managing the risks of organizational accidents. Ashgate.
Sapolsky, R. M. (2004). Why zebras don't get ulcers (3rd ed.). Henry Holt.
Selye, H. (1956). The stress of life. McGraw-Hill.
Steinberg, L. (2008). A social neuroscience perspective on adolescent risk-taking. Developmental Research, 28(1), 78-106.
Van der Linden, D., Frese, M., & Meijman, T. F. (2003). Mental fatigue and the control of cognitive processes. Acta Psychologica, 113(1), 45-65.
Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. Journal of Comparative Neurology and Psychology, 18(5), 459-482.
Zohar, D. (2010). Thirty years of safety climate research: Reflections and future directions. Accident Analysis & Prevention, 42(5), 1517-1522.

TAEKWONDO SPORCULARINDA ESNEKLİK VE STATİK DENGENİN TEKME UZANMA MESAFESİ İLE İLİŞKİSİ

Öğr. Gör. Dr. Deniz GÜNAY DEREBAŞI
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Yaşar Doğu Spor Bilimleri Fakültesi, Kurupelit, Samsun
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3079-5695
Prof. Dr. Tülin AKMAN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Yaşar Doğu Spor Bilimleri Fakültesi, Kurupelit, Samsun
ORCID ID: https://orcid.org/000-0001-5660-8910
Doç. Dr. Şaban ÜNVER
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Yaşar Doğu Spor Bilimleri Fakültesi, Kurupelit, Samsun
ORCID ID: https://orcid.org/000-0001-7378-596X

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, taekwondo sporcularında statik denge ve esneklik performansı ile Yop Chagi, Tolyo Chagi ve Neryo Chagi tekniklerine ait tekme uzanma mesafeleri arasındaki ilişkiyi incelemektir. Araştırmaya aktif olarak taekwondo sporu yapan yaşları 19–23 yıl arasında değişen toplam 20 gönüllü sporcu (10 kadın, 10 erkek) katılmıştır. Katılımcıların statik denge performansı Stork Stand Testi ile gözler açık ve gözler kapalı koşullarında, esneklik performansı Otur-Uzan (Sit-and-Reach) Testi ile değerlendirilmiştir. Tekme uzanma mesafeleri Yop Chagi, Tolyo Chagi ve Neryo Chagi teknikleri için ayrı ayrı ölçülmüştür. Verilerin analizinde tanımlayıcı istatistikler ve Spearman sıra korelasyon analizi kullanılmış, anlamlılık düzeyi $p<0.05$ olarak kabul edilmiştir. Araştırma sonuçlarına göre, gözler kapalı statik denge performansı ile Yop Chagi tekme uzanma mesafesi arasında yüksek düzeyde pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmuştur ($r_s=0.747$, $p=0.013$). Buna karşın gözler açık denge performansı ile tekme uzanma mesafeleri arasında anlamlı ilişki tespit edilmemiştir ($p>0.05$). Esneklik değerlendirmesinde ise çift ayak esnekliği ile Tolyo Chagi ($r_s=-0.650$, $p=0.042$) ve Neryo Chagi ($r_s=-0.709$, $p=0.022$) tekme uzanma mesafeleri arasında negatif yönlü anlamlı ilişkiler belirlenmiştir. Ayrıca sağ ayak esnekliği ile Yop Chagi tekme uzanma mesafesi arasında orta düzeyde negatif ve anlamlı bir ilişki saptanmıştır ($r_s=-0.637$, $p=0.048$). Sonuç olarak, taekwondo sporcularında özellikle gözler kapalı statik denge performansının Yop Chagi tekme uzanma mesafesi ile yakından ilişkili olduğu, statik esnekliğin ise tek başına tekme performansını açıklamada yeterli olmadığı belirlenmiştir. Bulgular, teknik performansın geliştirilmesinde denge, nöromüsküler kontrol ve koordinasyon çalışmalarının esneklik uygulamalarıyla birlikte planlanmasının önemini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Taekwondo, denge, esneklik, tekme uzanma mesafesi, Yop Chagi, performans.

THE RELATIONSHIP OF FLEXIBILITY AND STATIC BALANCE WITH KICK REACH DISTANCE IN TAEKWONDO ATHLETES

ABSTRACT

The aim of this study was to investigate the relationship between static balance, flexibility, and maximum kicking reach distance in Yop Chagi, Tolyo Chagi, and Neryo Chagi techniques among taekwondo athletes. A total of 20 volunteer taekwondo athletes (10 females and 10 males), aged between 19 and 23 years, participated in the study. Static balance was assessed using the Stork Stand Test under both eyes-open and eyes-closed conditions, while flexibility was evaluated using the Sit-and-Reach Test. The maximum kicking reach distances for the Yop Chagi, Tolyo Chagi, and Neryo Chagi techniques were measured separately. Descriptive statistics and Spearman's rank correlation analysis were used for statistical analysis, with the significance level set at $p < 0.05$. The results demonstrated a strong positive and statistically significant relationship between eyes-closed static balance performance and Yop Chagi kicking reach distance ($r_s = 0.747$, $p = 0.013$). However, no significant relationship was found between eyes-open balance performance and kicking reach distance ($p > 0.05$). Regarding flexibility, significant negative correlations were observed between bilateral flexibility and Tolyo Chagi ($r_s = –0.650$, $p = 0.042$) as well as Neryo Chagi kicking reach distance ($r_s = –0.709$, $p = 0.022$). In addition, right-leg flexibility showed a moderate negative and statistically significant correlation with Yop Chagi kicking reach distance ($r_s = –0.637$, $p = 0.048$). In conclusion, eyes-closed static balance was found to be closely associated with Yop Chagi kicking reach distance in taekwondo athletes, whereas static flexibility alone was insufficient to explain kicking performance. These findings suggest that balance, neuromuscular control, and coordination should be integrated with flexibility training to optimize technical performance in taekwondo.

Keywords: Taekwondo, static balance, flexibility, kicking reach distance, Yop Chagi, performance

1. GİRİŞ

Taekwondo, teknik performansın büyük ölçüde alt ekstremite hareketlerine dayandığı olimpik bir dövüş sporudur. Müsabakalarda puanların önemli bir bölümü farklı tekme teknikleri ile kazanıldığından, etkili tekme uygulayabilme becerisi performansın temel belirleyicilerinden biridir. Tekme performansı yalnızca teknik beceriye bağlı olmayıp kuvvet, hareket açıklığı, koordinasyon ve nöromüsküler kontrol gibi birçok fiziksel özelliğin birlikte etkileşimiyle oluşmaktadır. Bu nedenle son yıllarda yapılan çalışmalar, taekwondo tekmelerinin biyomekanik ve fizyolojik belirleyicilerini ortaya koymaya odaklanmıştır (Ateş & Yılmaz, 2025; Estevan ve ark., 2013).

Esneklik, taekwondo sporcularında tekme performansını etkileyen önemli fiziksel özelliklerden biridir. Özellikle kalça ve hamstring kaslarının yeterli hareket açıklığına sahip olması, tekmelerin daha geniş açıyla ve daha etkili uygulanmasına katkı sağlamaktadır. Bununla birlikte, tekme performansının yalnızca statik esneklik ile açıklanamayacağı; dinamik hareket açıklığı, kas kuvveti ve teknik becerinin de performans üzerinde önemli rol oynadığı bildirilmektedir. Bu nedenle esnekliğin diğer performans bileşenleriyle birlikte değerlendirilmesi önerilmektedir (Fong & Ng, 2012; Estevan ve ark., 2013).

Tekme performansını etkileyen bir diğer önemli faktör postüral kontrol ve dengedir. Taekwondo teknikleri sırasında vücut ağırlığının destek ayağı üzerinde kontrol edilmesi gerektiğinden, postüral stabilitenin korunması teknik başarının temel unsurlarından biridir. Özellikle görsel girdinin ortadan kaldırıldığı durumlarda proprioseptif ve vestibüler sistemlerin etkin kullanımı önem kazanmakta, gelişmiş denge becerisine sahip sporcuların teknik hareketleri daha kontrollü gerçekleştirebildiği bildirilmektedir (Horak, 2006; Paillard, 2017).

Literatürde taekwondo sporcularında tekme biyomekaniği, kuvvet, hız ve denge üzerine çok sayıda araştırma bulunmasına rağmen, esneklik ve statik denge performansının farklı tekme tekniklerindeki uzanma mesafesi ile ilişkisini birlikte inceleyen çalışmalar sınırlıdır. Bu durum, teknik performansı etkileyen fiziksel özelliklerin bütüncül olarak değerlendirilmesini güçleştirmektedir (Ateş & Yılmaz, 2025).

Bu doğrultuda mevcut çalışmanın amacı, taekwondo sporcularında statik denge ve esneklik performansı ile Yop Chagi, Dollyo Chagi ve Neryo Chagi tekniklerine ait tekme uzanma mesafeleri arasındaki ilişkiyi incelemektir. Elde edilecek bulguların, taekwondo sporcularına yönelik performans geliştirme programlarının planlanmasına ve teknik performansı etkileyen fiziksel özelliklerin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Araştırma Tasarımı

Bu çalışma, taekwondo sporcularında statik denge ve esneklik performansının farklı tekme tekniklerindeki uzanma mesafesi ile ilişkisini incelemek amacıyla tasarlanmış kesitsel ve ilişkisel bir araştırmadır. Araştırmada bağımsız değişkenler statik denge ve esneklik performansı, bağımlı değişkenler ise Yop Chagi, Tolyo Chagi ve Neryo Chagi tekniklerine ait tekme uzanma mesafeleridir.

2.2. Katılımcılar

Araştırmaya Spor Bilimleri Fakültesi Antrenörlük Eğitimi Bölümünde öğrenim gören ve aktif olarak taekwondo sporu yapan yaşları 19–23 yıl arasında değişen toplam 20 gönüllü sporcu

(10 erkek, 10 kadın) katılmıştır. Araştırmaya yalnızca düzenli olarak taekwondo antrenmanlarına devam eden, son altı ay içerisinde alt ekstremite yaralanması yaşamamış, nörolojik, vestibüler veya kas-iskelet sistemi rahatsızlığı bulunmayan sporcular dâhil edilmiştir. Çalışmaya katılmadan önce tüm katılımcılar araştırma hakkında bilgilendirilmiş ve gönüllü onamları alınmıştır.

2.3. Veri Toplama Prosedürü

Tüm ölçümler standart taekwondo salonunda aynı gün içerisinde gerçekleştirilmiştir. Testlerden önce katılımcılara yaklaşık 15 dakikalık standart ısınma programı uygulanmış, ardından denge, esneklik ve tekme uzanma mesafesi ölçümleri sırasıyla gerçekleştirilmiştir. Testler boyunca tüm katılımcılar aynı uygulama protokolünü takip etmiş ve ölçümler aynı araştırmacı tarafından gerçekleştirilmiştir.

2.4. Statik Denge Değerlendirmesi

Katılımcıların statik denge performansı Stork Stand Testi kullanılarak değerlendirilmiştir. Test sırasında katılımcılar dominant ayakları üzerinde dururken diğer ayağın tabanını destek bacağının diz iç yüzüne yerleştirmiş ve ellerini bel üzerinde tutmuştur. Ölçümler gözler açık ve gözler kapalı olmak üzere iki farklı koşulda gerçekleştirilmiştir. Katılımcının denge pozisyonunu kaybettiği ana kadar geçen süre kronometre ile saniye cinsinden kaydedilmiştir.

2.5. Esneklik Değerlendirmesi

Esneklik düzeyi Otur-Uzan (Sit-and-Reach) Testi ile değerlendirilmiştir. Katılımcılar dizleri tam ekstansiyonda olacak şekilde oturmuş, ayak tabanlarını esneklik sehpasına dayayarak ellerini öne doğru uzatmıştır. En ileri noktada 1–2 saniye beklenmiş ve ulaşılan mesafe santimetre cinsinden kaydedilmiştir. Genel esnekliğin yanı sıra sağ ve sol alt ekstremiteye yönelik ölçümler de ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

2.6. Tekme Uzanma Mesafesinin Değerlendirilmesi

Taekwondo performansını değerlendirmek amacıyla Yop Chagi, Tolyo Chagi ve Neryo Chagi tekniklerine ait maksimum tekme uzanma mesafeleri ölçülmüştür. Ölçümler standart tatami üzerinde gerçekleştirilmiştir. Her sporcuya her teknik için üç deneme hakkı verilmiş ve en iyi performans analizlere dâhil edilmiştir. Tekme sırasında ayağın ulaştığı en uzak nokta başlangıç çizgisine göre mezura yardımıyla ölçülerek santimetre cinsinden kaydedilmiştir.

2.7. İstatistiksel Analiz

Araştırma verilerinin analizinde IBM SPSS Statistics paket programı kullanılmıştır. Tanımlayıcı istatistikler ortalama, standart sapma, minimum ve maksimum değerler olarak sunulmuştur. Verilerin normal dağılıma uygunluğu Kolmogorov–Smirnov ve Shapiro–Wilk

testleri ile değerlendirilmiş ve normal dağılım göstermediği belirlenmiştir ($p<0.05$). Bu nedenle değişkenler arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde Spearman sıra korelasyon analizi kullanılmıştır. Korelasyon katsayıları (r_s) ve anlamlılık düzeyleri birlikte raporlanmış, istatistiksel anlamlılık düzeyi $p<0.05$ olarak kabul edilmiştir. Korelasyon katsayılarının yorumlanmasında 0.00–0.29 düşük, 0.30–0.69 orta ve ≥0.70 yüksek ilişki olarak değerlendirilmiştir.

3. BULGULAR

Tablo 1. Katılımcıların fiziksel özellikleri

	N	Minimum	Maximum	Ortalama	Std. Sapma
Yaş (yıl)	20	19.00	23.00	20.60	1.173
Boy (cm)	20	167.00	186.00	178.50	6.536
Vücut Ağırlığı (kg)	20	61.00	80.00	67.4	6.040
Spor Yaşı (yıl)	20	7.00	16.00	11.80	2.780

Tablo 2. Değişkenlere Ait Tanımlayıcı İstatistikler

	N	Minimum	Maximum	Ortalama	Std. Sapma
Denge Gözü Açık (sn)	20	2.01	7.90	3.63	1.878
Denge Gözü Kapalı (sn)	20	1.05	3.80	2.51	.846
Esneklik Çift Ayak (cm)	20	6.20	23.70	18.20	5.771
Esneklik Sağ Ayak (cm)	20	6.20	20.40	15.01	4.431
Esneklik Sol Ayak (cm)	20	12.00	21.00	15.65	3.148
Yopcagi Tekme Mesafesi (m)	20	1.19	1.79	1.41	.209
Tolyo Tekme Mesafesi (m)	20	1.07	1.50	1.29	.115
Neryo Tekme Mesafesi (m)	20	1.25	1.52	1.34	.080

Araştırmada incelenen denge, esneklik ve tekme uzanma mesafesi değişkenlerine ait tanımlayıcı istatistikler verilmiştir. Tablo değerleri minimum, maksimum, ortalama ve standart sapma değerlerini göstermektedir.

Tablo 3. Denge ile Tekme Uzanma Mesafeleri Arasındaki İlişkiler

Değişken	Yopçagi r_s	p	Tolyo r_s	p	Neryo r_s	p
Denge (Göz Açık)	.474	.166	-.006	.986	.242	.501
Denge (Göz Kapalı)	.747	.013*	.039	.914	.429	.216

*$p<0.05$

Denge (göz kapalı) ile yopçagi tekme uzanma mesafesi arasında yüksek düzeyde, pozitif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmuştur ($r_s=0.747$, $p=0.013$).

Denge (göz açık) ile yopçagi ($r_s=0.474$), tolyo ($r_s=-0.006$) ve neryo ($r_s=0.242$) tekme uzanma mesafeleri arasında sırasıyla orta, çok düşük ve düşük düzeyde ilişkiler bulunmuş ve bu ilişkiler istatistiksel olarak anlamlı değildir ($p>0.05$).

Denge (göz kapalı) ile tolyo (r_s=0.039) ve neryo (r_s=0.429) tekme uzanma mesafeleri arasında ise çok düşük ve orta düzeyde ilişkiler bulunmuş, ancak bu ilişkiler istatistiksel olarak anlamlı değildir (p>0.05).

Tablo 4. Esneklik ile Tekme Uzanma Mesafeleri Arasındaki İlişkiler

Değişken	Yopçagi r_s	p	Tolyo r_s	p	Neryo r_s	p
Esneklik (Çift Ayak)	-.596	.069	-.650	.042*	-.709	.022*
Esneklik (Sağ Ayak)	-.637	.048*	-.335	.343	-.620	.056
Esneklik (Sol Ayak)	-.401	.250	-.419	.228	-.442	.200

*p<0.05

Esneklik (çift ayak) ile tolyo (r_s=-0.650, p=0.042) ve neryo (r_s=-0.709, p=0.022) tekme uzanma mesafeleri arasında orta ve yüksek düzeyde, negatif ve istatistiksel olarak anlamlı ilişkiler bulunmuştur. Yopçagi ile olan ilişki (r_s=-0.596) ise orta düzeyde olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı değildir (p>0.05).

Esneklik (sağ ayak) ile yopçagi tekme uzanma mesafesi arasında orta düzeyde, negatif ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir (r_s=-0.637, p=0.048). Tolyo (r_s=-0.335) ve neryo (r_s=-0.620) ile ilişkiler ise düşük ve orta düzeyde olmasına rağmen istatistiksel olarak anlamlı değildir (p>0.05).

Esneklik (sol ayak) ile yopçagi (r_s=-0.401), tolyo (r_s=-0.419) ve neryo (r_s=-0.442) tekme uzanma mesafeleri arasında orta düzeyde negatif ilişkiler bulunmasına rağmen bu ilişkiler istatistiksel olarak anlamlı değildir (p>0.05).

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada taekwondo sporcularında statik denge ve esneklik performansı ile Yop Chagi, Tolyo Chagi ve Neryo Chagi tekme uzanma mesafeleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Bulgular, gözler kapalı denge performansı ile Yop Chagi tekme uzanma mesafesi arasında yüksek düzeyde pozitif ve anlamlı bir ilişki bulunduğunu göstermiştir. Buna karşın gözler açık denge performansı ile tekme uzanma mesafeleri arasında anlamlı bir ilişki belirlenmemiştir. Ayrıca çift ayak esnekliği ile Tolyo Chagi ve Neryo Chagi, sağ ayak esnekliği ile ise Yop Chagi tekme uzanma mesafesi arasında negatif yönlü anlamlı ilişkiler tespit edilmiştir. Bu bulgular, taekwondo performansının denge, esneklik ve teknik becerinin birlikte etkileşimiyle şekillendiğini göstermektedir (Bridge ve ark., 2014; Paillard, 2017).

Çalışmamızın en önemli bulgusu, gözler kapalı denge performansı ile Yop Chagi tekme uzanma mesafesi arasında belirlenen güçlü pozitif ilişkidir. Gözler kapalı denge testlerinde postüral kontrol büyük ölçüde proprioseptif ve vestibüler sistemlerden sağlanmaktadır. Yop Chagi tekniği de destek ayağı üzerinde yüksek düzeyde stabilite gerektirdiğinden, proprioseptif

kontrolü gelişmiş sporcuların daha uzun tekme uzanma mesafesine ulaşabildiği düşünülmektedir. Bu bulgu, postüral kontrolün teknik performansın önemli belirleyicilerinden biri olduğunu bildiren çalışmalarla uyumludur (Bridge ve ark., 2014; Paillard, 2017).

Buna karşılık gözler açık denge ile tekme uzanma mesafeleri arasında anlamlı ilişki bulunmamıştır. Görsel geri bildirimin varlığı denge performansını desteklediğinden, bireyler arasındaki proprioseptif farklılıklar daha az belirgin hâle gelmiş olabilir. Horak (2006), postüral kontrolün görsel, vestibüler ve somatosensoriyel sistemlerin ortak çalışmasıyla sağlandığını, bu sistemlerden birinin devre dışı bırakılmasının gerçek denge kapasitesini değerlendirmede daha duyarlı sonuçlar sağlayabileceğini belirtmiştir. Bulgularımız bu görüşü desteklemektedir (Horak, 2006; Paillard, 2017).

Araştırmanın bir diğer önemli sonucu, bazı esneklik değişkenleri ile tekme uzanma mesafeleri arasında negatif yönlü anlamlı ilişkilerin belirlenmesidir. Bu durum ilk bakışta beklenenin aksine görünse de tekme performansının yalnızca statik esneklik ile açıklanamayacağını göstermektedir. Taekwondo tekmeleri; hareket açıklığının yanı sıra alt ekstremite kuvveti, koordinasyon, denge ve teknik becerinin birlikte etkisiyle gerçekleştirilmektedir. Ayrıca bu çalışmada kullanılan otur-eriş testi statik esnekliği değerlendirmekte olup, müsabaka sırasında gerekli olan dinamik hareket açıklığını tam olarak yansıtmamaktadır. Bu nedenle esneklik ile tekme performansı arasındaki ilişkinin farklı çıkmış olması literatürle uyumludur (Estevan ve ark., 2013; Fong & Ng, 2012).

Yop Chagi tekniğinde anlamlı ilişki bulunurken Tolyo Chagi ve Neryo Chagi tekniklerinde benzer sonuçların elde edilmemesi, tekniklerin farklı biyomekanik özelliklerinden kaynaklanabilir. Yop Chagi sırasında destek ayağındaki postüral kontrol daha belirgin rol oynarken, diğer tekniklerde gövde rotasyonu ve momentum aktarımı performansı daha fazla etkilemektedir. Bu nedenle farklı tekme tekniklerinin farklı fiziksel özelliklerden etkilenmesi beklenen bir durumdur (Falco ve ark., 2013; Estevan ve ark., 2013).

Bu çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Öncelikle örneklem büyüklüğünün düşük olması sonuçların genellenebilirliğini sınırlandırmaktadır. Ayrıca yalnızca statik denge ve statik esneklik değerlendirilmiş; dinamik denge, tekme hızı ve biyomekanik analizler araştırmaya dâhil edilmemiştir. Gelecekte daha geniş örneklemlerle gerçekleştirilecek ve kuvvet platformu ile üç boyutlu hareket analizlerini içeren çalışmaların, taekwondo performansını etkileyen mekanizmaların daha ayrıntılı açıklanmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir (Horak, 2006; Paillard, 2017).

Sonuç olarak, bu çalışmada gözler kapalı statik denge performansının özellikle Yop Chagi tekme uzanma mesafesi ile güçlü ve pozitif ilişkili olduğu belirlenmiştir. Buna karşın statik esnekliğin tek başına teknik performansı açıklamada yeterli olmadığı görülmüştür. Bulgularımız, taekwondo performansının denge, koordinasyon, nöromüsküler kontrol ve teknik becerinin birlikte etkileşimi sonucunda şekillendiğini göstermektedir. Bu nedenle antrenman programlarında denge çalışmalarının teknik uygulamalarla birlikte planlanması ve esneklik çalışmalarının fonksiyonel egzersizlerle desteklenmesi önerilmektedir (Bridge ve ark., 2014; Paillard, 2017).

KAYNAKLAR

Ateş, O., & Yılmaz, E. A. (2025). Taekwondo kicks at the center of biomechanical research: A systematic review. Kinesiology, 57(2), 289–307. https://doi.org/10.26582/k.57.2.13

Bridge, C. A., Ferreira da Silva Santos, J., Chaabène, H., Pieter, W., & Franchini, E. (2014). Physical and physiological profiles of taekwondo athletes. Sports Medicine, 44(6), 713–733. https://doi.org/10.1007/s40279-014-0159-9

Estevan, I., Jandacka, D., & Falco, C. (2013). Effect of stance position on kick performance in taekwondo. Journal of Sports Sciences, 31(16), 1815–1822. https://doi.org/10.1080/02640414.2013.803590

Falco, C., Molina-García, J., Álvarez, O., & Estevan, I. (2013). Effects of target distance on selected biomechanical parameters in taekwondo roundhouse kick. Sports Biomechanics, 12(4), 381–392. https://doi.org/10.1080/14763141.2013.769619

Fong, S. S. M., & Ng, G. Y. F. (2011). Does taekwondo training improve physical fitness? Physical Therapy in Sport, 12(2), 100–106. https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2010.07.001

Horak, F. B. (2006). Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls? Age and Ageing, 35(Suppl. 2), ii7–ii11. https://doi.org/10.1093/ageing/afl077

Paillard, T. (2017). Plasticity of the postural function to sport and/or motor experience. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 72, 129–152. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.11.015

Xu, Q., Yan, H., Yang, J., & Shan, W. (2025). Biomechanical differences in bilateral lower limb movement during the back kick technique of taekwondo athletes. Life, 15(12), Article 1822. https://doi.org/10.3390/life15121822

Yılmaz, D. S. (2021). The effect of different flexibility studies on performance of taekwondo. Turkish Journal of Sport and Exercise. https://doi.org/10.15314/tsed.982755

Zhang, J., Kim, Y., Qu, Q., & Kim, S. (2025). Effects of different taekwondo practices on biomechanics of balance and control during kick technique. Annals of Human Biology, 52(1), Article 2461132.

İKİ TEKERLEKLİ ARAÇ KULLANIMININ STATİK DENGE PERFORMANSI ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Öğr. Gör. Dr. Deniz GÜNAY DEREBAŞI
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Yaşar Doğu Spor Bilimleri Fakültesi, Kurupelit, Samsun
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-3079-5695
Prof. Dr. Tülin AKMAN
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Yaşar Doğu Spor Bilimleri Fakültesi, Kurupelit, Samsun
ORCID ID: https://orcid.org/000-0001-5660-8910
Doç. Dr. Şaban ÜNVER
Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Yaşar Doğu Spor Bilimleri Fakültesi, Kurupelit, Samsun
ORCID ID: https://orcid.org/000-0001-7378-596X

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, düzenli olarak motosiklet veya bisiklet kullanan sporcular ile iki tekerlekli araç kullanmayan sporcuların statik denge performanslarının karşılaştırılmasıdır. Ayrıca takım sporları ile bireysel sporlarla uğraşan katılımcıların statik denge performansları arasındaki farklılıkların incelenmesi amaçlanmıştır. Araştırmaya farklı spor branşlarında aktif olarak spor yapan toplam 24 gönüllü erkek sporcu katılmıştır. Katılımcılar araç kullanım durumuna göre araç kullanan (motor veya bisiklet; n=12, yaş=22.83±1.94 yıl) ve araç kullanmayan (n=12, yaş=22.58±1.31 yıl) olmak üzere iki gruba ayrılmıştır. Statik denge performansı Tek Ayak Gözler Kapalı Denge Testi ile değerlendirilmiştir. Her katılımcıya iki deneme uygulanmış ve en iyi derece analizlere dâhil edilmiştir. Gruplar arasındaki karşılaştırmalarda Mann–Whitney U testi kullanılmış ve istatistiksel anlamlılık düzeyi $p<0.05$ olarak kabul edilmiştir. Araç kullanan sporcuların tek ayak gözler kapalı denge süresi ortalaması 110.90±84.51 sn, araç kullanmayan sporcuların ise 104.79±69.08 sn olarak belirlenmiştir. Gruplar arasında statik denge performansı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır ($U=76$, $p=0.840$). Benzer şekilde takım sporları ile bireysel sporcular arasında da statik denge performansı bakımından anlamlı farklılık saptanmamıştır ($U=79$, $p=0.685$). Düzenli olarak motosiklet veya bisiklet kullanmanın, aktif sporcularda tek ayak gözler kapalı statik denge performansını anlamlı düzeyde etkilemediği belirlenmiştir. Ayrıca spor branşının takım veya bireysel olmasının da statik denge performansı üzerinde belirleyici olmadığı görülmüştür. Daha büyük örneklemler ve dinamik denge değerlendirmelerinin kullanıldığı gelecekteki çalışmalar, iki tekerlekli araç kullanımının postüral kontrol üzerindeki etkilerinin daha kapsamlı olarak ortaya konulmasına katkı sağlayabilir.

Anahtar Kelimeler: Statik denge, postüral kontrol, motosiklet, bisiklet, sporcu, tek ayak denge testi

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF TWO-WHEELED VEHICLE USE ON STATIC BALANCE PERFORMANCE

ABSTRACT

The aim of this study was to compare the static balance performance of athletes who regularly use motorcycles or bicycles with those who do not use two-wheeled vehicles. In addition, differences in static balance performance between team and individual sport athletes were examined. Twenty-four physically active male volunteer athletes participated in this cross-sectional study. Participants were divided into two groups according to two-wheeled vehicle use: users (motorcycle or bicycle; n=12, age=22.83±1.94 years) and non-users (n=12, age=22.58±1.31 years). Static balance was assessed using the Single-Leg Stance Test with Eyes Closed. Two trials were performed for each participant, and the best performance was included in the analysis. Group comparisons were conducted using the Mann–Whitney U test, and statistical significance was accepted at $p<0.05$. The mean static balance time was 110.90±84.51 s in the two-wheeled vehicle users and 104.79±69.08 s in the non-users. No statistically significant difference was found between the groups (U=76, p=0.840). Likewise, no significant difference in static balance performance was observed between team sport and individual sport athletes (U=79, p=0.685). Regular motorcycle or bicycle use did not significantly influence static balance performance in physically active athletes. Similarly, participation in team or individual sports was not associated with differences in static balance performance. Future studies including larger sample sizes and dynamic balance assessments may provide a more comprehensive understanding of the relationship between habitual two-wheeled vehicle use and postural control.

Keywords: Static balance, postural control, motorcycle, bicycle, athlete, single-leg stance test

1. GİRİŞ

Denge, sportif performansın temel belirleyicilerinden biri olup postüral kontrolün korunması, hareket doğruluğunun sağlanması ve yaralanma riskinin azaltılmasında önemli rol oynamaktadır. Postüral kontrol; görsel, vestibüler ve somatosensoriyel sistemlerden elde edilen bilgilerin merkezi sinir sistemi tarafından bütünleştirilmesi ve uygun motor yanıtların oluşturulmasıyla sağlanmaktadır. Bu sistemler arasındaki koordinasyon, bireyin hem statik hem de dinamik koşullarda vücut ağırlık merkezini destek yüzeyi içerisinde tutabilmesine olanak tanımaktadır. Özellikle sporcularda postüral kontrolün gelişmiş olması; teknik becerilerin daha etkili uygulanması, hareket ekonomisinin artırılması ve performansın sürdürülebilirliği açısından önem taşımaktadır (Horak, 2006; Paillard, 2017).

Statik denge performansı, bireyin sabit bir pozisyonda minimum postüral salınımla dengesini koruyabilme yeteneğini ifade etmektedir. Statik dengenin değerlendirilmesinde en yaygın kullanılan yöntemlerden biri tek ayak duruş testidir. Gözlerin kapatıldığı uygulamalarda görsel girdinin ortadan kaldırılması nedeniyle birey vestibüler ve proprioseptif sistemlerden gelen duyusal bilgilere daha fazla bağımlı hâle gelmektedir. Bu nedenle tek ayak gözler kapalı denge testi, postüral kontrolün değerlendirilmesinde duyarlı ve güvenilir yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir. Özellikle fiziksel olarak aktif bireylerde nöromüsküler kontrolün değerlendirilmesi ve farklı antrenman uyaranlarının denge üzerine etkilerinin belirlenmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Springer ve ark., 2007; Ageberg ve ark., 2003).

Düzenli fiziksel aktivitenin postüral kontrolü geliştirdiği bilinmesine rağmen, bu gelişimin büyüklüğü yapılan aktivitenin özelliklerine göre değişmektedir. Spor branşlarının gerektirdiği hareket örüntüleri, denge talepleri ve çevresel koşullar proprioseptif geri bildirimi ve postüral adaptasyonları farklı düzeylerde etkileyebilmektedir. Özellikle denge gereksiniminin yüksek olduğu spor dallarında uzun süreli antrenmanların postüral salınımı azalttığı ve denge performansını geliştirdiği bildirilmektedir. Buna karşın benzer fiziksel uygunluk düzeyine sahip bireylerde farklı motor deneyimlerin postüral kontrol üzerine ilave katkılar sağlayıp sağlamadığı henüz tam olarak açıklığa kavuşmamıştır (Hrysomallis, 2011; Paillard, 2017).

Bisiklet kullanımının denge performansı üzerine etkisini inceleyen araştırmalarda çelişkili sonuçlar bildirilmiştir. Bazı çalışmalar bisiklet antrenmanlarının postüral kontrolü geliştirdiğini ve proprioseptif fonksiyonları desteklediğini bildirirken, bazı araştırmalarda fiziksel olarak aktif kontrol gruplarıyla karşılaştırıldığında anlamlı farklılık bulunmamıştır. Motosiklet kullanıcılarında ise çalışmalar daha çok sürüş güvenliği, reaksiyon zamanı ve sürüş performansı üzerine yoğunlaşmış; statik denge performansını değerlendiren araştırmalar oldukça sınırlı kalmıştır. Ayrıca düzenli spor yapan bireylerde iki tekerlekli araç kullanımının, sportif antrenmanların sağladığı nöromüsküler adaptasyonlara ek bir katkı sağlayıp sağlamadığı da net olarak ortaya konulamamıştır. Bu durum, fiziksel olarak aktif bireylerde iki tekerlekli araç kullanımının statik denge üzerindeki etkisini araştıran çalışmalara ihtiyaç olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmada, düzenli olarak motosiklet veya bisiklet kullanan sporcular ile iki tekerlekli araç kullanmayan sporcuların tek ayak gözler kapalı statik denge performanslarının karşılaştırılması amaçlanmıştır. İki tekerlekli araç kullanımının oluşturduğu sürekli postüral uyaranların, düzenli sportif aktivitenin sağladığı nöromüsküler adaptasyonlara ek olarak statik denge performansını olumlu yönde etkileyebileceği düşünülmektedir. Elde edilecek bulguların, denge

gelişimine yönelik antrenman uygulamalarının planlanmasına ve iki tekerlekli araç kullanımının postüral kontrol üzerindeki olası etkilerinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayacağı öngörülmektedir.

2. YÖNTEM

2.1. Araştırma Tasarımı

Bu çalışma, düzenli olarak iki tekerlekli araç kullanan sporcular ile iki tekerlekli araç kullanmayan sporcuların statik denge performanslarını karşılaştırmak amacıyla tasarlanmış kesitsel ve karşılaştırmalı nicel bir araştırmadır. Araştırmada bağımsız değişken araç kullanım durumu (motor veya bisiklet kullanımı), bağımlı değişken ise tek ayak gözler kapalı statik denge süresi olarak belirlenmiştir.

2.2. Katılımcılar

Araştırmaya farklı spor branşlarında aktif olarak spor yapan toplam 24 gönüllü erkek sporcu katılmıştır. Katılımcılar araç kullanım durumlarına göre iki gruba ayrılmıştır. Birinci grup düzenli olarak motosiklet veya bisiklet kullanan 12 sporcudan (yaş=22.83±1.94 yıl), ikinci grup ise iki tekerlekli araç kullanmayan 12 sporcudan (yaş=22.58±1.31 yıl) oluşmuştur. Araştırmaya yalnızca herhangi bir nörolojik, vestibüler veya alt ekstremiteyi etkileyen kas-iskelet sistemi yaralanması bulunmayan ve düzenli sportif antrenmanlarına devam eden bireyler dâhil edilmiştir. Tüm katılımcılar çalışma hakkında bilgilendirilmiş ve gönüllü onamları alınmıştır.

2.3. Statik Denge Değerlendirmesi

Katılımcıların statik denge performansı, Tek Ayak Gözler Kapalı Denge Testi ile değerlendirilmiştir. Test öncesinde tüm katılımcılara uygulama prosedürü açıklanmış ve bir deneme uygulaması yaptırılmıştır. Test sırasında katılımcılar çıplak ayakla veya ince tabanlı spor ayakkabısı ile düz bir zemin üzerinde dik pozisyonda durmuş, ellerini bel hizasında tutmuş ve dominant alt ekstremitelerini yerden yaklaşık 10–15 cm kaldırmıştır. Katılımcının gözlerini kapatmasıyla birlikte kronometre çalıştırılmıştır. Test; kaldırılan ayağın yere temas etmesi, destek ayağının yer değiştirmesi, ellerin belden ayrılması veya gözlerin açılması durumunda sonlandırılmıştır. Her katılımcıya iki ölçüm uygulanmış ve ölçümler arasında yeterli dinlenme süresi verilmiştir. Analizlerde katılımcının elde ettiği en uzun denge süresi (saniye) değerlendirmeye alınmıştır.

2.4. İstatistiksel Analiz

Araştırma verilerinin analizinde IBM SPSS Statistics 25.0 (IBM Corp., Armonk, NY, ABD) paket programı kullanılmıştır. Tanımlayıcı istatistikler ortalama, standart sapma, minimum ve

maksimum değerler olarak sunulmuştur. Örneklem büyüklüğünün sınırlı olması nedeniyle gruplar arasındaki karşılaştırmalarda non-parametrik Mann–Whitney U testi kullanılmıştır. Araç kullanan ve kullanmayan sporcuların yanı sıra takım ve bireysel sporcuların statik denge performansları bu test ile karşılaştırılmıştır. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0.05$ olarak kabul edilmiştir.

3. BULGULAR

Tablo 1. Araç Kullanım Durumuna Göre Tek Ayak Gözler Kapalı Denge Süresi Karşılaştırması

Değişken	Grup	n	Ortalama	SS	Min	Max	U	p
Tek ayak gözler kapalı denge süresi (sn)	Araç kullanan (motor + bisiklet)	12	110.90	84.51	16.20	272.75	76	0.840
	Araç kullanmayan	12	104.79	69.08	39.48	242.25		

Araştırmada bisiklet ve motor kullanan bireyler tek grup altında toplanarak araç kullanmayan bireyler ile statik denge performansları karşılaştırılmıştır. Araç kullanan bireylerin tek ayak gözler kapalı denge süresi ortalaması 110.90 ± 84.51 sn, araç kullanmayan bireylerin ise 104.79 ± 69.08 sn olarak bulunmuştur.

Gruplar arasındaki farkın belirlenmesi amacıyla uygulanan Mann-Whitney U testi sonucunda araç kullanan bireyler ile araç kullanmayan bireyler arasında denge performansı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($U = 76$, $p = 0.840$).

Bu bulgular, motor veya bisiklet kullanma alışkanlığının tek ayak üzerinde gözler kapalı statik denge performansı üzerinde anlamlı bir etkisinin olmadığını göstermektedir.

Tablo 2. Spor Türüne Göre Denge Performansının Karşılaştırılması

Değişken	Spor Türü	n	Ortalama	SS	Min	Max	U	p
Tek ayak gözler kapalı denge süresi (sn)	Takım sporları	11	115.96	62.16	49.36	213.41	79	0.685
	Bireysel sporlar	13	100.97	87.22	16.20	272.75		

Katılımcıların branşlarına göre takım sporları ve bireysel sporlar olmak üzere iki grup oluşturulmuş ve grupların statik denge performansları karşılaştırılmıştır. Takım sporlarıyla uğraşan bireylerin tek ayak gözler kapalı denge süresi ortalaması 115.96 ± 62.16 sn, bireysel sporlarla uğraşan bireylerin ortalaması ise 100.97 ± 87.22 sn olarak bulunmuştur.

Gruplar arasındaki farkın belirlenmesi amacıyla uygulanan Mann-Whitney U testi sonucunda takım sporları ile bireysel sporlar arasında denge performansı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmamıştır ($U = 79$, $p = 0.685$).

4. TARTIŞMA

Bu çalışmada düzenli olarak motosiklet veya bisiklet kullanan sporcular ile iki tekerlekli araç kullanmayan sporcular arasında tek ayak gözler kapalı statik denge performansı açısından istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Benzer şekilde takım sporları ile bireysel sporlarla uğraşan katılımcılar arasında da denge performansı bakımından anlamlı bir fark saptanmamıştır. Bu sonuçlar, iki tekerlekli araç kullanımının veya spor branşının tek başına statik denge performansını belirleyen temel faktör olmadığını, özellikle düzenli spor yapan bireylerde postüral kontrolün çok sayıda nöromüsküler ve duyusal adaptasyonun ortak ürünü olduğunu düşündürmektedir (Paillard, 2017; Hrysomallis, 2011).

Araç kullanan grubun ortalama denge süresinin araç kullanmayan gruba göre daha yüksek olmasına rağmen (110.90±84.51 sn'ye karşı 104.79±69.08 sn) bu farkın istatistiksel olarak anlamlı olmaması dikkat çekicidir. Bunun en önemli nedenlerinden biri, çalışmaya katılan tüm bireylerin düzenli spor yapan kişiler olması olabilir. Düzenli antrenman; proprioseptif duyarlılığı, kaslar arası koordinasyonu ve postüral stratejileri geliştirmektedir. Bu nedenle araç kullanımına bağlı oluşabilecek ilave kazanımlar, mevcut sportif adaptasyonların içerisinde belirgin hâle gelmemiş olabilir. Paillard (2017), spor deneyiminin postüral performansı geliştirdiğini ancak bu gelişimin büyük ölçüde göreve özgü olduğunu, farklı motor görevlerine aktarımının sınırlı kaldığını belirtmiştir. Benzer şekilde Hrysomallis (2011), sporcular arasındaki denge performansı farklılıklarının yalnızca branşa bağlı olmadığını; antrenman içeriği, motor deneyim ve dengeye özgü uygulamaların da önemli belirleyiciler olduğunu bildirmiştir. Bu doğrultuda çalışmamızdaki katılımcıların tamamının aktif sporcu olması, iki tekerlekli araç kullanımına bağlı olası farklılıkların ortaya çıkmasını sınırlandırmış olabilir (Paillard, 2017; Hrysomallis, 2011).

Çalışmamızdaki bulguların açıklanmasında değerlendirme yönteminin özellikleri de dikkate alınmalıdır. Kullanılan tek ayak gözler kapalı denge testi statik postüral kontrolü değerlendirmektedir. Buna karşın motosiklet ve bisiklet kullanımında denge; hız, ivmelenme, yön değiştirme ve gövde pozisyonundaki sürekli değişimlere uyum sağlayacak şekilde dinamik olarak düzenlenmektedir. Bu nedenle sürüş sırasında gelişen sensörimotor adaptasyonların statik bir denge testine aynı düzeyde yansımaması beklenebilir. Kiers ve arkadaşları (2013), farklı fiziksel aktivitelerin postüral kontrol üzerine etkilerinin kullanılan değerlendirme yöntemine ve aktivitenin özelliklerine bağlı olarak değişebileceğini bildirmiştir. Benzer şekilde Lion ve arkadaşları (2009), yol ve dağ bisikletçilerinde postüral organizasyonun farklılaştığını ve bu adaptasyonların aktiviteye özgü olduğunu göstermiştir. Bu nedenle motosiklet ve bisiklet

kullanıcılarının aynı grup altında değerlendirilmesi de olası farklı adaptasyonların birbirini maskelemesine neden olmuş olabilir (Lion ve ark., 2009; Kiers ve ark., 2013; Paillard, 2017).

Literatürde fiziksel aktivite ile postüral kontrol arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalar da bulgularımızı desteklemektedir. Kiers ve arkadaşlarının (2013) sistematik derlemesinde fiziksel aktivitenin genel olarak postüral kontrolü geliştirdiği, ancak farklı spor dalları arasında görülen farkların kullanılan test protokollerine ve sporun özelliklerine bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir. Hrysomallis (2011) ise denge performansının spor branşından ziyade antrenman içeriği, teknik düzey ve dengeye özgü egzersizlerden etkilendiğini ifade etmiştir. Dolayısıyla çalışmamızda araç kullanan ve kullanmayan gruplar arasında anlamlı farklılık bulunmaması, her iki grubun da benzer fiziksel uygunluk düzeyine sahip olmasına bağlanabilir (Hrysomallis, 2011; Kiers ve ark., 2013).

Çalışmamızda takım sporları ile bireysel sporcular arasında da statik denge performansı bakımından anlamlı farklılık bulunmamıştır. Takım sporcularının ortalama denge süresi daha yüksek olmasına rağmen bu fark istatistiksel olarak anlamlı değildir. Paillard (2019), spor uzmanlığı ile postüral beceriler arasındaki ilişkinin sporun postüral taleplerine bağlı olarak değiştiğini belirtmiştir. Hrysomallis (2011) de denge performansının yalnızca spor branşıyla açıklanamayacağını, uygulanan antrenman içeriğinin daha belirleyici olduğunu bildirmiştir. Çalışmamızda bireysel spor grubunun farklı branşlardan oluşması ve her iki grubun da düzenli antrenman yapan sporculardan oluşması, benzer postüral adaptasyonların gelişmesine neden olmuş olabilir (Paillard, 2019; Hrysomallis, 2011).

Bu çalışmada araç kullanan grubun ortalama denge süresinin daha yüksek olmasına rağmen istatistiksel anlamlılık elde edilememesi, sonuçların yalnızca p değeri üzerinden değerlendirilmemesi gerektiğini de göstermektedir. Özellikle örneklem büyüklüğünün sınırlı olması ve gruplar içerisindeki bireysel değişkenliğin yüksek olması istatistiksel gücü azaltmış olabilir. Daha büyük örneklem gruplarında gerçekleştirilecek çalışmalarda küçük düzeydeki etkilerin ortaya konulması mümkün olabilir. Ayrıca etki büyüklüğünün raporlanması, istatistiksel olarak anlamlı bulunmayan sonuçların pratik öneminin değerlendirilmesine katkı sağlayacaktır (Kiers ve ark., 2013).

Çalışmanın önemli güçlü yönlerinden biri, düzenli spor yapan bireylerde iki tekerlekli araç kullanım alışkanlığını statik denge performansı açısından inceleyen sınırlı sayıdaki araştırmalardan biri olmasıdır. Bununla birlikte bazı sınırlılıklar da bulunmaktadır. Öncelikle örneklem büyüklüğü düşüktür. Ayrıca motosiklet ve bisiklet kullanıcılarının aynı grup içerisinde değerlendirilmesi, bu iki aktivitenin postüral kontrol üzerindeki olası farklı

etkilerinin ayrı ayrı incelenmesini engellemiştir. Bunun yanında yalnızca statik denge değerlendirilmiş, kuvvet platformu veya dinamik denge testleri kullanılmamıştır. Gelecekte yapılacak çalışmalarda motosiklet ve bisiklet kullanıcılarının ayrı gruplarda değerlendirilmesi, daha büyük örneklemlerle çalışılması ve statik testlere ek olarak dinamik denge değerlendirmelerinin kullanılması önerilmektedir (Paillard, 2017; Kiers ve ark., 2013).

Sonuç olarak, bu çalışmada düzenli olarak motosiklet veya bisiklet kullanan sporcular ile iki tekerlekli araç kullanmayan sporcular arasında statik denge performansı açısından anlamlı bir farklılık bulunmamıştır. Ayrıca takım ve bireysel sporcular arasında da benzer denge performansı gözlenmiştir. Bulgularımız, genç ve düzenli spor yapan bireylerde postüral kontrolün büyük ölçüde sportif antrenmanlarla şekillendiğini, iki tekerlekli araç kullanımının ise statik denge performansına ek bir avantaj sağlamadığını göstermektedir. Bununla birlikte araç kullanan grupta gözlenen daha yüksek ortalama değerler, daha büyük örneklem grupları ve göreve özgü denge testleriyle yapılacak araştırmalarda bu ilişkinin yeniden değerlendirilmesi gerektiğini düşündürmektedir.

KAYNAKLAR

Ageberg, E., Roberts, D., Holmström, E., & Fridén, T. (2003). Balance in single-limb stance in healthy subjects: Reliability of testing procedure and the effect of short-duration sub-maximal cycling. BMC Musculoskeletal Disorders, 4, 14. https://doi.org/10.1186/1471-2474-4-14

Hrysomallis, C. (2011). Balance ability and athletic performance. Sports Medicine, 41(3), 221–232. https://doi.org/10.2165/11538560-000000000-00000

Horak, F. B. (2006). Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls? Age and Ageing, 35(Suppl. 2), ii7–ii11. https://doi.org/10.1093/ageing/afl077

Kiers, H., van Dieën, J. H., Dekkers, H., Wittink, H., & Vanhees, L. (2013). A systematic review of the relationship between physical activities in sports or daily life and postural sway in upright stance. Sports Medicine, 43(11), 1171–1189. https://doi.org/10.1007/s40279-013-0082-5

Lion, A., Gauchard, G. C., Deviterne, D., & Perrin, P. P. (2009). Differentiated influence of off-road and on-road cycling practice on balance control and the related neurosensory organization. Journal of Electromyography and Kinesiology, 19(4), 623–630. https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2008.03.008

Paillard, T. (2017). Plasticity of the postural function to sport and/or motor experience. Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 72, 129–152. https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2016.11.015

Paillard, T. (2019). Relationship between sport expertise and postural skills. Frontiers in Psychology, 10, 1428. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2019.01428

Springer, B. A., Marin, R., Cyhan, T., Roberts, H., & Gill, N. W. (2007). Normative values for the unipedal stance test with eyes open and closed. Journal of Geriatric Physical Therapy, 30(1), 8–15. https://doi.org/10.1519/00139143-200704000-00003

TARIMSAL EKOSİSTEMLERDE ZARARLI YÖNETİMİNDE PREDATÖR ARTHROPODLARIN BİYOLOJİK MÜCADELE POTANSİYELİ

Prof. Dr. Mehmet KAPLAN
Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, 56100, Merkez, SİİRT
email: mehmetkaplan@siirt.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-2495-8075

ÖZET

Tarımsal üretimde verim ve ürün kalitesini sınırlandıran zararlı arthropodlar, ekonomik kayıplara neden olmalarının yanı sıra yoğun kimyasal pestisit kullanımını da beraberinde getirmektedir. Kimyasal mücadeleye aşırı ve bilinçsiz şekilde başvurulması; çevre kirliliği, yararlı organizmaların zarar görmesi, pestisit kalıntıları ve zararlı popülasyonlarında direnç gelişimi gibi önemli sorunlara yol açmaktadır. Bu nedenle, sürdürülebilir tarım ve entegre zararlı yönetimi kapsamında biyolojik mücadele yöntemleri giderek daha fazla önem kazanmaktadır. Predatör arthropodlar, zararlı organizmaları doğrudan avlayarak veya tüketerek popülasyon yoğunluklarının baskılanmasına katkı sağlayan önemli biyolojik mücadele etmenleridir. Özellikle Coccinellidae, Chrysopidae, Anthocoridae ve Syrphidae gibi böcek gruplarının yanı sıra bazı predatör akarlar, tarımsal ekosistemlerde önemli biyolojik kontrol potansiyeline sahiptir. Bu organizmalar; yaprak bitleri, beyazsinekler, tripsler, akarlar ve diğer küçük zararlı arthropodların kontrolünde etkili olabilmektedir. Predatörlerin biyolojik mücadeledeki başarısı; avın yoğunluğu, predatörün beslenme kapasitesi, gelişme süresi, çevresel koşullar, bitki özellikleri ve habitatın yapısı gibi biyotik ve abiyotik faktörlerden etkilenmektedir. Ayrıca predatör türlerin hedef zararlıya uyum yeteneği, yayılış kapasitesi ve tarımsal üretim sistemlerindeki kalıcılığı da biyolojik mücadele etkinliğini önemli ölçüde belirlemektedir**.** Doğal predatörlerin korunması, habitat koşullarının iyileştirilmesi ve uygun türlerin kitle üretimiyle hedef alanlara salınması, zararlı popülasyonlarının sürdürülebilir biçimde kontrol edilmesini sağlayabilir. Sonuç olarak predatör arthropodların biyolojik mücadele programlarına dahil edilmesi, kimyasal pestisit kullanımının azaltılması, agroekosistemlerde biyolojik çeşitliliğin korunması ve sürdürülebilir bitkisel üretimin desteklenmesi açısından önemli bir potansiyele sahiptir.

Anahtar Kelimeler: Predatör arthropodlar, biyolojik mücadele, tarımsal zararlılar, sürdürülebilir tarım

THE POTENTIAL OF PREDATORY ARTHROPODS FOR BIOLOGICAL CONTROL IN PEST MANAGEMENT OF AGRICULTURAL ECOSYSTEMS

ABSTRACT

Arthropod pests that limit yield and product quality in agricultural production cause substantial economic losses and often lead to the intensive use of chemical pesticides. Excessive and indiscriminate reliance on chemical control can result in significant problems, including environmental pollution, adverse effects on beneficial organisms, pesticide residues, and the development of resistance in pest populations. Therefore, biological control methods have gained increasing importance within the framework of sustainable agriculture and integrated pest management.

Predatory arthropods are important biological control agents that contribute to the suppression of pest population densities by directly attacking and consuming pest organisms. In particular, insect groups such as Coccinellidae, Chrysopidae, Anthocoridae, and Syrphidae, as well as certain predatory mites, possess considerable potential for biological control in agricultural ecosystems. These organisms can be effective in controlling aphids, whiteflies, thrips, mites, and other small arthropod pests.

The success of predators in biological control is influenced by various biotic and abiotic factors, including prey density, the feeding capacity of the predator, developmental duration, environmental conditions, plant characteristics, and habitat structure. In addition, the ability of predatory species to adapt to target pests, their dispersal capacity, and their persistence within agricultural production systems are also important determinants of biological control effectiveness. The conservation of natural predator populations, improvement of habitat conditions, and the mass production and release of suitable species into target areas can contribute to the sustainable regulation of pest populations.

Consequently, the incorporation of predatory arthropods into biological control programs has significant potential to reduce the use of chemical pesticides, conserve biodiversity within agroecosystems, and support sustainable crop production.

Keywords: Predatory arthropods, biological control, agricultural pests,, sustainable agriculture

1.GİRİŞ

Tarımsal üretimde verim ve ürün kalitesini sınırlandıran zararlı arthropodlar, dünya genelinde önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Zararlıların kontrolünde sentetik pestisitlerin yoğun ve uzun süreli kullanımı; pestisitlere dayanıklılığın gelişmesi, kalıntı oluşumu, çevre kirliliği ve hedef dışı organizmaların zarar görmesi gibi çeşitli sorunları beraberinde getirmiştir. Bu nedenle, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması ve agroekosistemlerde doğal denge

mekanizmalarının korunması amacıyla biyolojik mücadele, entegre zararlı yönetiminin önemli bileşenlerinden biri hâline gelmiştir (Bale ve ark., 2008). Biyolojik mücadelede predatör arthropodlar, zararlı organizmaları doğrudan avlayarak popülasyon yoğunluklarının ekonomik zarar eşiğinin altında tutulmasına katkı sağlayan önemli doğal düşmanlardır.

Predatör arthropodlar içerisinde özellikle Coccinellidae, Chrysopidae, Syrphidae, Anthocoridae ve Miridae familyalarına ait böcekler ile Phytoseiidae familyasına bağlı predatör akarlar, birçok tarımsal zararlıya karşı etkin biyolojik mücadele potansiyeline sahiptir. Yaprakbitleri, tripsler, beyazsinekler, akarlar ve çeşitli küçük arthropodlar bu predatörlerin başlıca avları arasında yer almaktadır. Genel predatörlerin farklı av türlerinden yararlanabilmesi, değişken tarımsal koşullarda önemli bir avantaj sağlarken; predatörler arasındaki rekabet, çevresel koşullar ve av yoğunluğu biyolojik mücadele başarısını etkileyebilmektedir (Symondson ve ark.., 2002). Nitekim geniş kapsamlı bir meta-analiz, doğal predatörlerin tarımsal alanlarda zararlı popülasyonlarını ortalama %73 oranında azaltabildiğini ve ürün veriminde ortalama %25 artış sağlayabildiğini göstermiştir (Boldorini ve ark., 2024).

Türkiye'de gerçekleştirilen çalışmalarda da predatör arthropodların tarımsal zararlıların doğal baskılanmasında önemli bir role sahip olduğunu göstermektedir. Özellikle Coccinellidae ve Chrysopidae familyalarına bağlı türler, yaprakbitleri, unlubitler, koşniller, beyazsinekler ve bazı akar türleri üzerinde etkili doğal düşmanlar olarak öne çıkmaktadır. Kılınçer ve ark. (2010), predatör böcekler ve predatör akarların biyolojik mücadelede önemli doğal düşman grupları olduğunu vurgulamıştır. Bu çalışmada Coccinella septempunctata, Adalia bipunctata, *Cryptolaemus montrouzieri*, *Rodolia cardinalis*, *Stethorus* spp. ve *Chrysoperla carnea* gibi önemli predatörlerin farklı zararlılarla ilişkili olduğu bildirilmiştir Türkiye'de yapılan güncel çalışmalar, özellikle Coccinellidae türlerinin yaprakbitleri üzerindeki predasyon potansiyelini ortaya koymaktadır. Örneğin Çanakkale ilinde yürütülen bir çalışmada, 27 yaprakbiti türüyle ilişkili sekiz predatör uğur böceği türü belirlenmiş ve *Coccinella septempunctata*'nın yaygın bir predatör olduğu bildirilmiştir (Doğan ve Kök, 2023). Ayrıca Diyarbakır ve Elazığ illerindeki meyve bahçelerinde Coccinellidae, Cybocephalidae, Forficulidae ve Chrysopidae familyalarına ait çeşitli predatör türlerin koşnillerle beslendiği belirlenmiştir (Gülmez ve ark., 2020). Bu bulgular, yerli predatör arthropodların korunması ve etkinliklerinin artırılmasının Türkiye'de sürdürülebilir bitki koruma açısından önemli olduğunu göstermektedir.

2-TARIMSAL ZARARLI YÖNETİMİNDE PREDATÖR ARTHROPODLAR

2.1. Predatör Arthropodların Biyolojik Mücadeledeki Yeri

Biyolojik mücadele, zararlı organizmaların popülasyonlarının doğal düşmanlar aracılığıyla ekonomik zarar düzeyinin altında tutulmasını amaçlayan, sürdürülebilir bitki koruma yaklaşımlarından biridir. Bu kapsamda predatör arthropodlar, zararlı organizmaları doğrudan tüketmeleri nedeniyle önemli biyolojik mücadele etmenleri arasında yer almaktadır. Predatörler yaşamları boyunca birden fazla av bireyini tüketebilmekte ve özellikle zararlı popülasyonlarının hızlı artış gösterdiği dönemlerde önemli bir baskılama mekanizması oluşturabilmektedir. Türkiye'de biyolojik mücadele konusunda yapılan kapsamlı değerlendirmelerde de predatör böcekler ve predatör akarlar, önemli doğal düşman grupları arasında değerlendirilmiştir (Kılınçer ark., 2010).

Predatör arthropodların biyolojik mücadeledeki önemi yalnızca tek bir zararlı türü üzerindeki etkileriyle sınırlı değildir. Birçok predatör türü, birden fazla zararlı türü ile beslenebilmekte ve bu özellikleri sayesinde agroekosistemlerde doğal popülasyon düzenleyicileri olarak görev yapmaktadır. Özellikle genelci predatörlerin farklı av kaynaklarından yararlanabilmesi, av yoğunluğunun düşük olduğu dönemlerde yaşamlarını sürdürebilmelerine olanak sağlamaktadır. Symondson ve ark. (2002), genel predatörler üzerine gerçekleştirilen tarla çalışmalarının yaklaşık %75'inde predatörlerin zararlı yoğunluklarını anlamlı biçimde azalttığını bildirmiştir. Bununla birlikte, predatör-av ilişkilerinin çevresel koşullara ve türler arasındaki etkileşimlere bağlı olarak değişebileceği vurgulanmıştır.

2.2. Tarımsal Alanlarda Önemli Predatör Arthropod Grupları

Tarımsal ekosistemlerde biyolojik mücadele açısından önem taşıyan çok sayıda predatör arthropod grubu bulunmaktadır. Bunlar arasında özellikle Coccinellidae, Chrysopidae, Anthocoridae, Miridae ve Syrphidae familyalarına ait türler ile Phytoseiidae familyasındaki predatör akarlar öne çıkmaktadır.

Coccinellidae familyası üyeleri, halk arasında uğur böcekleri olarak bilinen ve özellikle yaprakbitleri ile beslenen önemli predatörlerdir. *Coccinella septempunctata, Adalia bipunctata, Hippodamia* spp. ve *Scymnus* spp. gibi türler farklı tarımsal sistemlerde yaprakbitlerinin baskılanmasına katkı sağlamaktadır. Türkiye'de Çanakkale ilinde gerçekleştirilen bir çalışmada, 27 yaprakbiti türüyle ilişkili sekiz predatör Coccinellidae türü belirlenmiş; *C. septempunctata*'nın 12 farklı yaprakbiti türüyle ilişkili olduğu ortaya konulmuştur (Doğan ve Kök, 2023).

Chrysopidae familyasına ait türler de biyolojik mücadelede önemli bir yere sahiptir. Özellikle Chrysoperla carnea grubu içerisinde yer alan türlerin larvaları yaprakbitleri, beyazsinekler, tripsler, yumurtalar ve küçük larvalar ile beslenebilmektedir. Bu nedenle altın gözlü böcekler olarak bilinen Chrysopidae üyeleri, hem doğal düşman olarak hem de kitle üretim ve salım çalışmalarında değerlendirilebilecek önemli predatörler arasında bulunmaktadır.

Anthocoridae ve Miridae familyalarına bağlı bazı türler de özellikle tripsler, akarlar, yaprakbitleri ve diğer küçük arthropodların kontrolünde önem taşımaktadır. Bu türlerin bir bölümü genel beslenme özelliğine sahip olduğundan farklı zararlı gruplarının baskılanmasına katkıda bulunabilmektedir.

Predatör akarlar içerisinde ise Phytoseiidae familyası ayrı bir önem taşımaktadır. Bu grupta bulunan Neoseiulus, Phytoseiulus ve Amblyseius gibi cinslere ait türler özellikle fitofag akarların kontrolünde kullanılmaktadır. Türkiye'de Phytoseiidae üzerine yapılan faunistik çalışmalar, ülkede biyolojik mücadele açısından değerlendirilebilecek zengin bir predatör akar faunasının bulunduğunu göstermektedir. Örneğin *Neoseiulus cinctutus* türü Türkiye faunası için ilk kez Denizli'den bildirilmiş ve Türkiye'deki Neoseiulus türlerinin tanılanmasına yönelik bir anahtar oluşturulmuştur (Döker, 2019).

2.3. Predatör Arthropodlar ve Hedef Zararlılar Arasındaki İlişkiler

Predatör arthropodların biyolojik mücadeledeki etkinliği büyük ölçüde av-predatör ilişkilerinin özelliklerine bağlıdır. Predatörün avı bulma yeteneği, avı yakalama ve tüketme kapasitesi, beslenme tercihleri, gelişme süresi ve çevresel koşullara toleransı biyolojik kontrol başarısını belirleyen başlıca faktörlerdir.

Yaprakbitleri, predatör arthropodlar tarafından en sık hedef alınan zararlı gruplarından biridir. Coccinellidae, Chrysopidae ve Syrphidae gibi grupların farklı türleri yaprakbitleri üzerinde yoğun predasyon gerçekleştirebilmektedir. Yaprakbitlerinin kısa sürede yüksek popülasyon yoğunluklarına ulaşabilmesi nedeniyle doğal düşmanların erken dönemde devreye girmesi önem taşımaktadır. Çanakkale'de gerçekleştirilen araştırmada predatör Coccinellidae türlerinin çok sayıda yaprakbiti türüyle ilişkili olduğunun belirlemiştir. (Doğan ve Kök, 2023).

Koşniller ve diğer kabuklu bitler de predatör arthropodların önemli hedefleri arasında yer almaktadır. Diyarbakır ve Elazığ illerindeki meyve bahçelerinde yürütülen çalışmada koşnillerle beslenen 8 predatör türü belirlenmiştir. Bu türler Coccinellidae, Cybocephalidae, Forficulidae ve Chrysopidae familyalarına bağlıdır. Çalışmada belirlenen predatör çeşitliliği, meyve bahçelerinde zararlıların doğal yollarla baskılanmasında yerli doğal düşmanların önemli bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir (Gülmez ve ark., 2023).

Akarlar açısından değerlendirildiğinde ise Phytoseiidae familyasına bağlı predatörler öne çıkmaktadır. Özellikle Tetranychidae familyasına bağlı kırmızıörümceklerin kontrolünde Phytoseiidae türleri önemli biyolojik mücadele etmenleri olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle Türkiye'deki predatör akar çeşitliliğinin ortaya çıkarılması ve ekonomik açıdan önemli zararlı türlerle olan ilişkilerinin belirlenmesi, biyolojik mücadele programlarının geliştirilmesi açısından önem taşımaktadır.

2.4. Predatör Arthropodların Biyolojik Mücadeledeki Önemi

Predatörler beslenme davranışlarına göre Polyfag (Genel) ve monofag/olygofag predatörler şeklinde değerlendirilebilmektedir. Monofog predatörler belirli bir veya olygofag predatörler birkaç yakın akraba av grubuna daha fazla bağımlılık gösterirken, polyfag predatörler çok sayıda av türünden yararlanabilmektedir. Her iki stratejinin de biyolojik mücadelede avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Genel predatörlerin en önemli avantajlarından biri, hedef zararlı popülasyonunun düşük olduğu dönemlerde alternatif avlardan yararlanabilmeleridir. Bu özellik, predatörlerin tarımsal alanda uzun süre bulunmasını ve zararlı popülasyonları yükseldiğinde hızlı bir şekilde tepki vermesini sağlayabilir. Ancak genel predatörlerin hedef olmayan organizmalarla da beslenebilmesi, diğer doğal düşmanlarla rekabet ve predatörler arası etkileşim gibi faktörler biyolojik kontrolün sonucunu değiştirebilir.

Symondson ve ark. (2002), genel predatörlerin biyolojik mücadelede etkisiz olduğu yönündeki yaklaşımın her koşulda geçerli olmadığını belirtmiş ve tarla çalışmalarının önemli bir bölümünde genel predatörlerin zararlı popülasyonlarını azaltabildiğini göstermiştir. Araştırmacılara göre genel ve türlere özgü monfag/olygofag predatörlerin etkinliği, çevresel koşullar ve mevcut av topluluğuna bağlı olarak değişebilmekte ve bazı durumlarda birbirlerini tamamlayabilmektedir.

2.5. Türkiye'de Predatör Arthropodlar Üzerine Yapılan Çalışmalar

Türkiye, farklı iklim ve coğrafi özellikleri nedeniyle oldukça zengin bir arthropod faunasına sahiptir. Bu durum, tarımsal alanlarda doğal düşman çeşitliliğinin yüksek olmasına da olanak sağlamaktadır. Türkiye'de predatör arthropodlar üzerine yapılan araştırmalar; türlerin belirlenmesi, konukçu veya av ilişkilerinin ortaya çıkarılması, biyolojik özelliklerinin araştırılması ve biyolojik mücadelede kullanım potansiyellerinin değerlendirilmesi gibi farklı konular üzerinde yoğunlaşmaktadır.

Kılınçer ve ark. (2010) tarafından gerçekleştirilen kapsamlı çalışmada, Türkiye'de biyolojik mücadelede kullanılan veya potansiyel olarak kullanılabilecek parazitoit, predatör böcek,

predatör akar ve entomopatojen grupları değerlendirilmiştir. Çalışma, biyolojik mücadelenin Türkiye'deki gelişimini ve doğal düşmanların zararlı yönetimindeki önemini ortaya koyması bakımından temel kaynaklardan biri niteliğindedir.

Son yıllarda gerçekleştirilen bölgesel çalışmalar da Türkiye'deki predatör çeşitliliğine ilişkin önemli veriler sağlamıştır. Çanakkale'de yapılan araştırmada sekiz predatör Coccinellidae türünün 27 yaprakbiti türüyle ilişkili olduğu belirlenmiştir. Bu bulgu, tarımsal alanlarda doğal olarak bulunan predatörlerin önemli bir biyolojik mücadele hizmeti sunduğunu göstermektedir. Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde gerçekleştirilen çalışmalar da dikkat çekicidir. Diyarbakır ve Elazığ'daki meyve bahçelerinde koşnillerle beslenen sekiz predatör türünün belirlenmiş olması, bölgedeki meyve üretim sistemlerinde doğal düşmanların önemli bir kaynak oluşturduğunu göstermektedir. Çalışmada Coccinellidae'nin yanı sıra Cybocephalidae, Forficulidae ve Chrysopidae familyalarına ait predatörler tespit edilmiştir.(Gülmez ve ark., 2023).

Türkiye'deki predatör akar faunası üzerine çalışmalar da biyolojik mücadele açısından önemlidir. *Neoseiulus cinctutus*'un Türkiye için yeni kayıt olarak bildirilmesi ve Türkiye'deki Neoseiulus türleri için tanı anahtarının hazırlanması, predatör akar çeşitliliğinin hâlen araştırılmaya devam ettiğini göstermektedir (Döker, 2019).

2.6. Uluslararası Literatürde Predatör Arthropodların Etkinliği

Predatörlerin biyolojik mücadeledeki rolü dünya genelinde çok sayıda araştırmaya konu olmuştur. Uluslararası literatürde özellikle doğal predatörlerin korunması, predatör çeşitliliğinin artırılması, habitat yönetimi ve kitle üretimiyle gerçekleştirilen salımlar üzerinde durulmaktadır.

Boldorini ve ark. (2024) tarafından gerçekleştirilen kapsamlı meta-analizde, farklı ürün ve iklim koşullarında yaşayan doğal predatörlerin zararlı popülasyonları ve ürün verimi üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çalışmada 86 araştırmadan elde edilen veriler değerlendirilmiş ve predatörlerin zararlı popülasyonlarını ortalama %73 oranında azalttığı, ürün verimini ise ortalama %25 oranında artırdığı bildirilmiştir. Ayrıca doğal olarak bulunan predatörlerle koruma biyolojik mücadelesi kapsamında desteklenen predatörlerin zararlı baskılanması açısından benzer etkilere sahip olabildiği ortaya konulmuştur.

Bu sonuçlar, predatörlerin yalnızca laboratuvar koşullarında etkili olan organizmalar olmadığını, uygun koşullarda tarla ekosistemlerinde de önemli bir biyolojik mücadele hizmeti sağlayabildiğini göstermektedir. Bununla birlikte, predatör etkinliğinin iklim, yağış rejimi, bitki türü ve tarımsal uygulamalar gibi faktörlerden etkilendiği belirtilmektedir. Bu nedenle

biyolojik mücadele programlarının bölgesel ve ekolojik koşullar dikkate alınarak planlanması gerekmektedir.

2.7. Predatörlerin Korunması ve Habitat Yönetimi

Predatör arthropodların tarımsal alanlarda etkinliğinin artırılmasında yalnızca predatör salımı değil, mevcut doğal düşmanların korunması da büyük önem taşımaktadır. Bu yaklaşım "koruma biyolojik mücadelesi" olarak adlandırılmakta ve doğal düşmanların yaşamlarını sürdürebilmeleri için gerekli besin, barınak ve alternatif av kaynaklarının agroekosistemde bulunmasını amaçlamaktadır.

Tarım alanlarının aşırı derecede sadeleştirilmesi, doğal ve yarı doğal habitatların ortadan kaldırılması ve yoğun pestisit kullanımı predatör popülasyonlarının azalmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle tarla kenarlarında doğal bitki örtüsünün korunması, çiçekli bitkilerin bulundurulması, farklı bitki türlerinin bir arada yetiştirilmesi ve yarı doğal habitatların muhafaza edilmesi predatörlerin desteklenmesine katkı sağlayabilir. Rusch ve ark. (2017), tarla içi çeşitliliğin artırılması, yarı doğal habitatların korunması, toprak işleme ve bazı yoğun tarımsal uygulamaların azaltılması gibi uygulamaların doğal düşman topluluklarını destekleyebildiğini ve biyolojik mücadele hizmetlerini güçlendirebildiğini bildirmiştir. Benzer şekilde, tarımsal alanlarda ürün çeşitliliğinin artırılmasının doğal düşmanların popülasyonlarını destekleyebildiği ve zararlı yoğunluklarını azaltabildiği belirtilmektedir. Jawoorski ve ark. (2023), ürün çeşitlendirmesinin doğal düşmanların korunması ve biyolojik zararlı yönetiminin geliştirilmesi açısından önemli bir araç olduğunu ortaya koymuştur.

2.8. Kimyasal Mücadele ile Predatörlerin Etkileşimi

Predatör arthropodların korunmasındaki en önemli sorunlardan biri geniş spektrumlu pestisitlerin yoğun kullanımıdır. Pestisitler yalnızca hedef zararlıları değil, aynı zamanda zararlıları doğal olarak baskılayan predatörleri de öldürebilmektedir. Bu durum, doğal düşmanların azalmasına ve bazı durumlarda zararlı popülasyonlarının yeniden hızla yükselmesine neden olabilmektedir. Bu nedenle entegre zararlı yönetiminde predatörlerin korunmasına yönelik seçici pestisitlerin tercih edilmesi, uygulama zamanının dikkatli belirlenmesi ve ekonomik zarar eşiği dikkate alınmadan gereksiz kimyasal uygulamalardan kaçınılması gerekmektedir. Özellikle predatör popülasyonlarının aktif olduğu dönemlerde gerçekleştirilen geniş spektrumlu ilaçlamalar biyolojik mücadele hizmetinin önemli ölçüde azalmasına neden olabilir.

Bu yaklaşım, kimyasal mücadele ile biyolojik mücadelenin birbirinin alternatifi olarak görülmesi yerine, birbirini destekleyen araçlar olarak değerlendirilmesini gerektirmektedir.

Entegre mücadele programlarında kimyasal uygulamalar zorunlu olduğunda doğal düşmanlara daha az zarar veren aktif maddelerin ve uygun uygulama yöntemlerinin tercih edilmesi, predatörlerin agroekosistemdeki varlığının sürdürülmesine katkı sağlayacaktır.

2.9. Predatörlerin Kitle Üretimi ve Salım Yoluyla Kullanılması

Predatör arthropodların biyolojik mücadelede kullanımında bir diğer yöntem, ekonomik açıdan önemli zararlıların bulunduğu alanlara kitle halinde üretilmiş doğal düşmanların salınmasıdır. Bu yaklaşım özellikle sera ve örtüaltı yetiştiricilik sistemlerinde uygulanabilmektedir. Kontrollü çevre koşulları, predatörlerin gelişimi ve avlarıyla karşılaşma olasılığı açısından uygun ortam sağlayabildiğinden, bazı predatör türlerinin bu sistemlerde kullanımı daha başarılı olabilmektedir.

Kitle üretim çalışmalarında predatörün kolay yetiştirilebilmesi, yüksek av tüketim kapasitesine sahip olması, hedef zararlı üzerinde etkili olması ve çevre koşullarına tolerans gösterebilmesi gibi özellikler dikkate alınmalıdır. Ayrıca üretim maliyetlerinin düşük olması ve salım sonrasında tarımsal alanda yeterli süre yaşamını sürdürebilmesi ekonomik başarı açısından önemlidir. Bununla birlikte, laboratuvar koşullarında yüksek predasyon kapasitesi gösteren bir türün tarla koşullarında aynı başarıyı göstermesi her zaman beklenmemelidir. Tarla ortamındaki sıcaklık, nem, bitki mimarisi, alternatif avların bulunması ve diğer doğal düşmanlarla etkileşim gibi faktörler salım başarısını doğrudan etkileyebilir.

2.10. Predatör Çeşitliliğinin Biyolojik Mücadele Açısından Önemi

Agroekosistemlerde birden fazla predatör türünün bulunması, biyolojik mücadele hizmetinin sürekliliği açısından önemli avantajlar sağlayabilir. Farklı predatör türleri farklı avları tercih edebilir, farklı bitki katmanlarında bulunabilir veya farklı dönemlerde aktif olabilir. Bu durum, predatör topluluğunun zararlılar üzerindeki toplam baskısını artırabilir.

Ancak predatör çeşitliliğinin artmasının her durumda daha yüksek zararlı baskılanması sağlayacağı varsayılmamalıdır. Predatörler arasında rekabet, birbirlerini avlama davranışı ve av paylaşımı gibi etkileşimler bulunabilmektedir. Symondson ve ark. (2002), çok türlü sistemlerde predatörler arasındaki olumlu ve olumsuz etkileşimlerin biyolojik kontrol sonucunu değiştirebileceğini vurgulamıştır. Bu nedenle biyolojik mücadele programlarında yalnızca tür sayısının artırılması değil, türlerin ekolojik özelliklerinin ve birbirleriyle olan ilişkilerinin de değerlendirilmesi gerekmektedir.

2.11. İklim Değişikliği ve Predatör–Av İlişkileri

İklim değişikliği, predatör arthropodların biyolojik mücadeledeki etkinliğini etkileyebilecek önemli faktörlerden biridir. Sıcaklık, yağış, nem ve mevsimsel değişimler hem zararlıların hem

de doğal düşmanların gelişme hızlarını ve popülasyon dinamiklerini değiştirebilmektedir. Bu nedenle gelecekte biyolojik mücadele programlarının yalnızca mevcut iklim koşullarına göre değil, iklim değişikliğinin olası etkileri de dikkate alınarak planlanması gerekmektedir.

Boldorini ve ark. (2024), farklı iklim koşullarındaki tarla çalışmalarını karşılaştırarak predatörlerin zararlı baskılama etkisinin iklimsel değişkenlerden etkilendiğini göstermiştir. Özellikle yağışın mevsimselliğinin predatörlerin biyolojik mücadele etkisi üzerinde önemli bir rol oynadığı bildirilmiştir. Bu durum, predatör türlerinin seçimi ve salım zamanının belirlenmesinde bölgesel iklim verilerinin dikkate alınmasının önemini ortaya koymaktadır.

2.12. Predatör Arthropodların Biyolojik Mücadeledeki Sınırlılıkları

Predatör arthropodların önemli avantajları bulunmasına rağmen, biyolojik mücadelede kullanılmaları bazı sınırlılıkları da beraberinde getirmektedir. Öncelikle predatörlerin etkinliği her tarımsal sistemde aynı düzeyde olmayabilir. Av yoğunluğunun düşük olması, uygun mikrohabitatların bulunmaması, yüksek sıcaklık veya düşük nem gibi çevresel koşullar predatörlerin etkinliğini azaltabilir.

Ayrıca bazı predatörler hedef zararlıların yanı sıra hedef dışı organizmalarla da beslenebilir. Genel predatörlerde bu durum özellikle önemlidir. Predatörler arasındaki rekabet ve birbirlerini avlama davranışları da biyolojik mücadele başarısını sınırlayabilir. Bu nedenle herhangi bir predatör türünün biyolojik mücadele amacıyla kullanılmasından önce hedef zararlı ile ilişkisi, avlanma kapasitesi, çevresel toleransı, hedef dışı organizmalar üzerindeki etkileri ve tarımsal ekosistemdeki davranışları ayrıntılı olarak araştırılmalıdır.

Türkiye'nin farklı iklim bölgelerinde çok sayıda doğal düşman türünün bulunmasına rağmen, bu türlerin tamamının biyolojik mücadele potansiyeli yeterince ortaya konulmuş değildir. Bu nedenle faunistik çalışmaların yanı sıra laboratuvar ve tarla koşullarında predasyon kapasitesi, gelişme biyolojisi, kitle üretim olanakları ve salım stratejileri üzerine çalışmaların artırılması gerekmektedir.

2.13. Sürdürülebilir Tarım Açısından Predatör Arthropodların Geleceği

Günümüzde tarımsal üretimde çevresel etkilerin azaltılması ve pestisit kullanımının daha kontrollü hâle getirilmesi, biyolojik mücadele çalışmalarının önemini artırmaktadır. Predatör arthropodlar, doğal ekosistem işlevlerinin tarımsal üretim sistemlerinde kullanılmasına olanak sağlayan önemli biyolojik kaynaklardır. Bu nedenle, çevresel sürdürülebilirliğin sağlanması ve agroekosistemlerde doğal denge mekanizmalarının korunması amacıyla biyolojik mücadele, entegre zararlı yönetiminin önemli bileşenlerinden biri hâline gelmiştir (Bale ve ark., 2008).

Gelecekte predatörlerin kullanımında yalnızca tek bir türün salımına dayalı uygulamalar yerine, doğal düşmanların korunması, habitat çeşitliliğinin artırılması, seçici pestisit kullanımı, uygun kültürel uygulamalar ve gerektiğinde biyolojik mücadele etmenlerinin salımı gibi yöntemlerin birlikte kullanıldığı entegre yaklaşımların geliştirilmesi önem taşımaktadır. Ürün çeşitlendirmesi ve habitat yönetimi gibi uygulamaların doğal düşmanları destekleyerek zararlıların baskılanmasına katkı sağlayabileceğine ilişkin uluslararası literatür giderek genişlemektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, Türkiye'de bulunan predatör arthropodların belirlenmesi ve biyolojik mücadele açısından değerlendirilmesi, sürdürülebilir bitki koruma stratejilerinin geliştirilmesi bakımından önemli bir araştırma alanıdır. Özellikle Coccinellidae, Chrysopidae, Anthocoridae ve Phytoseiidae gibi grupların ekonomik açıdan önemli zararlılarla ilişkilerinin ayrıntılı biçimde ortaya konulması, yerli biyolojik mücadele programlarının geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Uluslararası çalışmalar ise predatörlerin yalnızca zararlı popülasyonlarını azaltmakla kalmayıp uygun koşullarda ürün verimine de olumlu katkı sağlayabileceğini göstermektedir. Nitekim güncel meta-analizlerde predatörlerin tarımsal üretim sistemlerinde önemli bir ekosistem hizmeti sağladığı ortaya konulmuştur.

4. SONUÇ

Predatör arthropodlar, tarımsal zararlıların doğal yollarla baskılanmasında önemli bir biyolojik mücadele kaynağıdır. Türkiye'de gerçekleştirilen çalışmalar, özellikle Coccinellidae ve Chrysopidae başta olmak üzere farklı predatör gruplarının çeşitli tarımsal zararlılarla güçlü ilişkiler içerisinde olduğunu ortaya koymaktadır. Uluslararası literatür de predatörlerin zararlı popülasyonlarının azaltılması ve buna bağlı olarak bitkisel üretimin desteklenmesinde önemli ekosistem hizmetleri sağladığını göstermektedir.

Bununla birlikte, predatörlerin biyolojik mücadeledeki etkinliği çevresel koşullara, av-predatör ilişkilerine ve tarımsal uygulamalara bağlı olarak değişebilmektedir. Bu nedenle yalnızca belirli bir predatör türünün salınmasına dayalı yaklaşımlar yerine, doğal düşmanların korunmasını ve agroekosistemdeki çeşitliliğin artırılmasını esas alan koruyucu biyolojik mücadele uygulamalarına önem verilmelidir. Geniş spektrumlu insektisitlerin gereksiz kullanımının azaltılması, çiçekli bitkiler ve alternatif besin kaynaklarının korunması, uygun habitatların oluşturulması ve seçici pestisitlerin tercih edilmesi predatör popülasyonlarının sürdürülebilirliği açısından önem taşımaktadır.

Sonuç olarak predatör arthropodların biyolojik mücadele programlarına etkin biçimde dâhil edilmesi, kimyasal pestisit kullanımının azaltılmasına, doğal denge mekanizmalarının

korunmasına ve sürdürülebilir tarımsal üretimin geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Gelecekte yapılacak çalışmaların, yerel predatör türlerinin biyolojik özellikleri, kitle üretim olanakları, salım stratejileri ve farklı tarımsal ekosistemlerdeki etkinlikleri üzerine yoğunlaştırılması, Türkiye'de predatör temelli biyolojik mücadele uygulamalarının yaygınlaştırılması açısından yararlı olacaktır.

KAYNAKÇA

Bale, J. S., van Lenteren, J. C., & Bigler, F. (2008). Biological control and sustainable food production. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, 363(1492), 761–776.

Boldorini, G. X., McCary, M. A., Romero, G. Q., Mills, K. L., Sanders, N. J., Reich, P. B., Michalko, R., & Gonçalves-Souza, T. (2024). Predators control pests and increase yield across crop types and climates: A meta-analysis. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 291(2018), 20232522. https://doi.org/10.1098/rspb.2023.2522

Jaworski, C. C., Thomine, E., Rusch, A., Lavoir, A.-V., Wang, S., & Desneux, N. (2023). Crop diversification to promote arthropod pest management: A review. Agriculture Communications, 1(1), https://doi.org/10.1016/j.agrcom.2023.100004

Doğan, B. & Kök, Ş. (2023). Predatory coccinellids (Coleoptera: Coccinellidae) feeding on aphids (Hemiptera: Aphididae) on host plants in parks, rural landscapes and urban areas of Çanakkale Province, Türkiye. Turkish Journal of Biological Control, 14(1), 64–74.

Döker, İ. (2019). First report of *Neoseiulus cinctutus* (Livshitz & Kuznetsov) for Turkey, with an identification key for Turkish *Neoseiulus* Hughes (Acari: Phytoseiidae). Turkish Journal of Biological Control, 10(1), 73–81.

Gülmez, M., Gençer, L., & Ulusoy, M. R. (2023). Parasitoid and predator species of Coccidae (Hemiptera: Coccoidea) species in fruit orchards of Diyarbakır and Elazığ Provinces, Türkiye. Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi, 14(1), 30–42. https://doi.org/10.31019/tbmd.1197851

Kılınçer, N., Yiğit, A., Kazak, C., Er, M. K., Kurtuluş, A. & Uygun, N. (2010). Teoriden pratiğe zararlılarla biyolojik mücadele. Türkiye Biyolojik Mücadele Dergisi, 1(1), 15–60.

Landis, D. A., Wratten, S. D., & Gurr, G. M. (2000). Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. Annual Review of Entomology, 45(1), 175–201. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.45.1.175

Rusch, A., Bommarco, R. & Ekbom, B. (2017). Conservation biological control in agricultural landscapes. Advances in Botanical Research, 81, 333–360.

Symondson, W. O. C., Sunderland, K. D. & Greenstone, M. H. (2002). Can generalist predators be effective biocontrol agents? Annual Review of Entomology, 47, 561–594.

ENDÜSTRİYEL KİRLİLİĞİN ARTHROPODA ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Prof. Dr. Mehmet KAPLAN
Siirt Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Bitki Koruma Bölümü, 56100, Merkez, SİİRT
email: mehmetkaplan@siirt.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-2495-8075

ÖZET

Endüstriyel faaliyetler sonucunda atmosfere, suya ve toprağa salınan ağır metaller, pestisitler, hidrokarbonlar, partikül maddeler ve diğer kimyasal kirleticiler, ekosistemlerde önemli çevresel sorunlara neden olmaktadır. Bu kirleticiler, çevresel koşullardaki değişimlere hızlı tepki vermeleri nedeniyle Arthropoda şubesi içerisinde yer alan birçok canlı grubunu doğrudan veya dolaylı olarak etkileyebilmektedir. Özellikle böcekler, akarlar, örümcekler ve diğer eklembacaklılar, endüstriyel kirliliğin ekosistem üzerindeki etkilerinin belirlenmesinde önemli biyolojik göstergeler olarak değerlendirilmektedir.

Endüstriyel kirleticilere maruz kalma; arthropodlarda büyüme, gelişme, üreme, beslenme ve davranış gibi temel biyolojik süreçlerde değişikliklere yol açabilmektedir. Ağır metallerin ve diğer toksik maddelerin vücutta birikmesi, özellikle larva ve nimf dönemlerinde gelişim bozukluklarına, yaşam süresinin kısalmasına ve üreme başarısının azalmasına neden olabilmektedir. Bunun yanında kirlilik, arthropodların bağışıklık sistemini ve stres toleransını etkileyerek hastalık ve parazitlere karşı duyarlılıklarını artırabilmektedir. Kirleticilerin besin zinciri yoluyla taşınması ise özellikle predatör ve parazitoid arthropodların maruziyetini artırarak trofik ilişkilerde bozulmalara neden olabilir.

Endüstriyel kirliliğin etkileri yalnızca bireysel düzeyde kalmayıp popülasyon yoğunluğu, tür çeşitliliği, topluluk yapısı ve ekosistem hizmetleri üzerinde de değişiklikler oluşturabilmektedir. Bu nedenle arthropodların kirlilik seviyelerinin izlenmesinde biyolojik indikatör olarak kullanılması, çevresel risklerin değerlendirilmesi açısından önemli bir yaklaşım sunmaktadır. Endüstriyel kirliliğin arthropodlar üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, sürdürülebilir çevre yönetimi ve ekosistemlerin korunmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır. Ayrıca bu canlıların çevresel değişimlere verdikleri tepkilerin izlenmesi, kirliliğin ekolojik etkilerinin erken dönemde belirlenmesine olanak sağlayabilecektir.

Anahtar kelimeler: Endüstriyel kirlilik; Arthropoda; ağır metaller; biyolojik indikatör;

EFFECTS OF INDUSTRIAL POLLUTION ON ARTHROPODA

ABSTRACT

Industrial activities release heavy metals, pesticides, hydrocarbons, particulate matter, and other chemical pollutants into the atmosphere, water, and soil, causing significant environmental problems in ecosystems. Due to their rapid responses to changes in environmental conditions, many organisms within the phylum Arthropoda can be directly or indirectly affected by industrial pollution. In particular, insects, mites, spiders, and other arthropods are considered important biological indicators for assessing the impacts of industrial pollution on ecosystems.

Exposure to industrial pollutants can alter fundamental biological processes in arthropods, including growth, development, reproduction, feeding, and behavior. The accumulation of heavy metals and other toxic substances in the body may cause developmental abnormalities, shortened lifespan, and reduced reproductive success, particularly during larval and nymphal stages. In addition, pollution may affect the immune system and stress tolerance of arthropods, thereby increasing their susceptibility to diseases and parasites. The transfer of pollutants through food webs may further increase the exposure of predatory and parasitoid arthropods, potentially disrupting trophic interactions within ecosystems.

The effects of industrial pollution are not limited to the individual level but may also alter population density, species diversity, community structure, and ecosystem services. Therefore, the use of arthropods as biological indicators for monitoring pollution levels represents an important approach for assessing environmental risks. Determining the effects of industrial pollution on arthropods can contribute to the development of strategies for sustainable environmental management and ecosystem conservation. Furthermore, monitoring the responses of these organisms to environmental changes may enable the early detection of the ecological effects of pollution.

Keywords: Industrial pollution, Arthropoda, heavy metals, biological indicators,

1. GİRİŞ

Endüstriyel faaliyetlerin hızla gelişmesi, ekonomik ve teknolojik açıdan önemli kazanımlar sağlamakla birlikte, doğal ekosistemler üzerinde giderek artan çevresel baskılara neden olmaktadır. Sanayi tesisleri, madencilik faaliyetleri, metal işleme ve enerji üretimi gibi antropojenik faaliyetler sonucunda ağır metaller, partikül maddeler, hidrokarbonlar ve çeşitli organik ve inorganik kirleticiler atmosfere, su kaynaklarına ve toprağa ulaşabilmektedir. Özellikle kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), cıva (Hg), krom (Cr), nikel (Ni), bakır (Cu) ve çinko

(Zn) gibi metallerin çevrede kalıcı özellik göstermesi ve biyolojik sistemlerde birikebilmesi, endüstriyel kirliliğin ekolojik açıdan önemli bir sorun haline gelmesine neden olmaktadır (Iqbal ve ark., 2025). Bu kirleticiler yalnızca bitkiler ve omurgalılar üzerinde değil, ekosistemlerin işleyişinde önemli roller üstlenen Arthropoda üyeleri üzerinde de çeşitli fizyolojik, davranışsal ve ekolojik etkilere yol açmaktadır.

Arthropoda şubesi; Insecta, Arachnida, Diplopoda ve diğer birçok grubu kapsayan, tür ve birey sayısı bakımından son derece zengin bir hayvan grubudur. Arthropodlar; tozlaşma, ayrışma, organik maddenin parçalanması, toprak oluşumu, besin döngüsü ve biyolojik mücadele gibi çok sayıda ekosistem hizmetinin sürdürülmesinde önemli görevler üstlenmektedir. Bununla birlikte, çevresel değişimlere karşı gösterdikleri duyarlılık nedeniyle birçok arthropod türü çevresel kirliliğin belirlenmesinde biyolojik indikatör olarak kullanılabilmektedir. Özellikle kısa yaşam döngüleri, yüksek bollukları, farklı trofik seviyelerde bulunmaları ve kirleticileri dokularında biriktirebilmeleri, bu organizmaları çevresel izleme çalışmalarında değerli hale getirmektedir (Gerlach ve ark., 2013; Iqbal ve ark., 2025).

Endüstriyel kaynaklı ağır metallerin arthropodlar üzerindeki etkileri, kirleticinin türüne, konsantrasyonuna, maruz kalma süresine ve organizmanın biyolojik özelliklerine bağlı olarak değişebilmektedir. Ağır metaller, arthropodlarda oksidatif stres, metabolik bozukluklar, büyüme ve gelişmede gerileme, üreme başarısında azalma ve davranış değişiklikleri gibi olumsuz sonuçlara neden olabilmektedir. Bunun yanında bazı metallerin organizmalar tarafından belirli düzeylerde tolere edilebilmesine rağmen, yüksek konsantrasyonlarda toksik etki göstermesi mümkündür. Son yıllarda yapılan çalışmalar, metal stresinin böceklerde yalnızca bireysel fizyolojik özellikleri değil, aynı zamanda popülasyon dinamiklerini ve türler arasındaki ekolojik ilişkileri de etkileyebildiğini göstermektedir (Liaqat ve ark., 2023; Iqbal ve ark., 2025). Özellikle ağır metallerin besin zinciri boyunca taşınması, farklı trofik seviyelerde bulunan arthropodların kirleticilere maruz kalmasına neden olarak ekosistem içerisindeki etkileşimleri değiştirebilmektedir.

Endüstriyel kirliliğin etkileri özellikle toprak ve su ekosistemlerinde yaşayan arthropod topluluklarında belirgin şekilde gözlenebilmektedir. Collembola ve Oribatida gibi toprak mikroarthropodlarının bolluk, çeşitlilik ve topluluk yapılarındaki değişimler, topraktaki metal kirliliğinin değerlendirilmesinde kullanılabilmektedir. Nitekim Akdeniz bölgesindeki eski bir maden alanında gerçekleştirilen yakın tarihli bir çalışmada, yüksek iz metal konsantrasyonlarının Collembola gruplarında farklı yoğunluk yanıtlarına ve akarlarında taksonomik çeşitlilikte azalmalara neden olduğu bildirilmiştir (Pedobiologia, 2026). Sucul

böcekler içerisinde yer alan Ephemeroptera ve Odonata üyeleri, çevresel değişimlere duyarlılıkları ve kirleticileri biriktirebilmeleri nedeniyle su kalitesinin ve özellikle ağır metal kirliliğinin değerlendirilmesinde önemli biyolojik göstergeler olarak kullanılabilmektedir (Benhadji ve ark., 2024; Nasirian & Irvine, 2017; Manjula ve ark., 2024)

Arthropodların endüstriyel kirliliğe verdikleri tepkiler yalnızca kirliliğin olumsuz etkilerinin belirlenmesi açısından değil, aynı zamanda çevresel izleme çalışmalarında kullanılabilecek biyolojik göstergelerin ortaya konulması bakımından da önem taşımaktadır. Örneğin çelik fabrikası çevresinde gerçekleştirilen bir çalışmada, Gerridae, Odonata, Myrmeleontidae ve Formicidae gruplarının çeşitli ağır metalleri farklı düzeylerde biriktirdiği ve bu grupların endüstriyel kirliliğin belirlenmesinde kullanılabileceği ortaya konulmuştur (Migliorini ve ark., 2007). Güncel araştırmalar ise bal arıları, Carabid böcekleri ve sucul böceklerin Pb, Cd ve Hg gibi metallerin çevresel dağılımının izlenmesinde etkili biyolojik indikatörler olabileceğini göstermektedir (Iqbal ve ark., 2025).

Sonuç olarak, endüstriyel kirlilik Arthropoda üyelerinde bireysel fizyolojik süreçlerden popülasyon ve topluluk düzeyindeki değişimlere kadar geniş bir etki alanına sahiptir. Bu nedenle arthropodların kirliliğe karşı gösterdikleri biyolojik ve ekolojik tepkilerin belirlenmesi, çevresel risklerin değerlendirilmesi ve ekosistem sağlığının izlenmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Özellikle farklı arthropod gruplarının kirleticileri biriktirme kapasitelerinin, toksikolojik yanıtlarının ve topluluk yapısındaki değişimlerin birlikte değerlendirilmesi, endüstriyel kirliliğin ekosistemler üzerindeki uzun vadeli etkilerinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayacaktır.

2. ENDÜSTRİYEL KİRLİLİK VE ARTHROPODLAR

Sanayileşme, kentleşme, madencilik, enerji üretimi ve metal işleme faaliyetlerinin hızlanması, doğal ekosistemlere ulaşan kirletici maddelerin miktarının önemli ölçüde artmasına neden olmuştur. Endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan başlıca kirleticiler arasında ağır metaller, petrol ve hidrokarbon türevleri, poliaromatik hidrokarbonlar (PAH), partikül maddeler, azot ve kükürt bileşikleri ile çeşitli organik kimyasallar bulunmaktadır. Bu maddeler atmosfer, toprak ve su aracılığıyla ekosistemlere taşınarak canlıların yaşam alanlarını değiştirebilmekte ve biyolojik çeşitlilik üzerinde baskı oluşturabilmektedir. Özellikle kurşun (Pb), kadmiyum (Cd), cıva (Hg), krom (Cr), nikel (Ni), bakır (Cu) ve çinko (Zn) gibi metaller, çevrede uzun süre kalabilmeleri ve bazı canlılarda birikebilmeleri nedeniyle önemli çevresel kirleticiler arasında değerlendirilmektedir (Yağdı ve ark., 2000; Iqbal ve ark., 2025).

Arthropoda şubesi, karasal ve sucul ekosistemlerde çok geniş bir yayılışa sahip olması, tür ve birey sayısının yüksek olması ve farklı trofik seviyelerde bulunması nedeniyle çevresel değişimlerin değerlendirilmesinde önemli bir gruptur. Böcekler, akarlar, örümcekler, kabuklular ve diğer arthropod grupları; tozlaşma, organik maddelerin ayrıştırılması, besin döngüsü, biyolojik mücadele ve besin zincirinin devamlılığı gibi çok sayıda ekosistem hizmetinin sürdürülmesine katkı sağlamaktadır. Bu nedenle endüstriyel kirliliğin arthropodlar üzerindeki etkilerinin belirlenmesi, yalnızca tek tek türlerin korunması açısından değil, ekosistemlerin genel işleyişinin anlaşılması bakımından da önemlidir.

Arthropodların çevresel kirleticilere verdikleri tepkiler türlere, gelişme dönemlerine, beslenme biçimlerine ve maruz kalınan kirleticinin konsantrasyonuna göre değişebilmektedir. Bazı türler kirleticilere karşı oldukça duyarlı iken, bazı türler belirli düzeylerdeki metal kirliliğine fizyolojik ve genetik adaptasyonlar geliştirebilmektedir. Bu farklılık, kirlenmiş ve temiz alanlar arasındaki arthropod topluluklarının karşılaştırılmasını çevresel değerlendirmeler açısından önemli hale getirmektedir (Sanchez-Hernandez, 2000; Iqbal ve ark., 2025).

2.1. Ağır Metallerin Arthropodlar Üzerindeki Fizyolojik ve Toksikolojik Etkileri

Endüstriyel kirliliğin arthropodlar üzerindeki en önemli bileşenlerinden biri ağır metal kontaminasyonudur. Ağır metaller toprakta, sedimentte ve bitki dokularında birikebilmekte ve beslenme yoluyla arthropodlara aktarılabilmektedir. Özellikle Cd, Pb ve Hg gibi toksik metallerin yüksek konsantrasyonları, arthropodların fizyolojik süreçleri üzerinde olumsuz etkilere neden olabilmektedir. Ağır metal maruziyetinin böceklerde oksidatif stres, hücresel hasar, metabolik değişiklikler, gelişme bozuklukları ve üreme performansında düşüş oluşturabileceği bildirilmektedir (Yan ve ark., 2024).

Metal stresinin önemli sonuçlarından biri reaktif oksijen türlerinin artmasıdır. Arthropodlar bu stresle mücadele etmek amacıyla çeşitli antioksidan savunma mekanizmalarını aktive edebilmektedir. Ancak yüksek düzeyde ve uzun süreli maruziyet durumunda savunma mekanizmalarının yetersiz kalması, hücresel ve fizyolojik hasarın artmasına neden olabilmektedir. Bunun sonucunda büyüme ve gelişme süresinde değişiklik, larva veya nimf dönemlerinde mortalite artışı, erişkin bireylerin yaşam süresinde kısalma ve yumurta veriminde azalma gibi sonuçlar ortaya çıkabilmektedir.

Ağır metallerin etkileri yalnızca bireysel fizyoloji ile sınırlı değildir. Kirleticilerin popülasyon düzeyindeki etkileri, bireylerin hayatta kalma ve üreme başarısındaki değişimler aracılığıyla popülasyon yoğunluklarının azalmasına veya topluluk yapısının değişmesine neden olabilmektedir (Wang ve ark., 2020; Yan ve ark., 2024). Bununla birlikte bazı böcek türlerinin

metal stresine karşı tolerans geliştirebildikleri ve bu türlerde metal bağlama, detoksifikasyon ve antioksidan savunma mekanizmalarının daha etkin çalışabildiği bildirilmektedir (Aoki, 2011; Merritt, & Bewick, 2017; Zhang, ve ark., 2021).

2.2. Toprak Arthropodları Üzerindeki Etkiler

Toprak, endüstriyel kaynaklı ağır metallerin ve diğer kirleticilerin uzun süre depolanabildiği önemli bir çevresel ortamdır. Özellikle madencilik faaliyetlerinin, metal işleme tesislerinin ve sanayi bölgelerinin çevresindeki topraklarda Pb, Cd, Cu, Zn ve Ni gibi elementlerin birikimi görülebilmektedir. Toprakta yaşayan arthropodlar bu kirleticilere doğrudan temas, toprak parçacıklarının alınması veya kirlenmiş organik maddelerle beslenme yoluyla maruz kalabilmektedir.

Collembola ve Acari gibi mikroarthropod grupları, toprak ekosistemlerinin işleyişinde önemli görevler üstlenmektedir. Bu canlılar organik maddelerin parçalanmasına, mikroorganizmaların faaliyetlerinin düzenlenmesine ve besin maddelerinin döngüsüne katkıda bulunmaktadır. Ağır metal kirliliği sonucunda hassas türlerin popülasyon yoğunluklarının azalması, toleranslı türlerin ise göreceli olarak daha fazla bulunması mümkündür. Bu durum, kirlenmiş alanlarda arthropod topluluklarının tür bileşiminin değişmesine ve biyolojik çeşitliliğin azalmasına yol açabilmektedir.

Türkiye'de ağır metal kirliliğinin toprak ve tarımsal sistemler üzerindeki etkileri uzun süredir araştırılmaktadır. Yağdı ve ark. (2000), ağır metallerin toprakta birikmesinin çevresel ve tarımsal açıdan önemli sonuçlar doğurabileceğini bildirmiştir. Bu nedenle ağır metal kirliliğinin toprak arthropodları üzerindeki etkilerinin de toprak özellikleri ve bitki-metal ilişkileriyle birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir.

2.3. Sucul Arthropodlar ve Endüstriyel Kirlilik

Endüstriyel atıkların akarsu, göl ve diğer su kaynaklarına ulaşması, sucul ekosistemlerde yaşayan arthropod toplulukları üzerinde önemli baskılar oluşturabilmektedir. Özellikle metal madenciliği ve endüstriyel üretim faaliyetlerinden kaynaklanan kirleticiler sedimentte birikerek bentik organizmalar tarafından alınabilmektedir. Sucul böceklerin larvaları yaşamlarının önemli bölümünü suda geçirdikleri için çevresel değişimlere duyarlı organizmalar arasında değerlendirilmektedir.

Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera ve Chironomidae gibi sucul böcek grupları, su kalitesinin biyolojik olarak değerlendirilmesinde kullanılabilmektedir. Endüstriyel kirlilik sonucunda hassas taksonların azalması ve kirlenmiş koşullara daha dayanıklı taksonların baskın hale gelmesi, sucul arthropod topluluklarının yapısını değiştirebilmektedir. Ayrıca sucul

arthropodların dokularında metal biriktirebilmesi, bu canlıların yalnızca kirliliğin biyolojik göstergesi olarak değil, kirleticilerin besin zincirindeki transferinin araştırılmasında da kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Böceklerin ağır metal birikiminin çevresel izleme açısından değerlendirilmesini ele alan güncel derlemelerde, farklı böcek gruplarının Pb, Cd, Hg ve diğer metallerin çevredeki dağılımının belirlenmesinde kullanılabileceği vurgulanmaktadır (Iqbal ve ark., 2025).

2.4. Herbivor Arthropodlar ve Bitki-Arthropod Etkileşimleri

Endüstriyel kirliliğin önemli sonuçlarından biri de toprak-bitki-herbivor arthropod arasındaki ilişkilerin değişebilmesidir. Toprakta bulunan ağır metaller bitkiler tarafından alınarak kök, gövde, yaprak, meyve ve diğer organlarda birikebilmektedir. Kirlenmiş bitkilerle beslenen herbivor böcekler ise bu metallerin bir sonraki trofik seviyeye aktarılmasında önemli bir bağlantı oluşturmaktadır.

Herbivor böceklerin kirlenmiş bitki dokularıyla beslenmesi; gelişme süresi, larva veya nimf ağırlığı, beslenme davranışı ve üreme performansı gibi özelliklerde değişikliklere yol açabilmektedir. Yan ve ark. (2024), ağır metal stresinin böcek zararlıları üzerinde çeşitli biyolojik etkiler oluşturabileceğini ve metal maruziyetinin bazı durumlarda böceklerin insektisitlere karşı tolerans özellikleriyle ilişkili olabileceğini bildirmiştir. Bu durum tarımsal ekosistemler açısından özel önem taşımaktadır. Çünkü endüstriyel kirliliğin bitki-herbivor ilişkisini değiştirmesi, zararlı böceklerin popülasyon dinamiklerini ve dolayısıyla bitki koruma uygulamalarının etkinliğini etkileyebilmektedir. Bu nedenle sanayi bölgelerine yakın tarım alanlarında zararlı arthropod popülasyonlarının değerlendirilmesinde çevresel metal düzeylerinin de dikkate alınması yararlı olacaktır.

2.5. Predatör ve Parazitoid Arthropodlar Üzerindeki Etkiler

Predatör ve parazitoid arthropodlar, özellikle tarımsal ekosistemlerde ekonomik açıdan önemli zararlı arthropod popülasyonlarının doğal yollarla baskılanmasında önemli rol oynamaktadır. Coccinellidae, Chrysopidae ve Carabidae gibi predatör grupların yanı sıra Araneae ve çeşitli parazitoid Hymenoptera türleri, doğal biyolojik mücadelenin temel bileşenleri arasında yer almaktadır (Obrycki & Kring, 1998; New, 1975; Waage & Hassell, 2009). Bu canlıların etkinliği, zararlı popülasyonlarının düzenlenmesi, kimyasal pestisit kullanımının azaltılması ve sürdürülebilir bitki koruma açısından büyük önem taşımaktadır.

Endüstriyel kirlilik, bu faydalı arthropodları doğrudan toksik etkilerle veya besin zinciri aracılığıyla dolaylı olarak etkileyebilmektedir. Özellikle Pb, Cd, Hg, Cu ve Zn gibi ağır metallerin endüstriyel faaliyetler sonucunda toprağa ve suya ulaşması, bu elementlerin farklı

trofik seviyelerde birikmesine ve taşınmasına neden olabilmektedir. Ağır metallerin toprak–bitki–herbivor–doğal düşman zinciri boyunca aktarılması sonucunda predatör ve parazitoidler kirleticilere beslenme yoluyla da maruz kalabilmektedir.

Ağır metal stresinin doğal düşmanlarda büyüme, gelişme, yaşam süresi, beslenme davranışı, predasyon, parazitleme ve üreme başarısı gibi biyolojik özellikleri olumsuz etkileyebildiği bildirilmektedir (Yan ve ark., 2024; Zhang ve ark., 2024). Bunun yanında kirleticilerin herbivor böceklerin gelişme ve davranışlarını değiştirmesi, predatörlerin av bulma ve tüketme, parazitoidlerin ise konukçu bulma ve parazitleme başarısını dolaylı olarak etkileyebilmektedir. Sonuç olarak, endüstriyel kirliliğin etkileri yalnızca doğrudan toksisite ile sınırlı olmayıp, trofik ilişkiler ve biyolojik mücadele hizmetleri üzerinden ekosistem düzeyine yayılabilmektedir. Bu nedenle endüstriyel alanların yakınındaki tarımsal ekosistemlerde doğal düşmanların çeşitliliği, yoğunluğu, predasyon ve parazitleme oranları ile dokularındaki kirletici birikiminin birlikte değerlendirilmesi, sürdürülebilir ve etkili entegre zararlı yönetimi açısından önem taşımaktadır.

2.6. Tozlayıcı Arthropodlar Üzerindeki Etkiler

Arılar, yaban arıları, kelebekler ve diğer tozlayıcı arthropodlar, doğal ve tarımsal ekosistemlerin işleyişinde ve bitkilerin üreme başarısında önemli rol üstlenmektedir. Endüstriyel faaliyetlerden kaynaklanan ağır metaller ve diğer kirleticiler atmosferik çökelme, toprak-bitki sistemi ve yüzey suları aracılığıyla bitki dokularına, polen ve nektar gibi besin kaynaklarına ulaşabilmekte ve beslenme yoluyla tozlayıcılara aktarılabilmektedir. Bu durum, kirleticilerin tozlayıcılar üzerindeki doğrudan ve dolaylı etkilerini artırmaktadır.

Ağır metal ve diğer endüstriyel kirleticilere maruz kalan tozlayıcılarda beslenme davranışı, hareketlilik, gelişme, bağışıklık sistemi ve üreme başarısı gibi biyolojik özelliklerde değişiklikler meydana gelebilmektedir. Özellikle Pb, Cd, Hg, Cu ve Zn gibi metallerin yüksek düzeylerde birikmesi, tozlayıcıların fizyolojik performansını ve yaşam süreçlerini olumsuz etkileyebilmektedir. Buna bağlı olarak tozlayıcıların bolluk ve çeşitliliğinde meydana gelebilecek azalmalar, bitkilerin döllenme başarısını ve dolayısıyla bazı tarımsal ürünlerin verimliliğini olumsuz yönde etkileyebilmektedir (Woodcock ve ark., 2019).).

Bunun yanında, bal arısı (*Apis mellifera*) gibi yaygın ve kolay örneklenebilen türlerin vücutlarında metal biriktirebilmesi, bu canlıların çevresel kirliliğin izlenmesinde biyolojik indikatör olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır (Iqbal ve ark., 2025). Bu nedenle sanayi bölgeleri çevresindeki tarımsal alanlarda tozlayıcıların çeşitliliği, yoğunluğu ve dokularındaki

metal birikiminin birlikte değerlendirilmesi, çevre sağlığı ve sürdürülebilir tarımsal üretim açısından önem taşımaktadır.

2.7. Arthropodların Biyolojik İndikatör Olarak Kullanılması

Arthropodların çevresel değişimlere ve kirleticilere karşı gösterdikleri biyolojik tepkiler, bu canlıların ekosistem sağlığının değerlendirilmesinde önemli biyolojik indikatörler olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Yüksek tür ve birey çeşitliliğine sahip olmaları, farklı habitatlarda ve trofik seviyelerde bulunmaları, nispeten kolay örneklenebilmeleri ve çevresel değişimlere farklı düzeylerde tepki vermeleri, arthropodların biyolojik izleme çalışmalarındaki önemini artırmaktadır. Özellikle Chironomidae, Carabidae ve bal arısı (*Apis mellifera*) gibi grupların Pb, Cd ve Hg gibi ağır metalleri dokularında biriktirebilmesi, bu organizmaların endüstriyel kirliliğin mekânsal dağılımının belirlenmesinde kullanılabileceğini göstermektedir (Iqbal ve ark., 2025).

Arthropodların biyolojik indikatör olarak değerlendirilmesinde yalnızca tür çeşitliliği, bolluk ve popülasyon yoğunluğu gibi geleneksel göstergeler değil, metal birikimi, DNA hasarı, deformasyonlar ve fizyolojik biyobelirteçler de dikkate alınabilmektedir. Son yıllarda moleküler yöntemlerin çevresel izleme çalışmalarına entegrasyonu, bu yaklaşımın duyarlılığını ve taksonomik çözünürlüğünü artırmıştır. Çevresel DNA (eDNA), çevresel RNA (eRNA), DNA barkodlama, moleküler biyobelirteçler, yüksek verimli dizileme ve ekolojik modelleme gibi yöntemler, çevresel değişimlerin daha erken ve ayrıntılı biçimde belirlenmesine katkı sağlamaktadır (Yin ve ark., 2026). Bununla birlikte, çevresel risklerin daha güvenilir değerlendirilmesi için farklı trofik seviyelerdeki arthropod gruplarının birlikte incelenmesi ve biyolojik, kimyasal ve moleküler göstergelerin bütüncül olarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

2.8. Türkiye'de Endüstriyel Kirlilik ve Arthropod Araştırmalarının Önemi

Türkiye, hızlı sanayileşme, madencilik faaliyetleri, yoğun tarımsal üretim ve kentleşmenin bir arada bulunduğu ülkelerden biridir. Bu faaliyetlerin yoğunlaştığı bölgelerde toprak, su ve hava kalitesindeki değişimler doğal ekosistemleri etkileyebilmektedir. Türkiye'de ağır metal kirliliği üzerine yapılan çalışmalar özellikle toprak ve tarımsal üretim açısından önemli bir literatür oluşturmuştur. Yağdı ve ark. (2000), ağır metallerin toprakta birikmesi ve tarımsal sistemlere etkileri konusunda Türkiye açısından temel sorunları ortaya koymuştur. Bununla birlikte Türkiye'de endüstriyel kirliliğin Arthropoda şubesi üzerindeki etkilerini bütüncül olarak değerlendiren çalışmaların artırılması gerekmektedir. Özellikle sanayi bölgeleri, maden işletmeleri ve endüstriyel atıkların bulunduğu alanların yakınında böcek, akar ve diğer

arthropod topluluklarının karşılaştırmalı olarak incelenmesi önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır.

Türkiye'nin farklı coğrafi bölgelerinde tarım alanları ile sanayi ve madencilik faaliyetlerinin birbirine yakın olması, endüstriyel kirleticilerin tarımsal ekosistemlere taşınması açısından ayrıca önemlidir. Bu nedenle arthropodların yalnızca kirliliğin etkilediği canlılar olarak değil, aynı zamanda çevresel değişimlerin izlenmesinde kullanılabilecek biyolojik göstergeler olarak ele alınması gerekmektedir.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Endüstriyel kirlilik, *Arthropoda* üyelerini bireysel, fizyolojik, davranışsal, popülasyon ve topluluk düzeylerinde etkileyebilen önemli bir çevresel stres faktörüdür. Özellikle ağır metaller ve diğer endüstriyel kirleticiler; arthropodların büyüme, gelişme, beslenme, hareketlilik ve üreme süreçlerinde değişikliklere neden olarak popülasyon yoğunluğu ve tür çeşitliliğinde azalmalara yol açabilmektedir. Kirleticilerin toprak, bitki ve besin zinciri aracılığıyla farklı trofik seviyelere taşınması, etkilerin yalnızca doğrudan maruz kalan organizmalarla sınırlı kalmayarak ekosistem içerisindeki türler arası ilişkilere ve ekosistem fonksiyonlarına yayılmasına neden olmaktadır. Özellikle tozlayıcı, herbivor, predatör ve parazitoid arthropodlardaki değişimler; tozlaşma, biyolojik mücadele, ayrışma ve besin döngüsü gibi önemli ekosistem hizmetlerinin sürdürülebilirliğini etkileyebilmektedir.

Bu nedenle endüstriyel kirliliğin arthropodlar üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde yalnızca kirletici konsantrasyonlarının belirlenmesi yeterli görülmemeli; tür çeşitliliği, popülasyon yoğunluğu, biyolojik birikim, fizyolojik yanıtlar ve topluluk yapısı birlikte değerlendirilmelidir. Gelecekte sanayi ve madencilik faaliyetlerinin yoğun olduğu bölgelerde uzun süreli ve karşılaştırmalı izleme çalışmalarının yürütülmesi önerilmektedir. Ayrıca farklı trofik seviyelerdeki arthropod gruplarının biyolojik indikatör olarak değerlendirilmesi, kirliliğin ekolojik etkilerinin erken belirlenmesine ve sürdürülebilir çevre yönetimi ile etkili koruma stratejilerinin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Aoki, Y. (2011). Metallothioneins in insect and their role in tolerance to heavy metals. Japanese Journal of Environmental Toxicology, 14(1), 39–46. https://doi.org/10.11403/jset.14.39

Benhadji, N., Kurniawan, S. B., & Imron, M. F. (2024). Review of mayflies (Insecta Ephemeroptera) as a bioindicator of heavy metals and microplastics in freshwater. Science of the Total Environment, 958, 178057. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.178057

Delcourt, N., Duarte-Martínez, H., Cortet, J., et al. (2026). Soil microarthropods (Collembola and Acari, Oribatida) responses to trace metals contamination: A case study in a Mediterranean former mining site. Pedobiologia, 115, 151132. https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2026.151132

Gekière, A., Vanderplanck, M., & Michez, D. (2023). Trace metals with heavy consequences on bees: A comprehensive review. Science of the Total Environment, 895, 165084. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.16508

Gerlach, J., Samways, M. J., & Pryke, J. S. (2013). Terrestrial invertebrates as bioindicators: An overview of available taxonomic groups. Journal of Insect Conservation, 17(4), 831–850. https://doi.org/10.1007/s10841-013-9565-9
Iqbal, S., Waseem, M., Ullah, S., Arshad, R., Dur-E-Najaf, & Akram, A. (2025). A review of heavy metals bioaccumulation in insects for environmental monitoring. The Journal of Basic and Applied Zoology, 86, 69. https://doi.org/10.1186/s41936-025-00489-8
Liaqat, I., Virk, N., & Ali, N. M. (2023). Recent advances in evaluating insects as bioindicators of heavy metal pollution. In B. A. Almayyahi (Ed.), Heavy metals. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.110212
Manjula, K. T., Abdul Jaleel, K., Vijaya, M. B., Anangh, M. K., Jiji Joseph, V., Raghunathan, P. P., Jayakrishnan, T. V., & Rajeevan, E. (2024). Dragonflies and damselflies: A comprehensive review on their role as heavy metal bioindicators in aquatic ecosystems. Environment and Ecology Research, 12(4), 419–429. https://doi.org/10.13189/eer.2024.120407
Merritt, T. J. S., & Bewick, A. J. (2017). Genetic diversity in insect metal tolerance. Frontiers in Genetics, 8, 172. https://doi.org/10.3389/fgene.2017.00172
Migliorini, M., Pigino, G., Bianchi, N., Bernini, F., & Leonzio, C. (2004). The effects of heavy metal contamination on the soil arthropod community of a shooting range. *Environmental Pollution, 129*(2), 331–340. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2003.09.025
Nasirian, H., & Irvine, K. N. (2017). Odonata larvae as a bioindicator of metal contamination in aquatic environments: Application to ecologically important wetlands in Iran. Environmental Monitoring and Assessment, 189(9), 436. https://doi.org/10.1007/s10661-017-6145-2
New, T. R. (1975). The biology of Chrysopidae and Hemerobiidae (Neuroptera), with reference to their usage as biocontrol agents: A review. *Transactions of the Royal Entomological Society of London, 127*(2), 115–140. https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.1975.tb00561.x
Nummelin, M., Lodenius, M., Tulisalo, E., Hirvonen, H., & Alanko, T. (2007). Predatory insects as bioindicators of heavy metal pollution. Environmental Pollution, 145(1), 339–347.
Obrycki, J. J., & Kring, T. J. (1998). Predaceous Coccinellidae in biological control. Annual Review of Entomology, 43, 295–321. https://doi.org/10.1146/annurev.ento.43.1.295
Sánchez-Hernández, J. C. (2000). Trace element contamination in Antarctic ecosystems. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology, 166, 83–127. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-2100-8_3
Waage, J. K., & Hassell, M. P. (2009). Parasitoids as biological control agents – A fundamental approach. Parasitology, 136(12), 1447–1457.
Wang, X., Li, Y., & Zhang, H. (2020). Review on the effects of heavy metal pollution on herbivorous insects. Chinese Journal of Applied Ecology, 31(5), 1773–1782. https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.202005.035
Woodcock, B. A., Garratt, M. P. D., Powney, G. D., Shaw, R. F., Osborne, J. L., Soroka, J., Lindström, S. A. M., Stanley, D., Ouvrard, P., Edwards, M. E., Jauker, F., McCracken, M. E., Zou, Y., Potts, S. G., Rundlöf, M., Noriega, J. A., Greenop, A., Smith, H. G., Bommarco, R., Pywell, R. F. (2019). Meta-analysis reveals that pollinator functional diversity and abundance enhance crop pollination and yield. Nature Communications, 10, 1481. https://doi.org/10.1038/s41467-019-09393-6
Yağdı, K., Kaçar, O., & Azkan, N. (2000). Topraklardaki ağır metal kirliliği ve tarımsal etkileri. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 15(2), 109–115.
Yan, S., Tan, M., Zhang, A., & Jiang, D. (2024). The exposure risk of heavy metals to insect pests and their impact on pests occurrence and cross-tolerance to insecticides: A review. *Science* of the Total Environment, 916, 170274. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.170274
Yin, X., Zhou, Y., Zhao, X., Liu, Y., & Deng, Z. (2026). Insect indicators of the environment: A review of progress toward environmental monitoring. Ecological Indicators, *186*, 114871. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2026.114871
Zhang, J., Shi, Z., Gao, Z., Wen, Y., Wang, W., Liu, W., Wang, X., & Zhu, F. (2021). Identification of three metallothioneins in the black soldier fly and their functions in Cd accumulation and detoxification. Environmental Pollution, 286, 117146.

Zhang, Z., Wu, H., Zhang, A., Tan, M., Yan, S., & Jiang, D. (2024). Transfer of heavy metals along the food chain: A review on the pest control performance of insect natural enemies under heavy metal stress. Journal of Hazardous Materials, 478, 135587. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.135587

HAYVANCILIK İŞLETMELERİNDE SÜREÇ İYİLEŞTİRME: SÜRÜ YÖNETİMİ VE BESLEME UYGULAMALARINDA YALIN ALTI SIGMA METODOLOJİSİ

Yılmaz GÖKSU
Harran University, Faculty of Agriculture, Department of Animal Science, Şanlıurfa
ORCID ID: 0009-0006-2912-5861
Doç. Dr. İrfan ÖZTÜRK
Harran University, Vocational School of Organize, Department of Food Technology, Şanlıurfa
ORCID ID: 0000-0002-6421-5604
Dr. Öğr. Üyesi Cansu ÇELİK
Gaziantep University, Vocational School of Araban, Department of Veterinary Medicine, Gaziantep
ORCID ID: 0000-0002-4682-4617

ÖZET

Günümüzde farklı alanlarda faaliyet gösteren hayvancılık işletmelerinde süreç yönetiminde göz ardı edilen faktörler, üretim verimliliğini ve işletme karlılığını olumsuz etkileyerek önemli ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Hayvancılık işletmelerinde artan üretim maliyetleri ve kaynakların etkili kullanılamaması nedeniyle süreç iyileştirme programlarının önemi her geçen gün artmaktadır. Özellikle yem tedariki, yem depolama, rasyon hazırlama, yemleme yönetimi, yem kayıplarının azaltılması ve yemden yararlanmanın artırılmasına yönelik süreçler, hayvan besleme açısından iyileştirilmesi gereken temel uygulama alanları arasında yer almaktadır. Bu kapsamda, süreç iyileştirme yaklaşımlarından olan yalın üretim ve Altı Sigma metodolojilerinin bütünleşik olarak kullanıldığı Yalın Altı Sigma (YAS) yaklaşımının; üretim, sürü yönetimi ve besleme süreçlerinde verimliliği etkileyen hata ve süreç varyasyonlarının ölçülmesi, analiz edilmesi ve azaltılmasına katkı sağlayarak işletmelerde verimliliği ve kârlılığı artırması beklenmektedir. Bu bildiride, süt ve besi sığırcılığı ile kanatlı işletmeleri başta olmak üzere farklı hayvancılık işletmelerinde YAS metodolojisinin kullanım potansiyeli literatür doğrultusunda değerlendirilmiştir. Yalın üretim yaklaşımı; üretim süreçlerinde verime katkı sağlamayan faktörleri ortadan kaldırmayı amaçlarken, altı sigma yaklaşımı bu olumsuz faktörleri istatistiksel yöntemlerle analiz ederek önem derecelerini ortaya koymayı, öncelikli iyileştirme alanlarını belirlemeyi ve süreç performansını iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Bunun yanında, YAS yaklaşımının hayvan besleme süreçlerinde yem israfının azaltılmasına, rasyon uygulamalarında standardizasyonun sağlanmasına, yemden yararlanmanın artırılmasına ve besleme maliyetlerinin düşürülmesine katkı sağlayabilecek önemli bir süreç yönetim aracı olduğu değerlendirilmektedir. Bu iki metodolojinin bütünleşik olarak uygulanmasıyla kullanılan TÖAİK (Tanımlama, Ölçme, Analiz, İyileştirme ve Kontrol) modeli, üretim, sürü yönetimi ve besleme süreçlerinde verimliliği olumsuz etkileyen unsurların sistematik olarak belirlenmesine, analiz edilmesine ve iyileştirilmesine olanak sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Hayvan Besleme, Karlılık, Rasyon, Verimlilik, YAS.

PROCESS IMPROVEMENT IN LIVESTOCK OPERATIONS: THE LEAN SIX SIGMA METHODOLOGY IN HERD MANAGEMENT AND FEEDING PRACTICES

ABSTRACT

Factors that are often overlooked in process management at livestock operations across various sectors today negatively impact production efficiency and operational profitability, leading to significant economic losses. Due to rising production costs and the ineffective use of resources in livestock operations, the importance of process improvement programs is growing day by day. In particular, processes related to feed procurement, feed storage, ration preparation, feeding management, reducing feed losses, and increasing feed utilization are among the key areas of practice that need improvement in terms of animal nutrition. In this context, the Lean Six Sigma (LSS) approach—which integrates the Lean production and Six Sigma methodologies—is expected to enhance efficiency and profitability in operations by contributing to the measurement, analysis, and reduction of errors and process variations that affect efficiency in production, herd management, and feeding processes. In this paper, the potential for applying the LSS methodology in various livestock operations—particularly dairy and beef cattle farms as well as poultry operations—has been evaluated in line with the literature. While the lean production approach aims to eliminate factors that do not contribute to efficiency in production processes, the Six Sigma approach aims to analyze these negative factors using statistical methods to determine their levels of significance, identify priority areas for improvement, and enhance process performance. In addition, the LSS approach is considered an important process management tool that can contribute to reducing feed waste, ensuring standardization in ration formulation, increasing feed utilization, and lowering feeding costs in animal feeding processes. DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, and Control) model, applied through the integrated use of these two methodologies, enables the systematic identification, analysis, and improvement of factors that negatively impact efficiency in production, herd management, and feeding processes.

Keywords: Animal Nutrition, LSS, Productivity, Profitability, Rations.

2023-2027 DÖNEMİ İÇİN İRAN'DA KOYUN ETİ ÜRETİM TAHMİNLERİ

Ahmet Semih Uzundumlu[1] ve Gülsüm Demir[2]
[1]Prof. Dr. Atatürk Üniversitesi, Tarım İşletmeciliği, asuzsemi@atauni.edu.tr 0000-0001-9714-2053
[2]Yükseklisans Öğrencisi, Atatürk Üniversitesi, Tarım İşletmeciliği, demrglsm87@outlook.com, 0009-0008-9486-5756

Özet

Bu çalışmada İran için 1961-2022 dönemi FAOSTAT veri tabanından çekilen koyun eti üretim verileri kullanılarak 2023-2027 yıllarına ilişkin üretim tahminlerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu çerçevede elde edilen veri seti SAS 9.4 istatistik yazılım programında ARIMA tahmin yöntemi ile analiz edilmiştir. Çalışma bulgularına göre 1962 yılında 113 000 ton üretim yapan İran 1979 da 176 000 ton üretime yükselmiş fakat 2019 yılında ciddi bir düşüş göstererek 116 484 ton üretim gerçekleştirmiştir. 2023 yılı verilerine göre 237 479 ton üretim yapılmış bu çalışma sonucunda ARIMA(2,1,4) modeli ile bulunan tahmin ise 258 733 ton civarında kaydedilmiş ve yaklaşık %9 oranında bir sapma tespit edilmiştir. 2026 yılı için öngörülen rakam 241 081 ton iken 2027 yılı için 245 733 ton olarak saptanmıştır. Sonuç olarak İran koyun eti üretimini arttırmak için üretici kesimi desteklemekle birlikte hastalık ve benzeri sebeplerle ortaya çıkan kayıpları azaltmak için önlemler almalı ve iklim değişikliği sonucunda üretimin azalmasına neden olan etkenleri azaltarak üretimi arttırma yoluna gitmelidir.

Anahtar kelimeler: ARIMA, İran, Koyun eti, Tahmin

SHEEP MEAT PRODUCTION FORECASTS FOR IRAN FOR THE 2023–2027 PERIOD

Abstract

This study aims to determine production forecasts for the years 2023–2027 for Iran, utilizing sheep meat production data for the 1961–2022 period obtained from the FAOSTAT database. The resulting dataset was analyzed using the ARIMA forecasting method within the SAS 9.4 statistical software program. According to the findings, Iran's sheep meat production rose from 113,000 tons in 1962 to 176,000 tons in 1979, but subsequently experienced a significant decline, falling to 116,484 tons in 2019. Production in 2023 amounted to 237,479 tons; the forecast generated by the ARIMA(2,1,4) model was approximately 258,733 tons, representing a deviation of about 9%. The projected production figures are 241,081 tons for 2026 and 245,733 tons for 2027. In conclusion, to increase sheep meat production, Iran should not only support producers but also implement measures to mitigate losses caused by factors such as disease and take steps to boost output by addressing the elements that reduce production due to climate change.

Keywords: ARIMA, Iran, Sheep meat, Forecasting

GİRİŞ

Tarım ve hayvancılık denilince sadece bitkisel, hayvansal ve orman ürünlerinin üretimi ile akla gelmemeli bunun ötesinde gıda ve hayvan sağlığının sağlanması da gerekmektedir. Tarım ve hayvancılık sadece işlenmemiş tarım ürünleri ile değil ayrıca hem büyüme hem de kalkınmanın gerçekleşmesinde önemli olan sanayi sektörüne sağladığı katkılar nedeni ile de önemli bir sektördür.

Günümüz dünyasında gelişmişlik düzeyi nedeni ile beslenme alışkanlıkları değişerek ülkelerin beslenme düzeyi gelişmişlik düzeyine paralel olarak farklılık göstermektedir (Palabıçak, 2019). Daha geniş bir açıdan bakınca hizmet sektörü ve sanayi sektöründeki ilerlemeler kentleşmeyi buda gelir artışı nedeni ile tahıl yerine hayvansal ürünlere olan talebi artırmış ve hayvancılık sektörü tarım sektöründen daha hızlı büyüyerek kırsal kesim için önemli bir gelir kaynağı oluşturmuştur (Birthal and Taneja, 2012; Atlı, 2026).

Koyunculuk dünyanın birçok yerinde hayvancılık sektörünün önemli bir alt dalı olarak insanlara et ve süt gibi temel ürünler yanında yün, deri, gübre gibi yan ürünler sunmaktadır (Kaya ve Yurtseven, 2019; Sevinç vd., 2022). Koyunculuk faaliyeti genellikle hassas topraklarda yapılmakta olup, zamanında yapılmayan otlatma ve iklimdeki değişmeler ile mera ve otlakların bozulmasıyla birlikte bu toprakların alanı giderek küçülmektedir (Morris and Montossi, 2026). 2020-2024 dönemi ortalama verilerine göre küresel koyun varlığı 1,34 milyar baş olup Çin %13,95'lik payı ile ilk sırada yer alırken, onu Hindistan (%7,41), Avustralya (%5,29), İran (%3,97), Nijerya (%3,75), Çad (%3,28) ve Türkiye (%3,27) takip etmektedir (FAOSTAT, 2026). Ayrıca ılıman otlak koşullarını yansıtan ılıman bölgeler, dünya koyun popülasyonunun yaklaşık %60'ını oluştururken, Afrika, Asya ve Orta Doğu'nun yarı kurak tropik bölgeleri dünya koyun popülasyonunun %40'ını oluşturmaktadır (Morris and Montossi, 2026).

Genetik ve arkeolojik araştırmalar, koyunların evcilleştirilmesine dair ilk kanıtları özellikle Kuzey Irak, İran'daki Zagros Dağları, Suriye ve Güneydoğu Anadolu'yu kapsayan "Bereketli Hilal" olarak bilinen bölgede tespit etmişlerdir (Zeder, 2008). İran'da koyun yetiştiriciliği köklü ve önemli bir geçmişe sahip olup koyun gen merkezlerden biri olarak kabul edilmekte olup son yirmi yılda koyun yetiştiriciliğinin yapısı ve uygulamaları önemli değişiklikler geçirmiştir (Naghshbandi et al., 2026). İran'ın çeşitli coğrafyası ve iklimi, koyun ve keçi yetiştiriciliği için son derece uygun bir ortam yaratmaktadır. Yerel koşullara uyum sağlamış ırkların varlığı ve yaygın ortak otlak alanları, düşük maliyetli üretime olanak sağlamaktadır (Herman and Steidle, 2014).

Koyun eti, hem besin değeri hem de ekonomik katkısı açısından dünyanın birçok ülkesinde temel gıda ürünlerinden biri olup et piyasasında istikrarın sağlanması ve tüketici bütçesinin korunması adına tahmin modellerinin hem üreticiler, aracılar ve tüketiciler ile hem de politika yapıcılar için kritik bir araç olmaktadır. Bu nedenle koyun eti üretimi ve fiyatlarının tahmininde yapılan çalışmalarda ARIMA modeli başarılı bir şekilde kullanılabilmektedir (). ARIMA modelleri, geçmiş verilere dayalı olarak gelecekteki eğilimleri tahmin etmede yüksek doğruluk oranı sağlaması nedeniyle, et üretimi ve tüketim tahminlerinde etkin bir araç olarak değerlendirilmektedir (Özbek vd., 2025; Uzundumlu and Demir, 2025).

Bu çalışmada, 1961 ve 2022 yıllarına ait FAOSTAT verileri ile İran'ın koyun eti üretim verileri kullanılarak ARIMA model yardımıyla 2023-2027 dönemi için koyun eti üretim tahminleri yapılmıştır

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Çalışmanın temel materyalini FAOSTAT'tan elde edilen ikincil veriler oluşturmakta olup çalışmanın kaynakları olarak ulusal ve uluslararası düzeydeki makaleler, kitaplar, bildiriler ve lisansüstü tezler ile internet kaynakları kullanılmıştır

Yöntem

Microsoft Excel'de ön hazırlığı yapılan veriler SAS 9.4 yazılımındaki ARIMA modeliyle analiz edilerek elde edilen sayısal veriler Excel aracılığıyla görselleştirilmiştir. Ayrıca SAS yazılımı ile direkt verilen tanı testlerinin grafikleri de resim formatında kullanılmıştır.

ARIMA Tahmin Yöntemi

Otoregresif Entegre Hareketli Ortalama (ARIMA) modeli, durağanlaştırılan tek değişkenli zaman serilerinin geçmiş veriler arasındaki korelasyonunu matematiksel olarak modelleyerek gelecekteki eğilimleri öngören tahmin yöntemidir (Pan and Yan, 2026). Zaman serisi tahmininin temel varsayımı olan durağanlık, serinin ortalama ve varyansının zamana göre değişmemesini ifade etmekte olup geçmiş değerleri (AR), durağanlaştırma için fark alma işlemi (I) ve hata terimlerini (MA) birleştiren ARIMA modeli ise genel olarak ARIMA(p,d,q) şeklinde gösterilmektedir (Hazarika and Phukon, 2026).

ARIMA modelinin başarılı bir şekilde kullanılabilmesi için belirli aşamalar yapılmıştır.

1. Veri Hazırlığı: FAOSTAT verileri Excel'de düzenlenerek SAS 9.4 analizine uygun hale getirilmiştir.

2. Durağanlık: Modelde birim kök olmadığı yani ADF testi ve fark alma grafikleri yardımıyla serinin durağanlığı belirlenmiştir.

3. Model Kurulumu ve Seçimi: ACF, PACF, SCAN ve ESACF yöntemleriyle aday modeller belirlenerek AIC, BIC, MAPE, DW ve R^2 gibi hata ve uyum kriterlerine göre en iyi ARIMA modeli belirlenmiştir.

Teşhis ve Kontrol: Bu aşamada ilk önce model katsayılarının anlamlılığına bakılmış, kalıntıların otokorelasyon kontrolü ve kalıntıların beyaz gürültü özelliği taşıdığını belirlemek için Ljung-Box testi uygulanmıştır. kalıntıların normalliği için Histogram Grafiği ve Q-Q Plot Grafiği kullanılmıştır (SAS, 2025).

En Uygun Modeli Uygulama: Teşhis ve kontrol aşamalarını başarılı bir şekilde geçen aday model en uygun model olarak ele alınmaktadır.

ARIMA modelinin denklemi (1)'deki gibidir.

$$1 - a_1B^1 - a_2B^2 \ldots - a_PB^P) * (1 - B)^d y_t = (1 - \theta_1B^1 - \theta_2B^2 - \ldots . - \theta_qB^q)\varepsilon_t \quad (1)$$

$(1 - B)^d$ terimini d'ninci derece fark alma işlemi olup, $(1 - B)^d y_t$ ifadesi ise d= 1 için B $y_t = y_{t-1}$ şeklinde yazılabilmektedir. p=2, d=1 ve q=4 olması durumundaki modeli ARIMA(2,1,4) yani

$$1 - a_1B^1 - a_2B^2) * (1 - B)^1 y_t = (1 - \theta_1B^1 - \theta_2B^2 - \theta_3B^3 - \theta_4B^4)\varepsilon_t$$

ARAŞTIRMA BULGULARI

Verilerin Durağan Olup Olmadığını Belirlemek

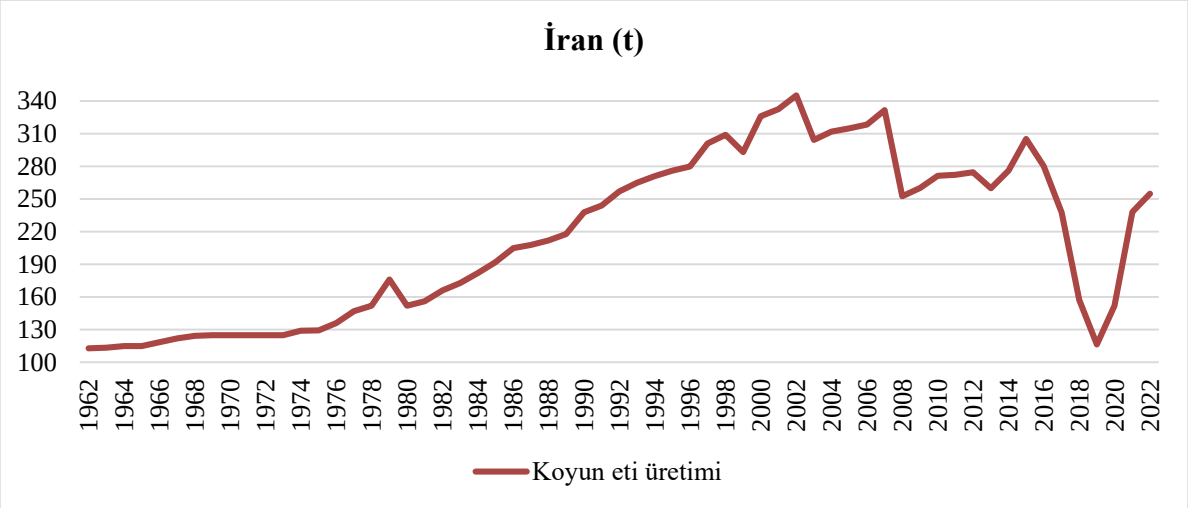
Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) ile durağanlık testi

Tablo 1. ADF kök testleri

Type	Gecikmeler	Rho	Pr < Rho	Tau	Pr < Tau	F	Pr > F
Zero Mean	5	-53,7681	<.0001	-2,65	0,0088		
	6	-45,7681	<.0001	-2,18	0,0290		
	7	-18,6953	0,0015	-1,63	0,0964		
	8	-5,2999	0,1082	-1,04	0,2652		
Single Mean	5	-64,5683	0,0005	-2,66	0,0866	3,56	0,1748
	6	-68,1669	0,0005	-2,18	0,2155	2,43	0,4582
	7	-22,7872	0,0026	-1,56	0,4948	1,33	0,7349
	8	-4,8618	0,4324	-0,87	0,7902	0,53	0,9400
Trend	5	-1280,65	0,0001	-3,21	0,0929	5,19	0,1556
	6	431,5694	0,9999	-2,77	0,2144	4,03	0,3822
	7	-93,0622	<.0001	-2,20	0,4783	2,87	0,6094
	8	-13,4674	0,2003	-1,58	0,7866	1,98	0,7817

"Zero mean" (sıfır ortalama), "single mean" (sabitli) ve "trend" (trendli) aşamalarından oluşan birim kök testinde, seriyi durağan hale getirmek için bazen birden fazla gecikme farkı almak gerekmektedir. Nitekim 5, 6, 7 ve 8 gecikmeli terimler hesaplanarak verideki hareketli ortalama yapısı modele dâhil edilmiştir. Tablo 1'deki sonuçlara göre "zero mean" aşamasının 5 ve 6 gecikmeli terimlerinde p değerinin 0,05'ten küçük çıktığı ve verinin durağan olduğunu söyleyen H_1 alternatif hipotezini desteklediği görülmüştür. Ancak "single mean" ve "trend" adımlarında p değerleri 0,05'ten yüksek çıkmış ve serinin bu yapılarda ilk haliyle durağan olmadığı anlaşılmıştır.

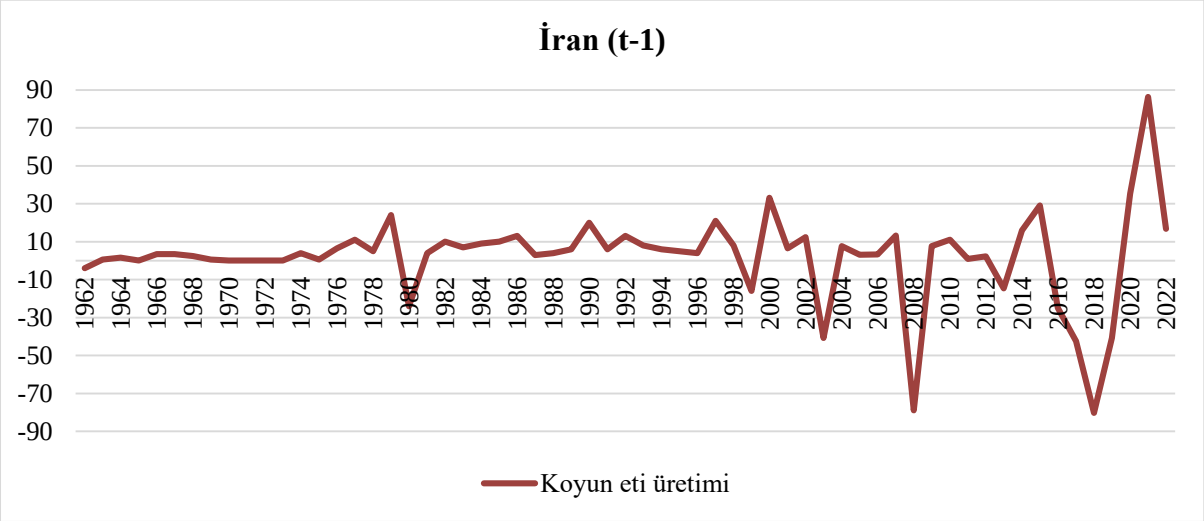
t ve t-1 grafikleri ile durağanlık testi



Şekil 1. 1961-2022 İran koyun eti üretimi (bin ton)

Şekil 1'deki Koyun eti zaman serisi belirgin bir yükselen trend sergilediğinden, ortalaması zaman içinde değişmekte ve serinin sabit bir ortalama ile varyansa sahip olmadığını, ayrıca ADF testi ile birim kök durumu kontrol edilmiş ve p değeri 0,46 olarak bulunmuş %5 anlamlılık düzeyi için birim kök barındırdığı yani durağan dışı bir yapıda olduğu bu nedenle verilerin birinci farkı alınarak durağanlaştırılabileceği düşünülmektedir.

Şekil 2'de 1 dereceli fark alma işlemi uygulanmış 1961-2022 koyun eti üretim serisi verilmiştir.



Şekil 2. Durağanlaştırılmış İran koyun eti üretimi (bin ton)

Verinin birinci farkı alındığında serideki trend ortadan kalkarak seri, sabit bir ortalama ve varyans etrafında dengeli bir şekilde dalgalanmaya başlamıştır. Bu durum, serinin kalp atış ritmini andıran zikzaklı yapısıyla durağan bir forma kavuştuğunu göstermektedir.

En Uygun Modeli Belirleme

Tablo 2'de p ve q değerlerine göre sıralama ölçüt testleri verilmiştir.

Tablo 2. p ve q Değerlerine Göre Sıralama Ölçüt Testleri

p	q	MSE	SBC (BIC)	MAE	MAPE	DW	AIC	HQC	R^2
2	2	5,17	1 354,28	13,94	322,44	1,84	1 352,20	1 353,01	0,33
0	4	4,98	1 351,99	13,97	338,39	1,77	1 349,91	1 350,72	0,32
4	1	5,08	1 353,17	13,08	119,63	1,66	1 351,10	1 351,91	0,43
5	0	5,08	1 352,56	13,95	149,56	1,84	1 350,48	1 351,29	0,28
4	2	5,02	1 352,56	13,95	149,56	1,84	1 350,48	1 351,29	0,33
2	4	4,95	1 351,70	13,90	169,51	1,84	1 349,62	1 350,43	0,33

Not: MSE değerleri 10^8 ve MAE değerleri 10^4 ile çarpılmalıdır.

Tablo 2'deki değerler dikkate alındığında, 8 kriterin 5'inde en iyi performansı gösteren ARIMA(2,1,4) modeli, en uygun model olarak öne çıkmaktadır.

Teşhis ve Kontrol

Model katsayılarının anlamlılığı

Tablo 3. Koşullu En Küçük Kareler Tahminleri

Parametreler	Tahmin	Standard Hata	t Değeri	p	Gecikme
MU	1979,8	1845,3	1,07	0,2878	0
MA	0,31559	0,13470	2,34	0,0226	4
AR	-0,12994	0,14190	-0,92	0,3636	2

Tablo 3'te modelin parametreleri genelde istatistiksel olarak güvenilir olup seriyi açıklamada anlamlıdır.

Kalıntıların otokorelasyon kontrolü

Tablo 4'te kalıntıların otokorelasyon kontrolü verilmiştir.

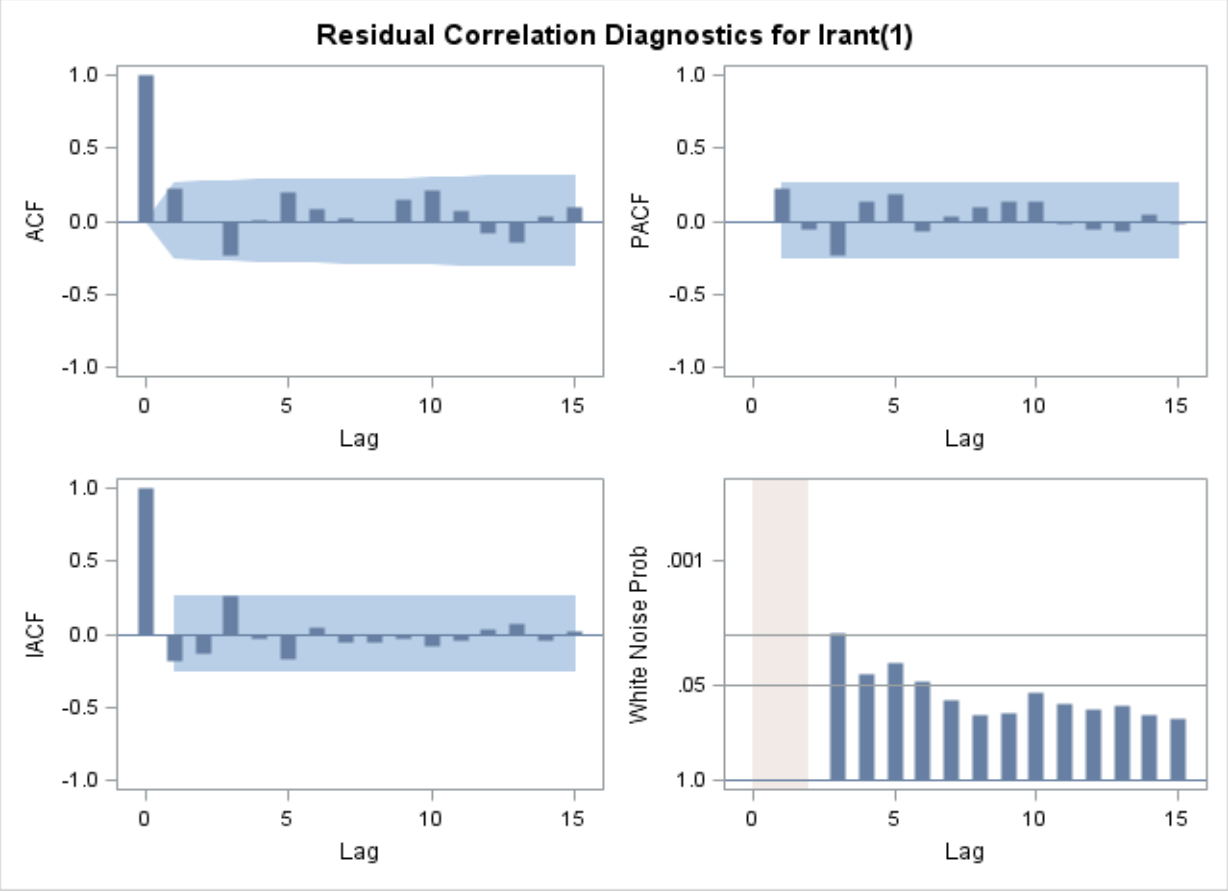
Tablo 4. Kalıntıların Otokorelasyon Kontrolü

Gecikme	Chi-Sq	DF	Pr > ChiSq	Otokorelasyon					
6	9,84	4	0,0432	0,226	0,000	-0,228	0,017	0,196	0,083
12	15,70	10	0,1084	0,017	-0,006	0,146	0,211	0,066	-0,086
18	23,74	16	0,0953	-0,150	0,037	0,093	-0,075	-0,081	-0,220
24	27,27	22	0,2012	0,025	-0,077	-0,020	-0,160	0,014	-0,056

Tablo sonuçlarına göre, 6. gecikme dışındaki tüm p-değerlerinin %5 anlamlılık düzeyinden büyük olması, artıklarda anlamlı bir otokorelasyon bulunmadığını göstermektedir. Ayrıca otokorelasyon katsayılarının $\left|\frac{2}{\sqrt[2]{62)}}\right| = \pm 0{,}254$ kritik sınırları içinde kalması, kalıntıların beyaz gürültü sürecine uygun olduğunu kanıtlamaktadır.

Kalıntıların beyaz gürültü kontrolü

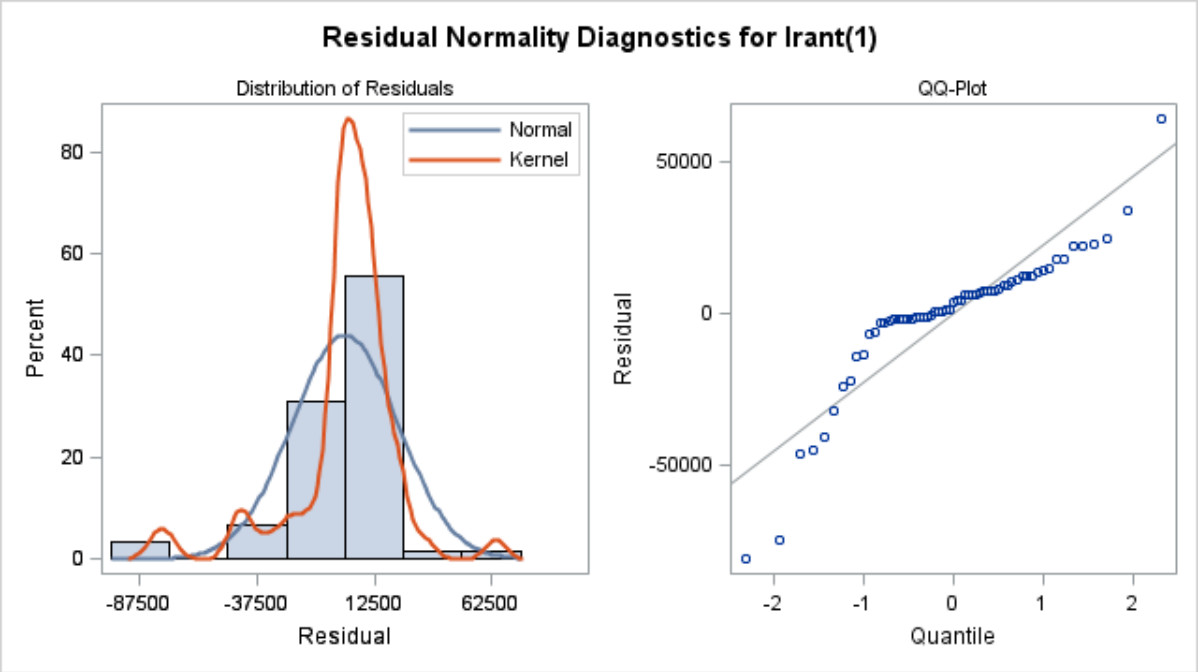
Şekil 3'te kalıntı korelasyon göstergeleri verilmiştir.



Şekil 3. Kalıntı korelasyon göstergeleri

ACF grafiğinde Lag 1 dışındaki, PACF grafiğinde ise tüm değerlerin mavi güven sınırı içinde kalması, kalıntıların otokorelasyondan temizlendiğini ve ek bir AR bileşenine ihtiyaç duyulmadığını göstermektedir. Kalıntıların otokorelasyon yapısını ters çevirerek sunan IACF paneli de AR bileşenlerinin modele sağlıklı bir şekilde dahil edildiğini doğrulamaktadır. Son Ayrıca beyaz gürültü testi p-değerlerinin %5 anlamlılık düzeyinin üzerinde çıkması, artıklar arasında hiçbir bağımlılık kalmadığını ve serinin başarıyla beyaz gürültüye dönüştüğünü ortaya koynaktadır.

Şekil 4'te kalıntı normalliği göstergeleri verilmiştir.

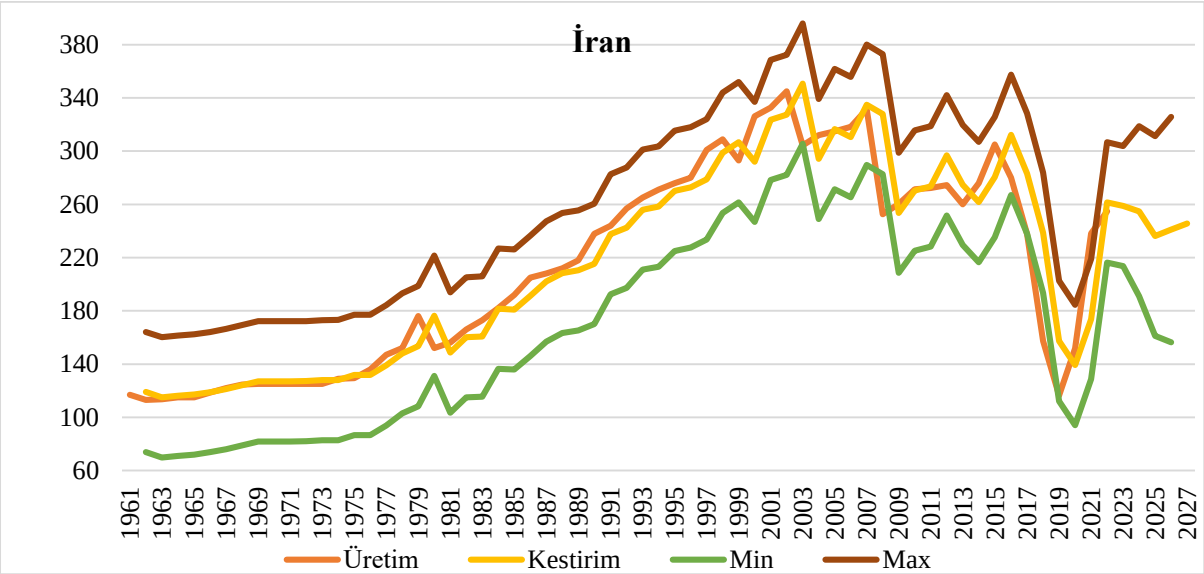


Şekil 4. İran için kalıntıların normallik kontrolü

Bu grafikte artıkların normal dağılıma uygunluğu denetlenmekte olup görseldeki kalıntıların normal dağılıma uyması, modelin verideki tüm sistematik yapıyı çözdüğünü ve geriye kalan hataların tamamen rastgele olduğunu göstermektedir. Önceki testlerde de artıkların anlamlı bir otokorelasyon barındırmaması ve beyaz gürültü özelliği göstermesi sebebiyle, ARIMA(2,1,4) modeli koyun üretimi serisindeki değişimleri tahmin etmek için yeterli bulunmuştur.

2023-2037 Yıllarında Koyun Eti Üretim Tahmini

Şekil 5'te 1961-2027 yılları koyun eti üretimi öngörüsü verilmiştir.



Şekil 5. 1961-2027 İran'ın koyun eti üretim tahmini (bin ton)

ARIMA(2,1,4) modeliyle elde edilen tahmin sonuçlarına göre, koyun üretimi miktarının 2023-2027 yıllarında 258.733, 254.835, 236.256, 241.082 ve 245.733 ton olacağı belirlenmiştir. FAOSTAT (2026), 2023 ve 2024 yıllarını 234.227 ve 236.074 ton olduğunu tespit etmiştir. ARIMA modelinin 2023 ve 2024 yılları için fiili duruma göre bir miktar daha yüksek öngörülerde bulunduğu belirlenmiştir.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada İran'ın 1961–2022 koyun eti üretim verileri ARIMA(2,1,4) modeliyle analiz edilmiş ve 2023–2027 yılları için üretim projeksiyonları yapılmıştır. İran'da koyun eti üretimi 1962'deki 113.000 tondan 1979'da 176.000 tona yükselirken, ardından 2019'da 116.484 tona gerileyen tarihi dalgalanmalar ortaya konmuştur. Çalışmada 2023 için öngördüğü 258.733 tonluk tahmin ile gerçek veri (237.479 ton) arasında yaklaşık %9'luk bir sapma görülse de seri başarıyla yansıtılmış, üretimin 2025'te 236.256 tona geriledikten sonra 2026'da 241.081 tona ve 2027'de 245.733 tona ulaşarak kademeli bir toparlanma sergileyeceği öngörülmüştür. Bu sonuçlar doğrultusunda, İran'ın koyun eti üretimini artırmak ve güvence altına almak için üreticileri desteklemesi, hastalık kaynaklı kayıpları önlemesi ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini önleyecek edecek dikkat çekici politikalar izlemesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Atlı, H. (2026). Tarım Tedarik Zincirinde Bulanık Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi Kullanılarak Tedarik Zinciri Risk Değerlendirmesi. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 13(2), 91-101.

Birthal, P.S., Taneja, V.K., 2012. Operationalizing the pro-poor potential of livestock: Issues and strategies. Indian Journal of Animal Sciences, 82(5): 441-447.

FAOSTAT, 2026. Statistics on both sheep numbers and meat production. http://www.fao.org/faostat/en/#data.

Hazarika, M., and Phukon, K.K., 2026. Development of ARIMA model for forecasting sugarcane production in Assam. Indian Journal of Agricultural Research, 59(6), 968-973.

Herman, G. A., and M. Steidle. 2014. 2nd International Conference on Trade and Market Development of Organic Producers. Iran Organic Association. Tehran, Iran.

Kaya, Z. ve Yurtseven, S., 2019. Şanlıurfa Küçükbaş Hayvancılığının Mevcut Durumu, Sorunları ve Çözüm Önerileri, 2. Uluslararası Erciyes Bilimsel Araştırmalar Kongresi, 27-29 Eylül, S.389-407, Kayseri.

Morris, S., and Montossi, F., 2026. Overview of sheep production systems. In Advances in sheep welfare (pp. 23-42). Woodhead Publishing.

Naghshbandi, F., Abbasi, E., Maghsoudi, A., Masoudi, A., and Vaez Torshizi, R., 2026. Beyond pastoralism: challenges and strategic solutions in Iranian sheep farming. Pastoralism: Research, Policy and Practice, 16, 15989, https://doi.org/10.3389/past.2026.15989.

Özbek, F.Ş., Ergişi, S., and Demir, İ., 2025. Forecasting Cattle Population: A Case Study of Türkiye. Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences, 12(2), 259-268.

Palabiçak, M.A., 2019. Türkiye'de kırmızı et sektörü ve geleceğe yönelik üretim ve tüketim dengesinin analizi (Yüksek lisans tezi). Harran Üniversitesi, Şanlıurfa.

Pan, P., and Yan, R., 2026. Forecast analysis of Shanghai medical service demand based on ARIMA model. Sci Rep 16, 16747, https://doi.org/10.1038/s41598-026-47940-6.

SAS Institute Inc. (2025). SAS 13.2 User's Guide: The ARIMA Procedure. SAS Institute. https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/ets/132/ARIMA.pdf.

Sevinç, G., Şahin, Z. ve Aydoğdu, M.H., 2022. Türkiye'nin küçükbaş hayvan varlığı ile süt üretimindeki gelişmelerin son dönemlerindeki trend analizi. ASR Journal, 35(7), 377-384.

Uzundumlu, A.S., and Demir, G., 2025. Türkiye koyun eti üretiminin 2023-2027 dönemi öngörüleri. Journal of Animal Science and Economics, 4(2), 75-80.

Zeder, M.A., 2008. Domestication and early agriculture in the Mediterranean Basin: Origins, diffusion, and impact. Proceedings of the National Academy of Sciences, 105(33), 11597–11604. https://doi.org/10.1073/pnas.0801317105.

YENİ ZELANDA'DA 2023-2027 YILLARINA DAİR KOYUN ETİ ÜRETİM PROJEKSİYONU

Ahmet Semih Uzundumlu[1] ve Gülsüm Demir[2]
[1]Prof. Dr. Atatürk Üniversitesi, Tarım İşletmeciliği, asuzsemi@atauni.edu.tr 0000-0001-9714-2053
[2]Yükseklisans Öğrencisi, Atatürk Üniversitesi, Tarım İşletmeciliği, demrglsm87@outlook.com, 0009-0008-9486-5756

Özet

Bu çalışmada Yeni Zelanda koyun eti üretimine dair uluslararası bir kuruluş olan FAOSTAT'tan elde edilen 1961-2022 yıllarındaki veriler ışığında 2023-2027 dönemi için koyun eti üretimi öngörüsü yapılması hedeflenmiştir. Buna yönelik eldeki veri grubu SAS istatistik programında ekonometrik bir yöntem olan ARIMA modelinde analize tabi tutulmuştur. Çalışmada elde edilen araştırma bulgularına göre 1961 yılında 457.000 ton koyun eti üretimi yapan Yeni Zelanda 1991 yılında 513.896 tona yükselmiştir. 2023 yılında ise 430.000 ton üretim gerçekleşmiş olup bu çalışmada ise bulunan ARIMA (5,1,1) modeli ile yaklaşık 437.000 ton üretim tahmin edilerek gerçekleşen üretimden %1,6 civarında sapma tespit edilmiştir. Bu öngörü sonucu ARIMA (5,1,1) modelinin Yeni Zelanda koyun eti üretimini yüksek derecede doğruluk ile yansıttığını göstermektedir. Ayrıca 2026 yılı için öngörülen miktar 438.732 ton ve 2027 yılı için ise 438.921 ton olarak tespit edilmiştir. Çalışma sonucu itibariyle Yeni Zelanda koyun eti üretiminde daha sürdürülebilir ve verimli bir süreç için uygulayacağı ulusal politikalarda üreticiye daha uzun vadeli teşvikler sunabilir ve koyun ıslahı çalışmalarını arttırarak verimli üretim sürecine katkı sağlayabilir. Diğer yandan ekstrem iklim olaylarına karşı alacağı tedbirler oluşabilecek kayıpları minimum seviyeye indirmesi açısından önemlidir.

Anahtar kelimeler: ARIMA, Koyun eti, Öngörü, Yeni Zelanda,

SHEEP MEAT PRODUCTION PROJECTION FOR NEW ZEALAND (2023–2027)

Abstract

The present study was conducted to predict the sheep meat production in New Zealand for the period of 2023–2027 based on the data from FAOSTAT, an international organization, for the years 1961 to 2022. The statistical software SAS was used for data analysis with the ARIMA econometric model. The results indicate that the production of sheep meat in New Zealand increased from 457,000 tons in 1961 to 513,896 tons in 1991. The actual production volume in 2023 was 430,000 tons, and the ARIMA (5,1,1) model developed in this study predicted the production volume to be approximately 437,000 tons, about 1.6% upper than the actual production volume. The results reveal that the ARIMA (5,1,1) model corresponds to New Zealand sheep meat production with high predictive accuracy. Further, the estimated

production volumes were calculated to be 438,732 tons in 2026 and 438,921 tons in 2027. National policies could provide long term incentives to producers in New Zealand to encourage a more sustainable and efficient sheep meat production process and to increase productivity through improved sheep breeding initiatives. Moreover, it is important to develop measures to address extreme weather events to reduce possible losses.

Keywords: ARIMA, Sheep meat, Forecasting, New Zealand

GİRİŞ

Beslenme, tarih boyunca insanların üretim biçimlerini, ticaret yapılarını ve sosyal ilişkilerini şekillendiren temel faktör olarak dikkati çekmiştir. Ancak küresel nüfusun hızla artmasıyla birlikte gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler arasındaki üretim ve kaynak dağılımındaki eşitsizlikler derinleşmiş ve dünya genelinde milyonlarca insanı açlık ve yetersiz beslenme riskiyle karşı karşıya bırakmıştır (Gürer, 2021). FAO'nun verilerine göre dünya nüfusunun %25,8'ini oluşturan yaklaşık 2,1 milyar insanın düzenli ve yeterli gıdaya erişemediği günümüzde (FAO, 2025), savaşlar, ekonomik krizler, arz zincirindeki bozulmalar ve gıda fiyatlarındaki dalgalanmalar gibi faktörler "gıda güvencesi" kavramını küresel gündemin merkezine taşımıştır (Koç ve Uzmay 2015). FAO'nun çerçevesini belirlediği gıda güvencesi; gıdanın fiziksel olarak mevcut olması, erişilebilirliği, beslenme açısından uygun şekilde kullanılabilirliği ve bu unsurların zaman içinde istikrarlı olması boyutlarından oluşmaktadır (FAO 2008; Koç ve Uzmay 2019). Dünyanın bir kesimi obezite vb. rahatsızlıklarla mücadele ederken, geniş bir kitle kronik açlık riski altında dahası nüfus artışı, yalnızca günümüz toplumlarının değil gelecek nesillerin de gıda güvencesini tehdit edecek duruma gelmiştir (Gritzner 2009; Thompson 2015).

Refah düzeyi yüksek toplumlarda hayvansal gıdalara yönelim daha fazla olup bu nedenle beslenme yapısı toplumların ekonomik gelişmişlik seviyeleri hakkında önemli ipuçları verebilmektedir (Fidan, 2021). İnsan sağlığının korunmasında ve yaşam kalitesinin yükseltilmesinde hayvansal gıdaların önemi büyüktür (Dodurka vd., 2023). Özellikle sadece hayvanlarda bulunan B12 vitamini, demir ve çinko gibi bitkisel kaynaklarda bulunmayan ya da vücut tarafından düşük oranda emilen kritik mikro besin öğelerinin temel kaynağı olan hayvansal gıdalar, yüksek biyolojik değere sahip proteinler ve esansiyel amino asitler içermesi nedeniyle sağlıklı beslenme için gereklidir (Özlü ve Ercoşkun, 2021). İçeriğinde yüksek protein ve beyinsel gelişim için gerekli amino asitleri barındıran kırmızı et bedensel ve zihinsel olarak sağlıklı bir gelişim için tüketilmesi gereken temel gıdaların başında gelmektedir (Denktaş, 2017). Bununla birlikte tarım ve hayvancılık sektörü; iklim değişikliği, ekstrem hava olayları

ve su kaynaklarındaki baskılar nedeniyle kırılgan hâle gelirken (Koyuncu, 2017), koyun ve sığır gibi hayvan yetiştiriciliğinde bağırsak fermantasyon ve gübre kaynaklı sera gazı salınımları fazla olup (Vetter et al., 2017) çevresel sürdürülebilirlik açısından döngüsel tarım ve yenileyici veya onarıcı otlatma gibi yöntemlerin hayata geçirilmesini zorunlu kılmaktadır (Aydın, 2023).

Koyunculuk, dünyanın birçok bölgesinde hayvancılık sektörünün önemli alt dallarından biri olup, insanlara et ve süt gibi temel hayvansal ürünlerin yanı sıra yün, deri ve gübre gibi çeşitli yan ürünler de sağlamaktadır (Kaya ve Yurtseven, 2019; Sevinç vd., 2022). 2020-2024 dönemi ortalama verilerine göre küresel koyun eti üretimi 11,12 milyon ton olup Çin %23,66'lık payı ile ilk sırada yer alırken, onu Hindistan (%9,54), Avustralya (%6,84), Türkiye (%4,13) ve Yeni Zelanda (3,97) ile takip etmektedir (FAOSTAT, 2026).

Yeni Zelanda, elverişli iklim koşulları, geniş mera alanları ve uzun yıllara dayanan tecrübe ile dünya koyun yetiştiriciliğinde önemli konumda olup üretim büyük ölçüde meraya dayalı yürütülmektedir (Mazzetto et al., 2023). 1960'ların sonunda 60 milyon baş koyun üretimi (553.800 ton koyun eti), 1982 yılındaki yaklaşık 70 milyon başlık (622.600 ton koyun eti) zirve seviyesinden 2024 itibarıyla yaklaşık 23,58 milyon başa gerilemiş olsa da, genetik ıslah, kuzu doğum oranındaki artış nedeni ile koyun eti üretimi 449.606 ton olmuştur (Moot et al., 2021; FAOSTAT, 2026). Yeni Zelanda koyun eti sektörü büyük ölçüde dış pazarlara odaklı bir yapı arz etmekte olup 2020-2024 yıllarında üretilen koyun etinin yaklaşık %73,69'u ihraç edilmiştir (FAOSTAT, 2026).

Son yıllarda Yeni Zelanda'da koyun yetiştiriciliğine ilişkin akademik çalışmalarda Morris ve Kenyon (2014) meraya dayalı sistemlerin verimlilik ve çevreye etkilerini incelerken, Moot ve Davison (2021) hayvan sayısındaki azalmaya karşın genetik ve karkas ağırlığı artışlarının üretimi nasıl desteklediğini, Caradus et al. (2023) ise mera hayvancılığında teknolojik ilerlemelerin ekonomik başarıdaki rolünü vurgularken, Mazzetto et al. (2023) ise sığır ve koyun etinin karbon ayak izini analiz etmiştir. Mevcut literatür incelendiğinde, Yeni Zelanda'nın uzun dönemli verilerini kullanarak geleceğe yönelik bir tahmine yönelik çalışmaya ulaşılamadığı için bu çalışmanın literatüre katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı 1961–2022 dönemini kapsayan verilerle Yeni Zelanda'nın 2023–2027 yıllarına ilişkin koyun eti üretim projeksiyonlarını ARIMA modeli ile belirlemektir. Bu nedenle elde edilen sonuçların başta üretici ve ihracatçılar olmak üzere yatırımcı ve politikacıların karar süreçlerini desteklemede önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

MATERYAL ve YÖNTEM

Materyal

Bu araştırmanın temelini, FAOSTAT veri tabanından derlenen Yeni Zelanda'nın 1961-2022 dönemi 62 yıllık eksiksiz koyun eti üretim verileri oluşturmaktadır. Ayrıca literatür taraması kapsamında makale, tez ve kitap gibi ikincil kaynaklardan yararlanılmıştır.

Yöntem

Yeni Zelanda'nın 1961-2022 dönemi koyun eti üretim verileri FAOSTAT'tan alınarak Excel'de SAS 9.4 programına uyarlanmıştır. Yıllık değişimleri incelemek ve 2023-2027 yılları için projeksiyon üretmek amacıyla SAS'ta ARIMA modelleri kurularak en uygun model AIC ve BIC dahil 8 farklı kritere göre seçilmiştir. Hesaplama, model çıktıları ve tahminlerin görselleştirilmesi süreçlerinde ise Excel'den faydalanılmıştır.

ARIMA Tahmin Yöntemi

Zaman serisi analizinde gelecekteki eğilimleri öngörmek için kullanılan ARIMA modeli, değişkenin kendi geçmiş değerlerine bağımlılığını ifade eden otoregresyon (p), durağanlaştırma derecesi (d) ve geçmiş tahmin hatalarını hesaba katan hareketli ortalama (q) olmak üzere üç temel bileşenden oluşur (Szostek et al., 2024). Literatürde Box-Jenkins yöntemi olarak da anılan ARIMA (p,d,q) modeli (Wilson, 2016), verileri durağanlaştırmak amacıyla AR (p), MA(q) ve d dereceden fark alma işlemlerini uygulayarak varyanstaki istikrarı sağlamak için Box-Cox dönüşümünden yararlanmaktadır (Santosa et al., 2024).

ARIMA modelinin etkin bir şekilde uygulanabilmesi ve güvenilir sonuçlar elde edilebilmesi için belirli aşamalar takip edilmiştir.

1. Veri Toplama ve Düzenleme: FAOSTAT'tan sağlanan ham veriler Excel ortamında düzenlenerek SAS 9.4 programında analize uygun yapıya dönüştürülmüştür.

2. Durağanlık: Serinin analize uygunluğunu değerlendirmek için ADF durağanlık testleri yardımı ile ve verilerin fark alınmadan oluşan grafiği incelenerek oluşan birim kök sorununa seriyi durağanlaştırmak amacıyla verilerin birinci dereceden fark alma işlemi yapılarak grafiksel olarak verilerin durağanlaştığı tespit edilmiştir.

3. Model Kurulumu ve Seçimi: Model belirleme aşamasında geleneksel olarak otokorelasyon (ACF) ve kısmi otokorelasyon (PACF) fonksiyonlarından yararlanılırken (Tortum vd., 2014); bu çalışmada SAS programındaki SCAN (Smallest Canonical Correlation) ve ESACF (Extended Sample Autocorrelation Function) yöntemleri aracılığıylada en uygun alternatif modeller tespit edilmiştir (Uzundumlu ve Demir, 2025). Modellerin karşılaştırılmasında Akaike Bilgi Kriteri (AIC) ve Bayesyen Bilgi Kriterini de (BIC) içeren 8 kritere bakılmış, Ortalama Kare Hata (MSE), ve Ortalama Mutlak Hata (MAE), Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE), Durbin-Watson (DW), ve Hannan-Quinn Kriteri (HQC) ve R-kare (R^2) değerlerine

bakarak DW 2,00 a yakınlığı kontrol ederek; R-kare (R^2) değeri ne kadar yüksekse ve diğer 6 kriteri ne kadar küçük ise o modelin iyi olduğunu göstermektedir. Bu ölçütlerin tamamı birlikte değerlendirilerek en fazla kriteri sağlayan model, en uygun model olarak seçilmiştir (Uzundumlu and Dilli, 2023).

Teşhis ve Kontrol: Bu aşamada öncelikle model katsayılarının anlamlılığı incelenerek kalıntıların otokorelasyon içermediği ve beyaz gürültü özelliği taşıdığı Ljung-Box testi ile kontrol edilmiştir. Ayrıca kalıntıların normal dağılıma uygunluğu Histogram ve Q-Q Plot grafikleri yardımıyla değerlendirilmiştir (SAS, 2025).

En Uygun Modeli Uygulama: İstatistiksel varsayımları, katsayı anlamlılığı testlerini ve detaylı kalıntı analizlerini başarıyla tamamlayan aday model, geleceğe yönelik güvenilir öngörüler üretmek üzere en uygun ve nihai model olarak tespit edilmiştir.

ARIMA modelinin denklemi (1)'deki gibidir.

$$1 - a_1B^1 - a_2B^2 \ldots - a_PB^P) * (1 - B)^d y_t = (1 - \theta_1B^1 - \theta_2B^2 - \ldots . - \theta_qB^q)\varepsilon_t \quad (1)$$

$(1 - B)^d$ terimini d'ninci derece fark alma işlemi olup, $(1 - B)^d\, y_t$ ifadesi ise d= 1 için B $y_t = y_{t-1}$ şeklinde yazılabilmektedir. p=5, d=1 ve q=1 olması durumundaki modeli ARIMA (5,1,1) yani

$$1 - a_1B^1 - a_2B^2 - a_3B^3 - a_4B^4 - a_5B^5) * (1 - B)^1 y_t = (1 - \theta_1B^1)\varepsilon_t$$

ARAŞTIRMA BULGULARI

Verilerin Durağan Olup Olmadığını Belirlemek

Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) ile durağanlık testi

Tablo 1. *ADF Testleri*

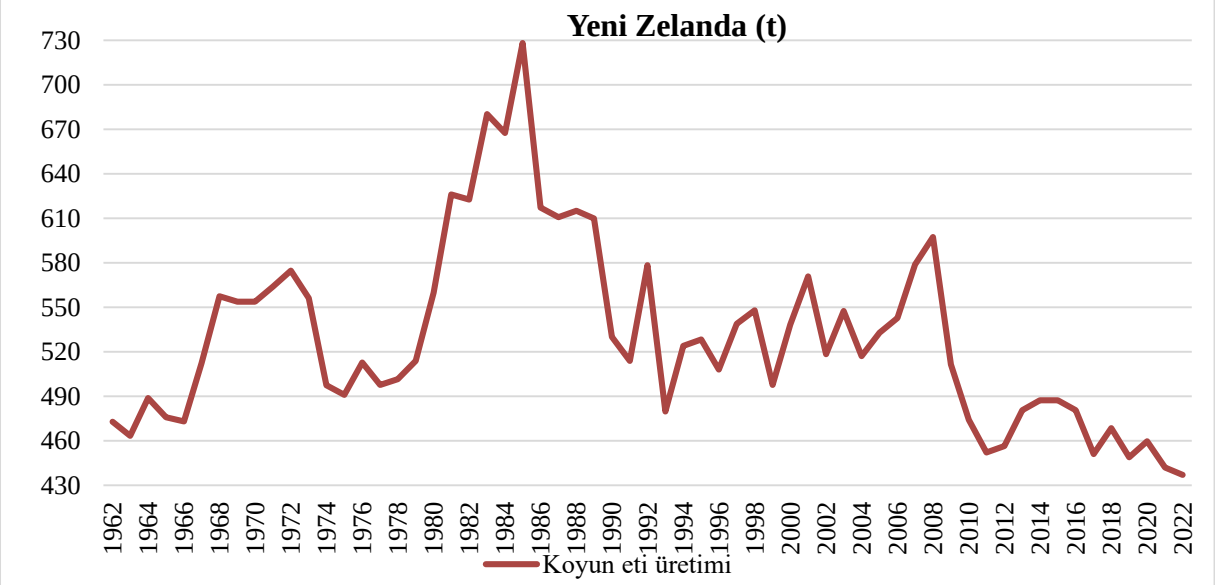
Type	Gecikmeler	Rho	Pr < Rho	Tau	Pr < Tau	F	Pr > F
Zero Mean	5	2413,262	0,9999	-3,54	0,0006		
	6	182,8686	0,9999	-3,41	0,0010		
	7	44,7963	0,9999	-3,67	0,0004		
	8	54,3727	0,9999	-3,01	0,0033		
Single Mean	5	2300,731	0,9999	-3,51	0,0111	6,18	0,0120
	6	182,5596	0,9999	-3,39	0,0154	5,82	0,0197
	7	44,8850	0,9999	-3,65	0,0075	6,74	0,0010
	8	53,9008	0,9999	-3,00	0,0409	4,56	0,0587
Trend	5	197,9138	0,9999	-3,70	0,0308	6,84	0,0408
	6	98,3001	0,9999	-3,48	0,0518	6,13	0,0677
	7	36,6955	0,9999	-3,82	0,0232	7,34	0,0277

Type	Gecikmeler	Rho	Pr < Rho	Tau	Pr < Tau	F	Pr > F
	8	37,6421	0,9999	-3,17	0,1024	5,05	0,1827

Not: ADF test çıktısında p-değeri 0,44692 (p > 0,05)

"Zero mean" (sıfır ortalama), "single mean" (sabitli) ve "trend" (trendli) aşamalarından oluşan birim kök testinde, Yeni Zelanda serisinin durağanlık yapısını incelemek amacıyla 5, 6, 7 ve 8 gecikmeli terimler modele dâhil edilmiştir. Tablo 1'deki sonuçlarda birçok gecikmelerde p değerlerinin 0,05'in altında çıktığı görülse de, bütüncül değerlendirme ve ek test çıktılarına göre p değerinin 0,44692 gibi 0,05'ten oldukça yüksek gerçekleşmesi, serinin temel seviyede durağan olmadığını ve birim kök içerdiğini doğrulamaktadır. Bu nedenle, serideki birim kök sorununu ortadan kaldırmak ve güvenilir sonuçlar elde etmek için birinci farkı alınarak analizlere devam edilmiştir.

t ve t-1 grafikleri ile durağanlık testi

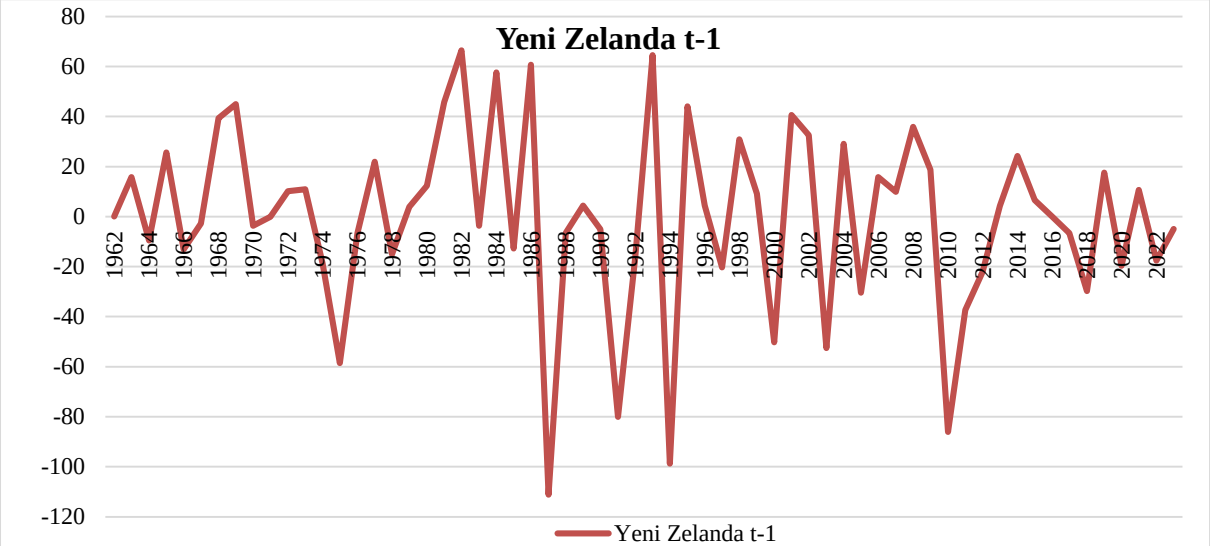


Şekil 3. 1961-2022 Yeni Zelanda koyun eti üretimi (bin ton)

Şekil 1'deki Yeni Zelanda'nın 1961-2022 yılları arasındaki koyun eti üretim serisine ait grafik incelendiğinde, üretim miktarının yıllar itibarıyla dalgalı bir seyir izlediği, dönemsel olarak artış ve azalışlar gösterdiği bu nedenle serilerin durağanmış gibi bir izlenim vermektedir. Ancak serinin verileri hiçbir zaman 0'a düşmediği için bu doğrultuda gerçekleştirilen ADF birim kök testi sonucunda, elde edilen 0,44692 düzeyindeki p değerinin %5 anlamlılık seviyesinin üzerinde kaldığı görülmüştür. Bu bulgu, serinin birim kök barındırdığını ve seviye değerinde durağan olmadığını açıkça ortaya koymaktadır.

Durağan olmadığı belirlenen serinin ARIMA modelleri için uygun hale getirmek amacıyla birinci fark alma işlemi uygulanmıştır. Bu doğrultuda, Şekil 2'de 1 dereceli fark alma işlemi uygulanmış 1961-2022 koyun eti üretim serisi verilmiştir.

Şekil 2'de 1 dereceli fark alma işlemi uygulanmış 1961-2022 koyun eti üretim serisi verilmiştir.



Şekil 4. Durağanlaştırılmış Yeni Zelanda koyun eti üretimi (bin ton)

Verinin birinci farkı alındığında serideki trend ortadan kalkarak seri, sabit bir ortalama ve varyans etrafında dengeli bir şekilde dalgalanarak belirli bir denge etrafında kümelendiği durağan bir yapıya kavuştuğu görülmektedir.

En Uygun Modeli Belirleme

Tablo 2'de p ve q değerlerine göre sıralama ölçüt testleri verilmiştir.

Tablo 2. p ve q Değerlerine Göre Sıralama Ölçüt Testleri

p	q	MSE	SBC (BIC)	MAE	MAPE	DW	AIC	HQC	R^2
0	0	13,82	1 412	27,80	121,24	2,00	1 410,19	1 411,00	0,59
3	2	13,73	1 411	27,83	120,51	2,01	1 409,82	1 410,63	0,59
4	1	13,83	1 412	27,81	119,81	1,99	1 410,22	1 411,03	0,50
5	1	13,63	1 411	27,77	113,20	1,99	1 409,38	1 410,19	0,50

Not: MSE değerleri 10^8 ve MAE değerleri 10^3 ile çarpılmalıdır

Birinci farkı alınarak durağanlaştırılan seri için en uygun ARIMA modelini belirlemek amacıyla 4 alternatif model test edilmiştir. Bu bağlamda, Tablo 2'deki değerler dikkate alındığında, 8 kriterin 6'sında en iyi performansı gösteren ARIMA (5,1,1) modeli, en uygun model olarak öne çıkmaktadır.

Teşhis ve Kontrol

Model katsayılarının anlamlılığı

Tablo 3. Koşullu En Küçük Kareler Tahminleri

Parametreler	Tahmin	Standard Hata	t Değeri	p	Gecikme
MU	-348,72226	3433,0	-0,10	0,9194	0
MA	0,20086	0,12880	1,56	0,1243	1
AR	-0,11639	0,13110	-0,89	0,3783	5

Tablo 3'te yer alan model katsayılarına ait p değerleri incelendiğinde, bireysel katsayıların istatistiksel olarak anlamsız (> 0,05) olduğu görülmektedir. Ancak zaman serisi analizlerinde model seçiminde yalnızca katsayıların anlamlılığı değil ayrıca bilgi kriterleri (AIC/BIC) ve hata terimlerine yönelik otokorelasyonun olmaması, artıkların beyaz gürültü süreci gibi tanı testlerinin başarısı kritik bir rol oynamaktadır.

Kalıntıların otokorelasyon kontrolü

Tablo 4'te kalıntıların otokorelasyon kontrolü verilmiştir.

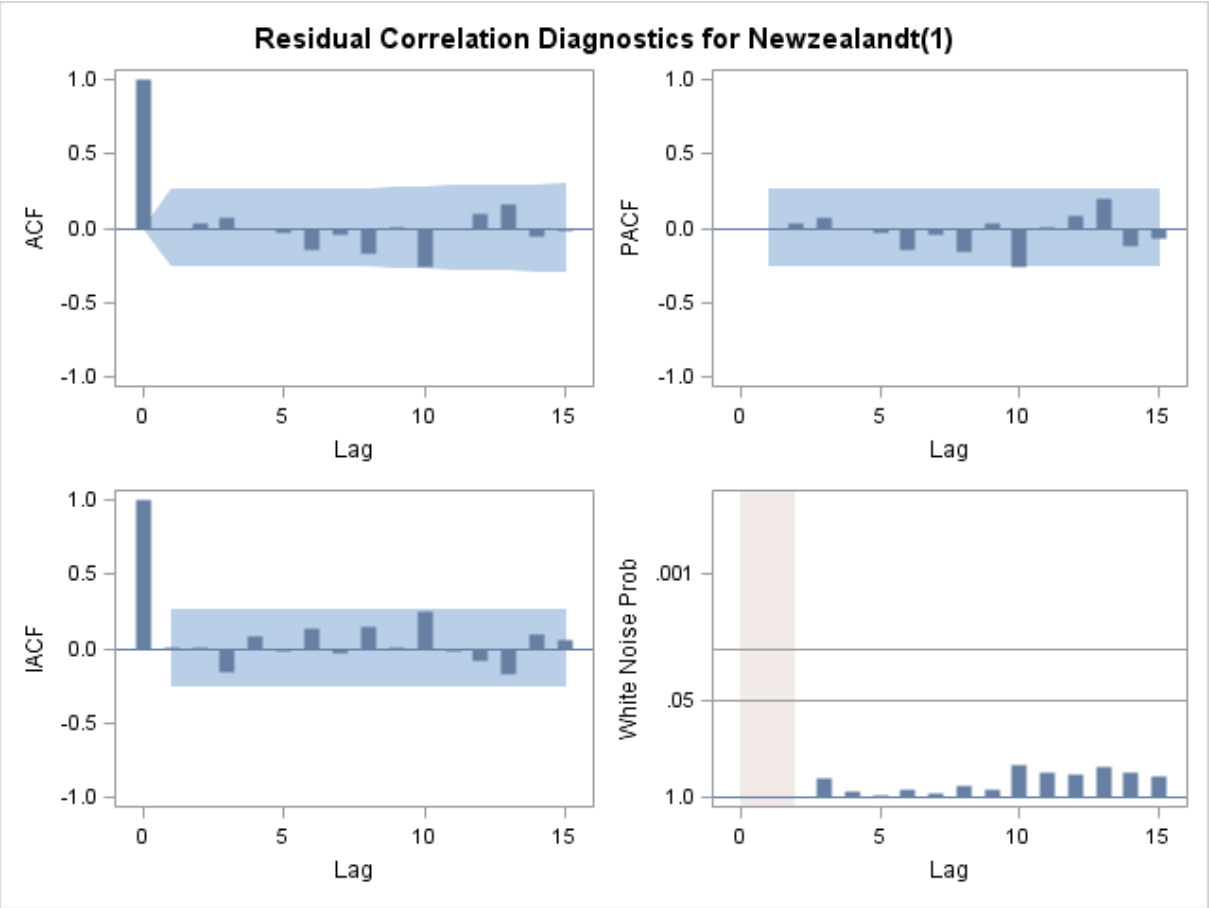
Tablo 4. Kalıntıların Otokorelasyon Kontrolü

Gecikme	Chi-Sq	DF	Pr > ChiSq	Otokorelasyon					
6	1,77	4	0,7781	-0,009	0,032	0,065	-0,002	-0,029	-0,139
12	9,61	10	0,4752	-0,039	-0,170	0,011	-0,254	-0,002	0,099
18	16,34	16	0,4295	0,161	-0,056	-0,022	0,225	-0,003	0,014
24	17,51	22	0,7348	0,020	0,065	-0,004	-0,072	0,027	0,038

Tablo 4 sonuçlarına göre, tüm p-değerlerinin %5 anlamlılık düzeyinden büyük olması, artıklarda anlamlı bir otokorelasyon bulunmadığını göstermektedir. Ayrıca otokorelasyon katsayılarının $\left|\frac{2}{\sqrt[2]{62)}}\right| = \pm$ 0,254 kritik sınırları içinde kalması, kalıntıların beyaz gürültü sürecine uygun olduğunu kanıtlamaktadır.

Kalıntıların beyaz gürültü kontrolü

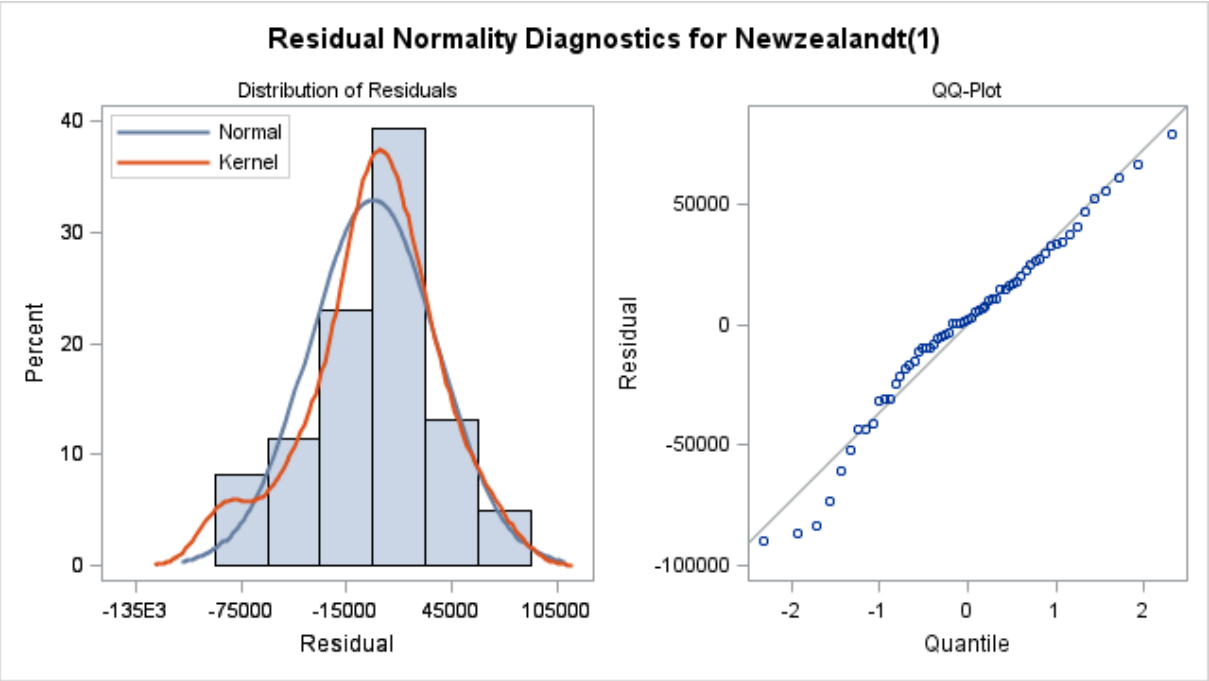
Şekil 3'te kalıntı korelasyon göstergeleri verilmiştir.



Şekil 3. Kalıntı korelasyon göstergeleri

ARIMA (5,1,1) modeline ait kalıntı korelasyon tanı testlerini gösteren grafikler incelendiğinde, ACF, PACF ve IACF grafiklerindeki çubukların büyük ölçüde güven aralığında kalması model artıklarında anlamlı bir otokorelasyon bulunmadığını göstermektedir. Ayrıca, beyaz gürültü testi p-değerlerinin %5 anlamlılık düzeyinin üzerinde çıkması, artıklar arasında hiçbir bağımlılık kalmadığını ve serinin başarıyla beyaz gürültüye dönüştüğünü ortaya koyarak modelin tanı testlerinden başarıyla geçtiğini doğrulamaktadır.

Şekil 4'te kalıntı normalliği göstergeleri verilmiştir.

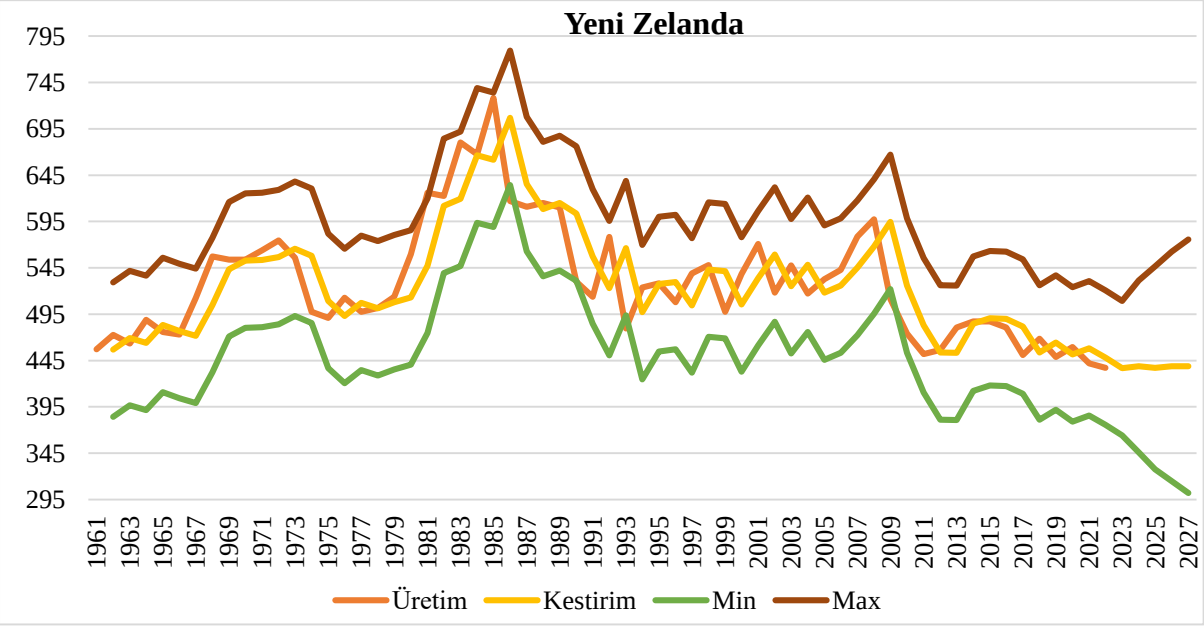


Şekil 4. Kalıntıların normallik kontrolü

Şekil 4'te artıkların normal dağılıma uygunluğunu göstermekte olup önceki testlerde bireysel katsayılar istatistiksel olarak zayıf kalsa da diğer tanı testlerinden başarıyla geçen ARIMA (5,1,1) modeli, en uygun tahmin modeli olarak kabul edilmiştir.

2023-2037 Yıllarında Koyun Eti Üretim Tahmini

Şekil 5'te 1961-2027 yılları koyun eti üretimi öngörüsü verilmiştir.



Şekil 5. 1961-2027 Yeni Zelanda'nın koyun eti üretim tahmini (bin ton)

ARIMA (5,1,1) modeliyle elde edilen tahmin sonuçlarına göre, koyun üretimi miktarının 2023-2027 yıllarında sırasıyla 436.812, 438.706, 437.073, 438.732 ve 438.922 ton olacağı öngörülmüştür. FAOSTAT (2026), 2023 ve 2024 yıllarını 429.940 ve 449.606 ton olduğunu

tespit etmiştir. ARIMA modelinin 2023 yılı için öngördüğü 436.812 tonluk üretim, yaklaşık %1,60 oranında pozitif sapma gösterirken; 2024 yılı için öngörülen 438.706 tonluk üretim ise yaklaşık %-2,42 oranında negatif sapma sergilemiştir. Bu oranlar oldukça düşük olup modelin gerçek değerlere yakın ve başarılı tahminler ürettiğini doğrulamaktadır.

SONUÇ ve ÖNERİLER

Bu çalışmada Yeni Zelanda'nın 1961–2022 dönemi koyun eti verileri kullanılarak ARIMA (5,1,1) modeliyle analiz edilerek 2023–2027 yılları için üretim öngörülerinde bulunulmuştur. Üretim miktarının 1961'de 457.000 tondan 1991'de 513.896 tona yükseldiği, 2026'da 438.732 ton ve 2027'de 438.921 ton olmasının beklendiği tespit edilmiştir. Modelin 2023 ve 2024 yılı öngörüleri fiili FAOSTAT verileriyle kıyaslandığında sırasıyla yaklaşık %1,60 pozitif ve %-2,42 negatif sapma gösterdiği bu düşük oranlar modelin yüksek öngörü doğruluğunu kanıtlamıştır. Elde edilen bulgular doğrultusunda 2030'lara doğru üretimdeki azalmaların nispeten kırılarak 440.000 ton bandına yaklaşarak sürdüreceği bu nedenle sürdürülebilir ve verimli üretimi teşvik etmek için ihracatta çok önemli payı olan Yeni Zelanda'nın ulusal politikalarla destekler sağlayarak, verimdeki başarısını koruyarak ve aşırı hava olaylarının yol açabileceği kayıplara karşı tedbirler alarak bu üretimimi koruyacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Aydın, A., 2023. Tarım Sektöründen Kaynaklı Sera Gazı Emisyonlarının Hesaplanması; Enterik Fermantasyon. Uluslararası Gıda Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi, 3(1), 40-54.

Denktaş, S., 2017. Increasing of Functionality Meat and Meat Products. Kocatepe Veterinary Journal, 10(2), 106-117.

Dodurka, H.T. Özmen, H.F. ve Çetin, Ö., 2023. Hayvansal Gıdaların Sürdürülebilirliği Ve Çevreye Olan Etkisi. İstanbul Rumeli Üniversitesi Sağlık Bilimleri Dergisi, 2(1), 82-94.

FAO, 2008. An Introduction to the Basic Concepts of Food Security, http://www.fao.org/3/a-al936e.pdf. Accesed Date: December 2025.

FAO, 2025. Hunger and food insecurity. Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/hunger/en. Accesed Date: September 2026.

FAOSTAT, 2026. Statistics on both sheep numbers and meat production. http://www.fao.org/faostat/en/#data.

Fidan, N. (2021). Kırmızı Et Bakımından Gıda Güvencesi. Uluslararası Anadolu Ziraat Mühendisliği Bilimleri Dergisi, 3(4), 94-101.

Gritzner, C.F., 2009. Feeding a hungry world. Infobase Publishing.

Gürer, B., 2021. Türkiye'de Nüfusun Yeterli ve Dengeli Beslenmesi Açısından Hayvansal Gıda Arz ve Talebinin Değerlendirilmesi. Gıda, 46(6), 1450-1466.

Kaya, Z. ve Yurtseven, S., 2019. Şanlıurfa Küçükbaş Hayvancılığının Mevcut Durumu, Sorunları ve Çözüm Önerileri, 2. Uluslararası Erciyes Bilimsel Araştırmalar Kongresi, 27-29 Eylül, S.389-407, Kayseri.

Koç, G. ve Uzmay, A., 2015. Gıda Güvencesi ve Gıda Güvenliği: Kavramsal Çerçeve, Gelişmeler ve Türkiye. Tarım Ekonomisi Dergisi, 21(1 ve 2), 39-48.

Koç, G. ve Uzmay, A., 2019. Küresel gıda güvencesinin izlenmesi ve haritalanması üzerine bir değerlendirme, Adnan Menderes Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 16(2): 237-244.

Koyuncu, M., 2017. Global Climate Change and Animal Husbandry. Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences, 31(2), 98-106.

Mazzetto, A.M., Falconer, S., and Ledgard, S., 2023. Carbon footprint of New Zealand beef and sheep meat exported to different markets. *Environmental Impact Assessment Review, 98*, 106946. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2022.106946.

Moot, D. J., & Davison, R. (2021). Changes in New Zealand red meat production over the past 30 yr. *Animal Frontiers, 11*(4), 26–31. https://doi.org/10.1093/af/vfab027.

Özlü, S. ve Ercoşkun, H., 2021. Et ve Sağlıklı Beslenme. Gıda ve Yem Bilimi Teknolojisi Dergisi (25), 15-29.

Santosa, R. G., Chrismanto, A. R., Raharjo, W. S., & Lukito, Y. (2024). Lq45 stock price forecasting: a comparison study of ARIMA (p, d, q) and holt-winter method. International Journal of Information Technology and Computer Science Applications (IJITCSA), 2(2), 115-129.

SAS (2025). SAS 13.2 user's guide: The ARIMA procedure. https://support.sas.com/documentation/onlinedoc/ets/132/ARIMA.pdf. (Erişim Tarihi: 16.09.2026)

Sevinç, G., Şahin, Z. ve Aydoğdu, M.H., 2022. Türkiye'nin küçükbaş hayvan varlığı ile süt üretimindeki gelişmelerin son dönemlerindeki trend analizi. ASR Journal, 35(7), 377-384.

Szostek, K., Mazur, D., Drałus, G. And Kusznier, J., 2024. Analysis of the Effectiveness of ARIMA, SARIMA, and SVR Models in Time Series Forecasting: A Case Study of Wind Farm Energy Production. Energies (19961073), 17(19), https://doi.org/10.3390/en17194803.

Thompson, P.B., 2015. From world hunger to food sovereignty: Food ethics and human development. Journal of Global Ethics, 11(3), 336–350.

Tortum, A., Gözcü, O. ve Çodur, M.Y., 2014. Türkiye'de hava ulaşım talebinin ARIMA modelleri ile tahmin edilmesi. Journal of the Institute of Science and Technology, 4(2), 39-54.

Uzundumlu, A.S. ve Demir, G. (2025). Türkiye koyun eti üretiminin 2023-2027 dönemi öngörüleri. Journal of Animal Science and Economics, 4(2), 75-80.

Uzundumlu, A.S., and Dilli, M., 2023. Estimating chicken meat productions of leader countries for 2019-2025 years. Ciência Rural, 53(2), https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20210477.

Vetter, S.H., Sapkota, T.B., Hillier, J., Stirling, C.M., Macdiarmid, J.I., Aleksandrowicz, L., ... and Smith, P., 2017. Greenhouse gas emissions from agricultural food production to supply Indian diets: Implications for climate change mitigation. Agriculture, ecosystems and environment, 237, 234-241.

Wilson, G.T., 2016. Time Series Analysis: forecasting and Control, 5th edition, by George E. P. Box, Gwilym M. Jenkins, Gregory C. Reinsel and Greta M. Ljung, 2015. Published by John Wiley and Sons Inc., Hoboken, New Jersey, pp. 712. ISBN: 978-1- 118-67502-1. J. Time Ser. Anal. 37, 709–711. https://doi.org/10.1111/jtsa.12194.

ANTOSİYANİNLERİN GIDA SİSTEMLERİNDE KULLANIMI: STABİLİTE SORUNLARI VE YENİ NESİL KORUMA TEKNOLOJİLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Zehra GÜNEL
Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Gıda Teknolojisi Bölümü, Kadirli/Osmaniye
E-posta: zehragunel@osmaniye.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-3431-7984

ÖZET

Antosiyaninler kırmızı, mor ve mavi renkli çok sayıda meyve, sebze ve tahılda bulunan suda çözünebilen flavonoid pigmentlerdir. Temiz etiket eğilimi ve sentetik renklendiricilere alternatif arayışı, antosiyaninlerin gıda sistemlerindeki önemini artırmıştır. Bununla birlikte antosiyaninlerin yapısal dönüşümlere açık olması; pH, sıcaklık, ışık, oksijen, metal iyonları, enzimler ve gıda matrisi bileşenlerinin etkisiyle renk ve biyolojik aktivite kaybına yol açabilmektedir. Bu derlemede antosiyanin stabilitesini belirleyen temel içsel ve dışsal faktörler ile yeni nesil koruma yaklaşımları güncel literatür ışığında değerlendirilmiştir. Kopigmentasyon, protein ve polisakkaritlerle kompleks oluşturma, yapısal modifikasyon, mikroenkapsülasyon, nano-taşıyıcı sistemler, liposomlar, hidrojeller ve kontrollü salım sistemleri antosiyaninlerin korunmasında öne çıkan stratejilerdir. Güncel kanıtlar tek bir stabilizasyon yönteminin tüm gıda matrisleri için yeterli olmadığını; antosiyanin yapısı, hedef pH, su aktivitesi, proses sıcaklığı, depolama koşulları ve taşıyıcı-gıda etkileşimlerinin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Ayrıca stabilitenin yalnız toplam antosiyanin miktarı üzerinden değil, renk parametreleri, bozunma ürünleri, biyoyararlanım ve duyusal kaliteyle birlikte izlenmesi önem taşımaktadır. Sonuç olarak antosiyaninlerin endüstriyel kullanımında geleceğin yaklaşımı, mekanizma temelli ve matrise özgü koruma sistemlerinin geliştirilmesidir.

Anahtar Kelimeler: Antosiyanin, stabilite, kopigmentasyon, mikroenkapsülasyon, nanoenkapsülasyon, doğal renklendirici

USE OF ANTHOCYANINS IN FOOD SYSTEMS: STABILITY CHALLENGES AND NEXT-GENERATION PROTECTION TECHNOLOGIES

ABSTRACT

Anthocyanins are water-soluble flavonoid pigments responsible for the red, purple, and blue colours of many fruits, vegetables, and cereals. The clean-label trend and demand for alternatives to synthetic colourants have increased their relevance in food applications. However, anthocyanins readily undergo structural transformations, and exposure to pH changes, heat, light, oxygen, metal ions, enzymes, and food-matrix components can cause colour loss and degradation of bioactive properties. This review evaluates the major intrinsic and extrinsic determinants of anthocyanin stability and recent protection technologies.

Copigmentation, complexation with proteins and polysaccharides, structural modification, microencapsulation, nano-delivery systems, liposomes, hydrogels, and controlled-release platforms are among the most prominent strategies. Current evidence indicates that no single stabilization method is universally effective across food matrices. Anthocyanin structure, target pH, water activity, processing temperature, storage conditions, and carrier–matrix interactions should be considered together. Stability should also be monitored using a multidimensional approach including anthocyanin retention, colour parameters, degradation products, bioaccessibility, and sensory quality rather than relying on total anthocyanin concentration alone. Overall, future industrial applications require mechanism-based and matrix-specific protection systems that combine effective stabilization with food-grade materials, scalable processing, regulatory suitability, and acceptable sensory properties.

Keywords: anthocyanin, stability, copigmentation, microencapsulation, nanoencapsulation, natural colorant

GİRİŞ

Antosiyaninler flavonoid ailesine ait, bitkilerde yaygın olarak bulunan suda çözünebilen pigmentlerdir. Siyah havuç, kırmızı lahana, üzüm, böğürtlen, yaban mersini, vişne, mor mısır ve mor patates gibi gıdalarda farklı antosiyanin profilleri bulunur. Gıda endüstrisi açısından antosiyaninlerin en belirgin avantajı, doğal renklendirici işlevleri ile fenolik bileşik özelliklerini aynı moleküler grupta birleştirmeleridir. Tüketicilerin daha kısa bileşen listelerine ve doğal kaynaklı renklendiricilere yönelmesi, antosiyaninleri özellikle içecekler, süt ürünleri, şekerlemeler, fırıncılık ürünleri ve akıllı ambalaj sistemleri için cazip hale getirmiştir (Yücetepe et al., 2024).

Buna karşın antosiyaninlerin gıda uygulamalarındaki temel sınırlılığı kimyasal kararlılıklarının düşük olmasıdır. Antosiyanin rengi molekülün yalnız konsantrasyonuna değil, pH'ya bağlı olarak değişen yapısal formlarına da bağlıdır. Asidik koşullarda kırmızı flavylium katyonu baskınken pH yükseldikçe kinoidal baz, karbinol psödobaz ve kalkon gibi farklı formlar oluşabilir. Bu dönüşümler renk tonu ve yoğunluğunda belirgin değişikliklere neden olur. Ahmed, Zhang ve Xiong (2026), antosiyaninlerin stabilitesinde hidroksilasyon, metoksilasyon, glikozilasyon ve açilasyon gibi yapısal özelliklerin önemli olduğunu; özellikle açillenmiş ve daha rijit yapılı türevlerin belirli koşullarda daha yüksek direnç gösterebildiğini vurgulamıştır. Stabilite problemi yalnız pH ile sınırlı değildir. Isıl işlem, ışık, çözünmüş oksijen, askorbik asit, metal iyonları, şekerler, enzimler ve su aktivitesi renk kaybını hızlandırabilir. Bu faktörler birbirinden bağımsız da değildir; örneğin yüksek sıcaklık oksidatif reaksiyonları

hızlandırabilir, oksijen varlığı ışığa bağlı bozunmayı artırabilir ve matris bileşenleri antosiyaninlerin reaktivitesini değiştirebilir. Xue ve arkadaşları (2024), antosiyanin stabilitesinin çevresel faktörler ile moleküler yapı arasındaki etkileşimin sonucu olduğunu ve koruma stratejilerinin bu çoklu etkileşim göz önüne alınarak seçilmesi gerektiğini belirtmektedir.

Bu nedenle son yıllardaki araştırmalar, antosiyanini yalnız 'ekstrakte etmekten' çok onu üretim, depolama ve tüketim aşamalarında korumaya odaklanmıştır. Kopigmentasyon, makromoleküler kompleksler, mikro- ve nanoenkapsülasyon, liposomlar, hidrojeller ve yapısal modifikasyonlar bu çerçevede öne çıkmaktadır. Bu derlemenin amacı antosiyaninlerin gıda sistemlerindeki stabilite sorunlarını mekanizma temelli olarak açıklamak, yeni nesil koruma teknolojilerinin avantaj ve sınırlılıklarını karşılaştırmak ve endüstriyel uygulama için matrise özgü bir değerlendirme çerçevesi sunmaktır.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Antosiyanin yapısı ve stabilitenin kimyasal temeli

Antosiyaninler antosiyanidin aglikonunun şekerlerle glikozillenmiş türevleridir. Siyanidin, delfinidin, pelargonidin, peonidin, petunidin ve malvidin gıdalarda en yaygın antosiyanidin iskeletleri arasında yer alır. Moleküldeki hidroksil ve metoksi gruplarının sayısı, bağlı şekerlerin türü ve konumu ile organik asitlerle açillenme derecesi stabiliteyi etkiler. Ahmed ve arkadaşları (2026), artan hidroksilasyonun bazı koşullarda oksidatif duyarlılığı yükseltebildiğini; metoksilasyon ve açilasyonun ise kromoforun korunmasına katkı sağlayabildiğini bildirmektedir. Bu nedenle farklı bitkisel kaynaklardan elde edilen antosiyanin ekstraktlarının aynı proses koşullarına aynı yanıtı vermesi beklenmemelidir.

pH, antosiyaninlerin renk davranışının en güçlü belirleyicilerindendir. Düşük pH'da flavylium katyonu kırmızı tonları desteklerken, pH yükseldikçe hidratasyon ve proton kaybı sonucunda mor-mavi veya renksiz formlar gelişir. Nötr ve hafif alkali gıdalarda doğal antosiyaninlerle uzun süreli parlak renk sağlamak bu nedenle güçtür. Bununla birlikte bazı açillenmiş antosiyaninler, 3-deoksiantosiyanidinler ve piranoantosiyaninler daha yüksek yapısal direnç gösterebilir. Bu bilgi, hammadde seçimini stabilizasyon teknolojisi kadar önemli hale getirir.

Sıcaklık artışı glikozidik bağların hidrolizi, halka açılması ve oksidatif reaksiyonları hızlandırabilir. Pastörizasyon gibi kısa süreli ısıl işlemler, ürün bileşimine bağlı olarak kabul edilebilir kayıplarla uygulanabilse de uzun süreli sıcak depolama ciddi renk kaybı yaratabilir. Işık enerjisi kromofor bozunmasını tetiklerken oksijen fenolik oksidasyon yollarını

güçlendirebilir. Dolayısıyla yüksek bariyerli ambalaj, düşük oksijenli dolum ve uygun depolama sıcaklığı kimyasal stabilizasyon yöntemlerini tamamlayan proses araçlarıdır.

Gıda matrisi bileşenlerinin etkisi

Gerçek gıda sistemlerinde antosiyaninler saf çözeltilerden daha karmaşık bir çevrede bulunur. Askorbik asit, oksidatif renk kaybını hızlandırabilen önemli bileşenlerden biridir. Şekerlerin etkisi konsantrasyon ve su aktivitesine göre değişebilir; proteinler ve polisakkaritler ise hem koruyucu kompleksler oluşturabilir hem de bağlanma nedeniyle renk özelliklerini değiştirebilir. Metal iyonları bazı antosiyaninlerle kompleks oluşturup renk tonunu değiştirebilirken pro-oksidan etki de gösterebilir. Bu nedenle model tamponlarda elde edilen stabilite verileri, gerçek gıdaya doğrudan aktarılmamalıdır.

Gıdanın mikroyapısı da önemlidir. Emülsiyonlar, jeller ve yüksek katı maddeli ürünlerde antosiyaninin difüzyonu ve reaktif türlere maruziyeti farklıdır. Yağ fazı içeren sistemlerde antosiyanin çoğunlukla sulu fazda bulunur; ancak emülsiyon arayüzündeki protein veya polisakkaritler koruyucu mikroçevre sağlayabilir. Süt proteinleri ile antosiyanin etkileşimleri renk tonunu ve biyoerişilebilirliği etkileyebilir. Nişasta, pektin, kitosan ve farklı gamlar gibi polisakkaritler ise hem viskoziteyi artırarak moleküler hareketliliği sınırlayabilir hem de doğrudan bağlanma yoluyla stabiliteyi destekleyebilir.

Kopigmentasyon ve moleküler kompleksleme

Kopigmentasyon, antosiyanin kromoforunun başka moleküllerle nonkovalent etkileşimler yoluyla korunmasına dayanan en eski fakat güncelliğini koruyan stratejilerden biridir. Fenolik asitler, flavonoidler, bazı alkaloidler, proteinler ve polisakkaritler kopigment olarak davranabilir. Antosiyanin ile kopigment arasındaki π-π istiflenme ve hidrojen bağları, suyun kromofora erişimini azaltarak hidratasyonu sınırlayabilir ve hiper-kromik veya batokromik etkiler oluşturabilir. Yang ve arkadaşları (2025), mekanizma temelli değerlendirmelerinde kopigmentasyonun özellikle doğru antosiyanin-kopigment çifti ve oranı seçildiğinde etkili olduğunu, ancak yüksek kopigment düzeylerinin tat ve maliyet açısından sınırlayıcı olabileceğini vurgulamaktadır.

Protein-antosiyanin kompleksleri son yıllarda dikkat çekmektedir. Peynir altı suyu proteini, kazein, soya proteini ve çeşitli bitkisel proteinler hidrofobik etkileşimler ve hidrojen bağları yoluyla antosiyaninleri bağlayabilir. Bu bağlanma ısı, ışık ve pH değişimlerine karşı koruma sağlayabilir; ancak proteinin izoelektrik noktası, ısıl denatürasyonu ve gıda matrisi içindeki diğer bileşenler kompleksin davranışını etkiler. Benzer şekilde polisakkaritler fiziksel bariyer ve moleküler etkileşim yoluyla koruma sunabilir. Bu nedenle kopigmentasyon, yalnız 'bir

antioksidan ekleme' işlemi olarak değil, moleküler uyumluluk ve gıda mikroçevresi tasarımı olarak görülmelidir.

Mikroenkapsülasyon ve kurutma temelli koruma

Mikroenkapsülasyon, antosiyaninleri çevresel streslerden fiziksel olarak ayıran en yaygın koruma yaklaşımlarındandır. Sprey kurutma endüstriyel ölçeklenebilirliği ve sürekli proses avantajı nedeniyle en sık kullanılan yöntemlerden biridir. Maltodekstrin, gum arabik, modifiye nişasta, proteinler ve bunların kombinasyonları duvar materyali olarak kullanılabilir. Feitosa ve arkadaşlarının (2025) bibliyometrik değerlendirmesi, antosiyanin mikroenkapsülasyonunda sprey kurutmanın baskın teknik olduğunu ve polimer kombinasyonlarının koruyucu performansı geliştirebildiğini göstermektedir.

Sprey kurutmanın en önemli sınırlılığı termal ve oksidatif stres oluşturabilmesidir. Bununla birlikte kısa ikamet süresi nedeniyle uygun giriş-çıkış sıcaklıklarında ısıya duyarlı bileşenler kabul edilebilir düzeyde korunabilir. Dondurarak kurutma daha düşük termal yük sunar ve yüksek kalite sağlayabilir; ancak enerji, süre ve maliyet açısından endüstriyel uygulaması daha sınırlıdır. Koaservasyon, iyonik jelasyon ve akışkan yatak kaplama gibi yöntemler de belirli ürünler için uygulanabilir. Duvar materyali seçiminde enkapsülasyon verimi kadar çözünürlük, nem alma eğilimi, cam geçiş sıcaklığı ve hedef gıdada salım davranışı göz önüne alınmalıdır.

Mikroenkapsülasyonda önemli bir gelişme, tek polimer yerine kompozit duvar sistemlerinin kullanılmasıdır. Karbonhidratlar iyi film oluşturma ve maliyet avantajı sağlarken proteinler emülsifiye edici ve bağlayıcı özellikler sunabilir. Farklı polimerlerin birlikte kullanımı oksijen geçirgenliğini azaltabilir ve depolama stabilitesini artırabilir. Ancak daha karmaşık formülasyonlar üretim maliyetini ve mevzuat değerlendirmesini de artırabilir. Bu nedenle optimum sistem, hedef ürünün raf ömrü ve proses koşullarıyla birlikte belirlenmelidir.

Nano-taşıyıcılar, liposomlar ve hidrojel sistemleri

Nanoölçekli taşıyıcı sistemler, yüksek yüzey alanı ve kontrollü salım potansiyeli nedeniyle antosiyanin stabilizasyonunda yeni nesil yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Nanopartiküller, nanoemülsiyonlar, nanolipozomlar ve biyopolimer nanokompleksleri antosiyaninleri ışık ve oksijenden koruyabilir, sindirim kanalında kontrollü salım ve biyoyararlanım avantajı sağlayabilir. Bununla birlikte nano sistemlerin gıdada kullanımı, parçacık boyutu dağılımı, agregasyon, depolama stabilitesi, sindirim davranışı ve düzenleyici kabul gibi ek gereklilikler doğurur.

Liposomlar fosfolipit çift tabakaları sayesinde hidrofilik antosiyaninlerin sulu çekirdekte veya arayüz bölgelerinde tutulmasına olanak verir. Özellikle fonksiyonel içecek ve emülsiyon

sistemlerinde biyouyumluluk avantajı taşıyabilirler; ancak oksidasyona duyarlı fosfolipit yapısı ve fiziksel kararsızlık sorunları vardır. Hidrojeller ve çok katmanlı biyopolimer sistemleri ise çapraz bağlı ağ yapısıyla moleküler hareketliliği azaltabilir ve pH'ya duyarlı kontrollü salım sağlayabilir. Yang ve arkadaşları (2025), kapsülleme sistemlerinin seçiminin antosiyaninin kimyasal yapısı ve hedef gıda matrisi ile eşleştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Nano- ve mikrotaşıyıcılar arasında seçim 'daha küçük parçacık daha iyi' ilkesiyle yapılmamalıdır. Toz formda kuru karışımlar için mikroenkapsülasyon daha uygulanabilir olabilirken, berrak içeceklerde partikül boyutu ve ışık saçılması kritik hale gelir. Fermente süt ürünlerinde protein-polimer kompleksleri avantajlı olabilirken, fırıncılık ürünlerinde yüksek ısıya dayanıklı kuru taşıyıcılar daha uygundur. Bu nedenle yeni nesil koruma teknolojilerinin gerçek başarısı, laboratuvar ortamında yüksek enkapsülasyon verimi değil, hedef ürünün proses ve depolama koşullarında istenen performansı sağlamasıdır.

Yapısal modifikasyon, akıllı ambalaj ve kombine stratejiler

Antosiyanin stabilitesini artırmanın bir başka yolu molekülün kendisini daha dirençli hale getirmektir. Açillenme, glikozilasyon ve metoksilasyon doğal yapılarda bulunan veya biyoteknolojik yollarla yönlendirilebilen modifikasyonlardır. Açillenmiş antosiyaninlerde intramoleküler kopigmentasyon, kromoforu su saldırısına karşı koruyabilir. Piranoantosiyaninler gibi türevler de oksidatif ve pH kaynaklı değişimlere daha dirençli olabilir. Ancak doğrudan kimyasal modifikasyon, gıda uygulamalarında doğal kabulü ve mevzuat açısından daha karmaşık bir alan oluşturduğundan, doğal kaynak seçimi ve biyolojik dönüşüm yöntemleri daha uygulanabilir seçenekler olabilir.

Antosiyaninlerin pH'ya duyarlı renk değişimi, bir stabilite dezavantajı olmasının yanında akıllı ambalajlar için işlevsel avantaja dönüşebilir. Uçucu bazların oluştuğu bozulabilir gıdalarda pH değişimi, antosiyanin içeren film veya etiketlerde gözle görülebilen renk yanıtı oluşturabilir. Bu uygulamada amaç pigmenti her koşulda değişmeden tutmak değil, kontrollü ve tekrarlanabilir bir renk yanıtı sağlamaktır. Dolayısıyla 'stabilite' kavramı kullanım amacına göre yeniden tanımlanmalıdır: renklendirici uygulamasında renk korunumu istenirken sensör uygulamasında duyarlı fakat öngörülebilir bir dönüşüm hedeflenir.

Güncel eğilim tek bir koruma mekanizması yerine kombine sistemlerin kullanılmasıdır. Örneğin uygun kopigment seçimi ile güçlendirilmiş bir antosiyanin ekstraktının biyopolimer mikro-kapsül içine alınması; ardından oksijen ve ışık bariyeri yüksek ambalajla korunması çok katmanlı bir koruma sağlayabilir. Yang ve arkadaşları (2025) ile Xue ve arkadaşları (2024) bu

tür mekanizma odaklı kombinasyonların, farklı bozunma yollarını aynı anda sınırlandırma potansiyeline dikkat çekmektedir.

Endüstriyel uygulama için kritik değerlendirme ölçütleri

Antosiyanin koruma teknolojilerinin karşılaştırılmasında yalnızca başlangıç ve son toplam antosiyanin konsantrasyonunun kullanılması yetersizdir. CIELAB renk parametreleri, toplam renk farkı, monomerik antosiyanin oranı, polimerik renk, spesifik antosiyanin profili ve bozunma ürünleri birlikte izlenmelidir. HPLC temelli analizler toplam spektrofotometrik ölçümlerin ayırt edemediği bileşik değişimlerini gösterebilir. Ayrıca gıda ürününde raf ömrü boyunca duyusal renk algısı, tat-aroma ve tekstür değişimleri de değerlendirilmelidir.

Biyoyararlanım da göz ardı edilmemelidir. Çok güçlü bir kapsülleme sistemi depolamada antosiyanini korusa bile sindirim sırasında yeterli salım gerçekleşmiyorsa fonksiyonel yarar sınırlı kalabilir. Tersine, hızlı salım sağlayan sistemler proses ve depolama sırasında koruma sağlayamayabilir. Bu nedenle koruma-salım dengesi hedeflenmelidir. Yeni çalışmalarda in vitro sindirim modelleri ile stabilite testlerinin birlikte yürütülmesi bu açıdan önemlidir.

Endüstriyel seçimde ölçeklenebilirlik, gıda sınıfı taşıyıcıların bulunabilirliği, proses maliyeti ve mevzuat uygunluğu belirleyicidir. Antosiyanin kaynağı ile taşıyıcının yerel ve sürdürülebilir olması ek avantaj sağlayabilir. Ancak yeni nanomalzemeler veya karmaşık modifikasyonlar, laboratuvar performansı yüksek olsa bile regülasyon ve tüketici algısı bakımından engellerle karşılaşabilir. Bu nedenle en ileri teknoloji her zaman en uygun teknoloji değildir; hedef ürün için yeterli koruma sağlayan, güvenli, maliyet etkin ve ölçeklenebilir sistem tercih edilmelidir.

SONUÇ

Antosiyaninler doğal renk, tüketici beklentileri ve fonksiyonel bileşen potansiyelini bir araya getiren önemli gıda bileşenleridir; ancak pH, ısı, ışık, oksijen ve gıda matrisi etkileşimlerine duyarlılıkları geniş ölçekli kullanımlarını sınırlar. Güncel literatür, stabilitenin antosiyanin yapısı ile çevresel koşulların ortak sonucu olduğunu göstermektedir. Bu nedenle kaynak seçimi, ekstraksiyon ve saflaştırma kadar önemlidir.

Kopigmentasyon, protein/polisakkarit kompleksleri, mikroenkapsülasyon, nano-taşıyıcılar, liposomlar ve hidrojeller farklı koruma mekanizmaları sunmaktadır. Gelecekte en başarılı uygulamaların tek bir yönteme dayanmaktan çok, antosiyanin yapısı ve hedef gıda matrisi için tasarlanmış çok katmanlı sistemlerden oluşması beklenmektedir. Araştırmaların gerçek gıda matrisleri, endüstriyel proses koşulları, raf ömrü, biyoyararlanım, duyusal kabul ve ekonomik uygulanabilirliği aynı çalışma tasarımında değerlendirmesi, antosiyaninlerin sentetik renklendiricilere sürdürülebilir bir alternatif olarak daha yaygın kullanılmasını sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Ahmed, M., Zhang, H., & Xiong, Y. (2026). Anthocyanin structural types and stability: Implications for natural colorant applications in food systems. Foods, 15(12), 2080. https://doi.org/10.3390/foods15122080

Cortez, R., Luna-Vital, D. A., Margulis, D., & Gonzalez de Mejia, E. (2017). Natural pigments: Stabilization methods of anthocyanins for food applications. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 16(1), 180–198. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12244

Feitosa, B. F., Decker, B. L. A., de Brito, E. S., Marques, M. C., Rodrigues, S., & Mariutti, L. R. B. (2025). Stability of anthocyanins from fruits associated with microencapsulation: A 21st-century bibliometric approach. Food Research International, 214, 116621. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2025.116621

Xue, H., Zhao, J., Wang, Y., Shi, Z., Xie, K., Liao, X., & Tan, J. (2024). Factors affecting the stability of anthocyanins and strategies for improving their stability: A review. Food Chemistry: X, 24, 101883. https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101883

Yang, M., Zhang, M., Wang, B., Zhang, Z., Zhuang, Y., Liu, J., Zhang, Q., & Fei, P. (2025). Mechanism-driven stabilization of anthocyanins: Comparative copigmentation and encapsulation for food applications. Food Chemistry, 495, 146336. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2025.146336

Yücetepe, M., Özaslan, Z. T., Karakuş, M. Ş., Akalan, M., Karaaslan, A., Karaaslan, M., & Başyiğit, B. (2024). Unveiling the multifaceted world of anthocyanins: Biosynthesis pathway, natural sources, extraction methods, copigmentation, encapsulation techniques, and future food applications. Food Research International, 187, 114437. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114437

GIDA ENDÜSTRİSİNDE UPCYCLİNG: YAN ÜRÜNLERDEN YENİ NESİL FONKSİYONEL BİLEŞENLERE

Dr. Öğr. Üyesi Zehra GÜNEL
Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Kadirli Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Gıda Teknolojisi Bölümü, Kadirli/Osmaniye
E-posta: zehragunel@osmaniye.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-3431-7984

ÖZET

Gıda kayıp ve atıkları, yalnızca çevresel bir sorun değil; aynı zamanda üretim sırasında harcanan su, enerji, arazi ve ekonomik değerin de kaybı anlamına gelmektedir. Gıda endüstrisinde upcycling yaklaşımı, insan tüketim zincirinden çıkma riski taşıyan veya düşük değerli kullanımlara yönlendirilen yan ürünlerin güvenli, izlenebilir ve daha yüksek katma değerli bileşenlere dönüştürülmesini hedeflemektedir. Bu derlemede meyve-sebze posaları, kabuk ve çekirdekler, tahıl kepekleri, yağlı tohum küspeleri, bira endüstrisi yan ürünleri ve süt işleme yan ürünleri başta olmak üzere farklı gıda yan akımlarının fonksiyonel bileşen kaynağı olarak değerlendirilme potansiyeli incelenmiştir. Güncel literatür; bu materyallerin diyet lifi, polifenoller, pigmentler, proteinler, peptitler, pektin ve diğer teknolojik fonksiyon gösteren bileşenler bakımından önemli kaynaklar olduğunu göstermektedir. Ultrason destekli ekstraksiyon, enzimatik işlemler, fermantasyon, membran prosesleri, yeşil çözücüler ve mikroenkapsülasyon gibi teknolojiler, yan ürünlerin gıda sınıfı bileşenlere dönüştürülmesinde öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, upcycling uygulamalarının başarısı yalnızca yüksek ekstraksiyon verimine bağlı değildir; ham madde değişkenliği, mikrobiyolojik ve kimyasal güvenlik, duyusal kabul, mevzuat, ölçek büyütme ve yaşam döngüsü etkilerinin birlikte değerlendirilmesi gerekmektedir. Sonuç olarak upcycling, atık yönetiminin ötesinde, döngüsel gıda sistemleri için yeni bir bileşen tasarım yaklaşımı olarak değerlendirilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Upcycling, gıda yan ürünleri, fonksiyonel bileşenler, döngüsel ekonomi, yeşil ekstraksiyon

UPCYCLING IN THE FOOD INDUSTRY: FROM BY-PRODUCTS TO NEXT-GENERATION FUNCTIONAL INGREDIENTS

ABSTRACT

Food loss and waste represent not only an environmental burden but also a loss of water, energy, land, and economic value embedded in food production. Upcycling in the food industry aims to convert side streams that would otherwise leave the human food chain or be directed to low-value uses into safe, traceable, and higher-value ingredients. This review evaluates the potential of fruit and vegetable pomaces, peels and seeds, cereal brans, oilseed cakes, brewing by-products, and dairy side streams as sources of functional ingredients. Recent literature shows that these materials may provide dietary fibre, polyphenols, natural pigments, proteins,

peptides, pectin, and other compounds with nutritional and techno-functional value. Emerging and intensified processing approaches, including ultrasound-assisted extraction, enzymatic treatments, fermentation, membrane processes, green solvents, and microencapsulation, are increasingly used to recover, stabilize, and formulate these compounds. However, successful upcycling cannot be assessed solely through extraction yield. Raw-material variability, microbiological and chemical safety, sensory quality, regulatory status, scalability, and life-cycle impacts should be addressed simultaneously. Overall, upcycling should be considered not merely as a waste-management strategy but as a next-generation ingredient design approach that can connect circular economy principles with functional food innovation. Future progress will depend on standardized side-stream characterization, food-matrix validation, transparent sustainability assessment, and consumer-oriented product development.

Keywords: upcycling, food by-products, functional ingredients, circular economy, green extraction

GİRİŞ

Gıda sistemlerinin sürdürülebilirliği açısından kayıp ve atıkların azaltılması küresel önceliklerden biridir. Birleşmiş Milletler Çevre Programı, 2022 yılında perakende, gıda hizmetleri ve hane halkı düzeyinde yaklaşık 1,05 milyar ton gıdanın israf edildiğini ve bunun tüketiciye sunulan toplam gıdanın yaklaşık %19'una karşılık geldiğini bildirmiştir (United Nations Environment Programme [UNEP], 2024). Bu miktara, hasat sonrası aşamadan perakendeye kadar tedarik zincirinde meydana gelen kayıplar ayrıca eklenmektedir. Dolayısıyla gıda kaybı ve atığı; iklim değişikliği, doğal kaynak kullanımı, ekonomik verimlilik ve gıda güvencesiyle aynı anda ilişkili çok boyutlu bir sorundur.

Geleneksel atık yönetiminde yan ürünlerin hayvan yemi, kompost, enerji üretimi veya doğrudan bertaraf gibi uygulamalara yönlendirilmesi yaygındır. Buna karşılık upcycling, bir yan akımın içerdiği besinsel veya teknolojik değerin korunarak insan gıda zincirine daha yüksek değerli bir ürün ya da bileşen olarak yeniden kazandırılmasını ifade eder. Bu yaklaşım, 'atığın değerlendirilmesi' kavramından daha seçici bir çerçeve sunar; çünkü amaç yalnızca materyali ortadan kaldırmak değil, güvenli ve doğrulanabilir bir tedarik zinciri içinde kullanım değerini yükseltmektir. Güncel araştırmalar upcycled gıdaların döngüsel ekonomi açısından çevresel ve ekonomik yararlar sağlayabileceğini, ancak bu yararların prosesin enerji gereksinimi, taşıma, kurutma ve saflaştırma gibi aşamalarına bağlı olarak değiştiğini vurgulamaktadır (Seguí & Barrera, 2025; Ligarda-Samanez et al., 2025).

Gıda işleme yan ürünleri çoğu zaman hedef ürünün üretimi sırasında ayrılan kabuk, çekirdek, posa, kepek, küspe, peynir altı suyu, maya veya benzeri fraksiyonlardan oluşur. Bu materyaller 'atık' olarak tanımlanmalarına karşın önemli miktarlarda diyet lifi, fenolik bileşik, protein, mineral, vitamin, renk maddesi ve yapısal polisakkarit içerebilir. Ospina-Maldonado ve arkadaşları (2024), bitkisel ve hayvansal kökenli yan ürünlerin fırıncılık ürünlerinden içeceklere, süt ürünlerinden et alternatiflerine kadar çok çeşitli gıda matrislerinde işlevsel bileşen olarak değerlendirilebildiğini göstermiştir. Böylece upcycling, sürdürülebilirliğin yanı sıra temiz etiket, doğal katkı maddesi kullanımı ve besinsel zenginleştirme eğilimleriyle de birleşmektedir.

Bununla birlikte 'yan üründe değerli bileşen bulunması' ile 'endüstriyel olarak uygulanabilir bir gıda bileşeni geliştirilmesi' aynı şey değildir. Hammaddenin mevsimselliği, bileşimindeki parti farklılıkları, pestisit veya mikotoksin gibi kontaminantlar, hızlı mikrobiyal bozulma, yüksek su aktivitesi, istenmeyen renk ve aroma ile proses maliyetleri önemli sınırlılıklar oluşturur. Bu nedenle başarılı bir upcycling modeli; stabilizasyon, fraksiyonlama, ekstraksiyon, güvenlik doğrulaması, fonksiyonel karakterizasyon, gıda matrisi denemeleri, duyusal değerlendirme ve mevzuat aşamalarını bütüncül biçimde ele almalıdır. Bu derlemenin amacı, gıda endüstrisi yan ürünlerinden yeni nesil fonksiyonel bileşen üretimini güncel teknolojiler, uygulama alanları, sürdürülebilirlik ve ticarileşme engelleri açısından değerlendirmektir.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Derleme yaklaşımı ve genel eğilimler

Bu çalışma narratif derleme niteliğindedir. Konuya ilişkin güncel hakemli çalışmalar ve uluslararası kurumsal raporlar tematik olarak değerlendirilmiş; bulgular yan ürün kaynakları, hedef fonksiyonel bileşenler, dönüştürme teknolojileri, gıda uygulamaları ve ticarileşme koşulları altında birleştirilmiştir. Son yıllardaki literatürde belirgin bir paradigma değişimi görülmektedir: araştırmalar yalnızca ekstrakte edilen toplam fenolik madde miktarını raporlamaktan uzaklaşmakta; bileşenin stabilitesi, teknolojik işlevi, gerçek gıda matrisi performansı, güvenliği ve ölçeklenebilirliği daha fazla önem kazanmaktadır (Ligarda-Samanez et al., 2025; Seguí & Barrera, 2025).

Upcycling çalışmalarında meyve-sebze işleme yan ürünleri en sık incelenen gruplardan biridir. Üzüm posası, nar kabuğu, turunçgil kabukları, elma posası, domates kabuğu ve çekirdeği gibi fraksiyonlar polifenoller, renk maddeleri, pektin ve lif açısından dikkat çekmektedir. Tahıl kepekleri ve bira endüstrisi yan ürünleri daha çok lif, protein ve fenolik asit kaynağı olarak; yağlı tohum küspeleri ise protein ve biyoaktif peptit potansiyeli ile değerlendirilmektedir. Süt

işleme yan akımlarında ise peynir altı suyu proteinleri ve laktozun geri kazanımı uzun süredir bilinen bir uygulamadır; güncel upcycling yaklaşımı bunların daha hedefli fraksiyonlanması ve yüksek değerli bileşenlere dönüştürülmesine odaklanmaktadır.

Yan ürünlerden kazanılabilen temel fonksiyonel bileşenler

Diyet lifi, upcycling açısından en uygulanabilir bileşen gruplarından biridir. Meyve ve sebze posalarının kurutulup öğütülmesiyle elde edilen lifçe zengin tozlar, ileri saflaştırmaya gerek duyulmadan bazı fırıncılık, atıştırmalık ve ekstrüde ürünlerde kullanılabilir. Ancak toplam lif miktarı kadar çözünür/çözünmez lif oranı, su tutma kapasitesi, yağ bağlama kapasitesi ve partikül büyüklüğü de ürün kalitesini belirler. Bu nedenle yan ürün tozunun fonksiyonelliği, yalnız besinsel zenginleştirme amacıyla değil, hamur reolojisi, kıvam, nem tutma ve raf ömrü üzerindeki etkileri açısından da değerlendirilmelidir (Ospina-Maldonado et al., 2024).

Polifenoller ve doğal pigmentler ikinci önemli grubu oluşturmaktadır. Kabuk ve çekirdek fraksiyonları, yenilebilir kısımdan daha yüksek fenolik konsantrasyona sahip olabilir. Flavonoidler, fenolik asitler, antosiyaninler ve tanenler doğal antioksidan ve renk bileşeni olarak ürün geliştirmede avantaj sağlayabilir. Bununla birlikte serbest fenoliklerin oksidasyon, ışık, sıcaklık ve pH değişimlerine duyarlılığı, ekstraksiyon sonrasında stabilizasyon gerektirir. Ayrıca yüksek tanen düzeyi acılık ve burukluk yaratabildiğinden 'daha yüksek fenolik içerik' her zaman 'daha iyi ürün' anlamına gelmez. Bu nokta, fonksiyonel etkinlikle duyusal kabul arasındaki optimizasyon gereksinimini ortaya koymaktadır.

Protein ve peptitler özellikle yağlı tohum küspeleri, baklagil yan fraksiyonları, bira endüstrisi artık tahılları ve süt yan ürünlerinde önemlidir. Protein fraksiyonlarının çözünürlük, emülsifiye etme, köpük oluşturma ve jelasyon özellikleri gıdadaki teknolojik kullanım alanını belirler. Enzimatik hidroliz veya fermantasyon, protein çözünürlüğünü ve belirli biyoaktif peptitlerin oluşumunu artırabilir; ancak yoğun hidroliz acı tat gelişimine neden olabilir. Pektin, selüloz ve hemiselüloz gibi yapısal polisakkaritler ise kıvam artırıcı, film oluşturucu, stabilizatör veya lif bileşeni olarak değerlendirilebilir. Özellikle turunçgil ve elma işleme yan ürünleri, ticari pektin üretiminin klasik örnekleri olmakla birlikte yeni çalışmalar daha düşük kimyasal yükle ekstraksiyon ve fonksiyonel özelliklerin kontrollü biçimde ayarlanmasına yönelmektedir.

Yeni nesil geri kazanım ve dönüştürme teknolojileri

Upcycling zincirinin ilk kritik basamağı çoğu zaman stabilizasyondur. Yüksek nemli posaların işleme sonrasında hızla bozulması nedeniyle kurutma, dondurma, asitleme veya kontrollü fermantasyon uygulanabilir. Kurutma yöntemi yalnız raf ömrünü değil, renk, uçucu bileşenler, fenoliklerin korunması ve öğütülebilirlik gibi sonraki özellikleri de etkiler. Dondurarak

kurutma kalite açısından avantajlı olsa da yüksek enerji ve yatırım gereksinimi nedeniyle her yan ürün için ekonomik değildir. Sprey kurutma ise sıvı ekstraktların tozlaştırılmasında endüstriyel olarak daha uygulanabilir bir seçenek olup taşıyıcı materyal seçimi ürünün higroskopikliği ve stabilitesi üzerinde belirleyicidir.

Konvansiyonel solvent ekstraksiyonunun yüksek çözücü ve enerji tüketimi, yeşil ve yoğunlaştırılmış ekstraksiyon tekniklerine ilgiyi artırmıştır. Ultrason destekli ekstraksiyon kavitasyon yoluyla hücre yapısının parçalanmasını ve kütle transferini hızlandırabilir. Mikrodalga destekli teknikler hızlı ısıtma ile ekstraksiyon süresini azaltabilirken, enzim destekli işlemler hücre duvarı polisakkaritlerini daha seçici biçimde parçalayabilir. Derin ötektik çözücüler ve özellikle doğal derin ötektik çözücü sistemleri, fenolik bileşiklerin geri kazanımı için dikkat çekici olmakla birlikte gıda uygulamalarında çözücü kalıntısı, toksikolojik değerlendirme ve geri kazanım gereksinimleri süreç tasarımında dikkate alınmalıdır. Ligarda-Samanez ve arkadaşlarının (2025) sentezi, ultrason, mikroenkapsülasyon, kurutma teknikleri ve yeni çözücü sistemlerinin aynı 'yeşil' etiketi altında değerlendirilmeden önce enerji, maliyet ve ölçeklenebilirlik açısından karşılaştırılması gerektiğini göstermektedir.

Fermantasyon, yalnız bir koruma işlemi değil, yan ürün matrisini biyolojik olarak dönüştüren bir upcycling aracı haline gelmiştir. Mikroorganizmalar kompleks polimerleri parçalayabilir, bağlı fenolikleri serbestleştirebilir, istenmeyen aromaları azaltabilir ve yeni metabolitler oluşturabilir. Benzer şekilde membran filtrasyonu ve fraksiyonlama teknikleri, sıvı yan akımlardaki protein, şeker veya fenoliklerin konsantre edilmesine olanak sağlar. Bu teknolojilerin avantajı, tek bir 'ekstrakt' üretmek yerine yan ürünün farklı fraksiyonlarının kademeli olarak değerlendirilmesini mümkün kılmasıdır; bu yaklaşım biyorefineri ve döngüsel ekonomi mantığıyla uyumludur.

Fonksiyonel bileşenlerin gıda matrislerine entegrasyonu

Yan ürün kökenli bileşenlerin gerçek değerini belirleyen aşama, hedef gıda matrisi içindeki performanslarıdır. Fırıncılık ürünlerinde lifçe zengin tozların kullanılması lif içeriğini yükseltebilir ve antioksidan kapasiteyi artırabilir; buna karşın gluten ağının seyrelmesi, düşük spesifik hacim, koyu renk veya sert tekstür gibi etkiler ortaya çıkabilir. Bu nedenle ikame oranının optimizasyonu ve partikül boyutu kontrolü gereklidir. İçeceklerde polifenol veya pigment ekstraktları fonksiyonel değer sağlayabilir; fakat çökelme, bulanıklık, burukluk ve renk stabilitesi sorunları formülasyon açısından kritik olabilir.

Süt ürünleri ve bitki bazlı alternatiflerde yan ürün kaynaklı lif ve fenoliklerin kullanımı, kıvam ve su tutma özelliklerini değiştirebilir. Et ürünleri ve et analoglarında doğal antioksidan

fraksiyonlar lipid oksidasyonunun geciktirilmesine katkı sağlayabilir. Yağlı ürünlerde kullanılan bitkisel ekstraktların etkinliği ise ekstraktın polaritesine ve yağ-su arayüzünde konumlanmasına bağlıdır. Bu nedenle fonksiyonel bileşenin kimyasal kompozisyonu kadar gıdanın yapısal özellikleri de önemlidir. Upcycling literatürünün giderek daha fazla 'matrise özgü doğrulama' üzerinde durmasının temel nedeni budur.

Ospina-Maldonado ve arkadaşları (2024), yan ürünlerin atıştırmalık, içecek, fermente ürün, fırıncılık ürünü, süt ürünü, makarna ve diğer işlenmiş gıdalarda kullanılabileceğini bildirmiştir. Bununla birlikte ürün geliştirme aşamasında amaç, maksimum yan ürün eklemek değil, besinsel ve çevresel kazanımı duyusal kabul ile dengelemektir. Özellikle koyu renk, bitkisel koku, acılık, burukluk ve kumlu ağız hissi tüketici kabulünü azaltabilir. Bu nedenle fermantasyon, enzimatik modifikasyon, mikronizasyon ve enkapsülasyon gibi işlemler yalnız bileşen kazanımı için değil, duyusal iyileştirme için de stratejik araçlar olarak değerlendirilebilir.

Güvenlik, mevzuat ve tüketici kabulü

Upcycled bileşenlerin gıda zincirine yeniden girişi, güvenlik değerlendirmesini vazgeçilmez kılar. Tarımsal yan ürünler pestisit kalıntıları, ağır metaller, mikotoksinler veya yabancı maddeleri yoğunlaştırabilir. Ayrıca işleme sırasında ayrılan kabuk gibi dış fraksiyonlar çevresel kontaminantlara daha fazla maruz kalmış olabilir. Bu nedenle her yan akım için hammadde spesifikasyonları, mikrobiyolojik kriterler, kontaminant limitleri ve izlenebilirlik sistemi oluşturulmalıdır. Bir yan ürünün 'doğal' olması, otomatik olarak güvenli veya mevzuata uygun olduğu anlamına gelmemektedir.

Mevzuatın ülkeler arasında farklılık göstermesi ticarileşmede başka bir engeldir. Melios, Johnson ve Grasso (2025), upcycled gıdalarda hem duyusal kalite hem de düzenleyici çerçevenin önemli zorluk alanları olduğunu; daha açık tanımlar ve uygun mevzuat desteğine gereksinim bulunduğunu belirtmektedir. Ürün veya bileşenin geçmiş tüketim öyküsü, üretim prosesi ve kullanım amacı, bazı pazarlarda 'yeni gıda' statüsü açısından değerlendirme gerektirebilir. Bu nedenle düzenleyici strateji ürün geliştirme sürecinin sonunda değil, başlangıç aşamasında planlanmalıdır.

Tüketici kabulü açısından 'atık' kelimesi olumsuz çağrışım yaratabilir. Lu ve arkadaşlarının (2024) kapsam incelemesi, upcycled gıdalara yönelik kabulün demografik ve psikografik özellikler kadar ürün özelliklerinden de etkilendiğini; sağlık, beslenme, sürdürülebilirlik ve atık azaltımı yararlarının açık biçimde iletilmesinin kabulü artırabildiğini göstermiştir. Buna karşın

sürdürülebilirlik mesajı, düşük lezzet veya yüksek fiyatı telafi eden sınırsız bir avantaj değildir. Dolayısıyla tüketicinin algıladığı kalite ve değer önerisi merkezde tutulmalıdır.

Sürdürülebilirlik ve endüstriyel ölçeklenebilirlik

Upcycling yaklaşımının çevresel üstünlüğü varsayıma değil ölçüme dayanmalıdır. Bir yan ürünün uzun mesafede taşınması, yoğun enerjiyle kurutulması ve yüksek miktarda çözücü kullanılarak saflaştırılması, elde edilen bileşenin çevresel avantajını azaltabilir. Bu nedenle yaşam döngüsü değerlendirmesi, proses kütle ve enerji dengesi ve ekonomik fizibilite birlikte ele alınmalıdır. Lokal veya bölgesel yan akım-kullanıcı eşleşmesi, kurutma gereksiniminin azaltılması ve kademeli fraksiyonlama çevresel performansı iyileştirebilir.

Endüstriyel ölçekte en önemli konulardan biri standardizasyondur. Yan ürün kompozisyonu çeşit, hasat dönemi, yetiştirme koşulları, proses ekipmanı ve depolamaya göre değişebilir. Ticari bir bileşen ise her partide belirli çözünürlük, renk, nem, mikrobiyolojik kalite ve aktif bileşen aralığı sağlamalıdır. Bu nedenle başarılı upcycling, yan ürünün kendisinden çok 'spesifikasyonu tanımlanmış ingrediyent' üretme becerisine bağlıdır. Seguí ve Barrera (2025) ile Ligarda-Samanez ve arkadaşlarının (2025) güncel değerlendirmeleri, gelecekte araştırmaların laboratuvar düzeyindeki ekstraksiyon verimlerinden ölçek büyütme, gerçek gıda uygulaması, güvenlik ve ekonomik uygulanabilirlik aşamalarına kayması gerektiğine işaret etmektedir.

SONUÇ

Gıda endüstrisinde upcycling, yan ürünleri düşük değerli atık akımları olarak görmek yerine, yeni nesil fonksiyonel bileşenlerin hammaddeleri olarak yeniden tanımlayan bir yaklaşımdır. Meyve-sebze posaları, kabuklar, çekirdekler, tahıl ve yağlı tohum yan ürünleri ile sıvı işleme akımları; diyet lifi, protein, polifenol, pigment, pektin ve çeşitli teknolojik fonksiyon gösteren bileşenler açısından önemli potansiyel taşımaktadır. Yeşil ekstraksiyon, enzimatik işlem, fermantasyon, membran prosesleri ve enkapsülasyon gibi teknolojiler bu potansiyelin kullanılmasını kolaylaştırmaktadır.

Bununla birlikte upcycling'in sürdürülebilir olması için yalnızca yan ürünün değerlendirilmiş olması yeterli değildir. Güvenlik, enerji kullanımı, su ve çözücü tüketimi, yan ürünün taşınması, proses verimi, ürünün duyusal kabulü ve mevzuata uygunluğu birlikte değerlendirilmelidir. Gelecek çalışmaların hammadde standardizasyonu, pilot ve endüstriyel ölçek doğrulaması, gerçek gıda matrislerinde raf ömrü, biyoyararlanım ve yaşam döngüsü değerlendirmesini bir araya getiren tasarımlara yönelmesi gerekmektedir. Bu yaklaşım,

upcycling'i geçici bir sürdürülebilirlik eğiliminden çıkararak döngüsel gıda ekonomisinin ölçülebilir ve ticarileşebilir bir bileşeni haline getirebilir.

KAYNAKÇA

Ligarda-Samanez, C. A., Huamán-Carrión, M. L., Calsina-Ponce, W. C., De la Cruz, G., Calderón Huamaní, D. F., Cabel-Moscoso, D. J., Garcia-Espinoza, A. J., Sucari-León, R., Aroquipa-Durán, Y., Muñoz-Saenz, J. C., Muñoz-Melgarejo, M., & Jilaja-Carita, E. E. (2025). Technological innovations and circular economy in the valorization of agri-food by-products: Advances, challenges and perspectives. Foods, 14(11), 1950. https://doi.org/10.3390/foods14111950

Lu, P., Parrella, J. A., Xu, Z., & Kogut, A. (2024). A scoping review of the literature examining consumer acceptance of upcycled foods. Food Quality and Preference, 114, 105098. https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2023.105098

Melios, S., Johnson, H., & Grasso, S. (2025). Sensory quality and regulatory aspects of upcycled foods: Challenges and opportunities. Food Research International, 199, 115360. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115360

Mia, M. S., Ahmed, M. M., & Zzaman, W. (2025). Valorization of food waste into functional ingredients supports a sustainable strategy for the food industry. Discover Food, 5, 275. https://doi.org/10.1007/s44187-025-00584-3

Ospina-Maldonado, S., Martin-Gómez, H., & Cardoso-Ugarte, G. A. (2024). From waste to wellness: A review on the harness of food industry by-products for sustainable functional food production. International Journal of Food Science & Technology, 59(11), 8680–8692. https://doi.org/10.1111/ijfs.17571

Seguí, L., & Barrera, C. (2025). Functional ingredients from food waste and by-products: Processing technologies, functional characteristics and value-added applications. Foods, 14(5), 847. https://doi.org/10.3390/foods14050847

Tügen, A., & Taştan Ülkü, Ö. (2025). Recent innovations and novel technologies for the upcycling of bioactive compounds from food wastes. Czech Journal of Food Sciences, 43(6), 377–397. https://doi.org/10.17221/122/2025-CJFS

United Nations Environment Programme. (2024). Food Waste Index Report 2024. UNEP.

KİRAZ SAPI'NIN ETKİSİ ÜZERİNE BİR ÖN DERLEME VE DEĞERLENDİRME

Dr Öğr. Üyesi Elif GÜLLÜ
Gaziantep University, İslahiye Meslek Yüksekokulu, 27800 İslahiye, Gaziantep
ORCID ID: 0000-0002-2632-0550
ebgullu@gantep.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, gelenekesel tıpta ve sağlık alanında kullanım yeri bulması nedeniyle genellikle tarımsal atık olarak bilinen kiraz sapının faydaları üzerine bir ön literatür derlemesi yaparak bu derlemeler ışığında değerlendirmeler yapmaktır. Bir atık malzeme olarak da mineraller, fenolik asitler, flavonoidler v.s. gibi aktif bileşen kaynaklarına sahip kiraz sapının faydalı etkilerinin araştırılması, sağlık, tıp, ilaç, gıda v.s. sektörlerde alternatif kullanım alanı bulabilmesi açısından da faydalı olacaktır. Yapılan ön incelemelerde, kiraz sapının üriner sistemlerde idrar söktürücü (diüretik), böbreklerde filtrasyon etkisi, ödem atmada destekleyici etkilere sahip olduğu anlaşılmıştır. Ancak, güçlü diüretik etki vücutta su kaybına neden olabileceğinden, gelişebilecek elektrolit dengesizliği gözardı edilmemelidir. Özellikle kiraz sapı ekstratlarının serbest radikalleri nötralize etme kapasiteleri sayesinde antioksidan katkılarının mevcut olduğu görülmüştür. Mekanizmasındaki asit türevleri, anti-inflamatuar potansiyeline katkı sağlar ve romatizmal durumlarda hafifletici faydalar gösterebilir. Bununla birlikte, kiraz sapı infüzyonlarının anti-hiperglisemik ve antidiyabetik etkiler üzerinde de metabolik düzenleyici katkılarının olduğu bu durumla ilgili olarak da fruktoz ve glikoz emilimindeki rolü ile kan şekerinin dengelenmesine destek olabileceği bildirilmiştir. Ayrıca, kiraz sapının sahip olduğu bileşenler sayesinde kozmetik sanayisindeki etkileri ve anti-aging olarak katkıları da araştırmaya değer bulunmuştur. Çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde, kiraz sapının etkilerinin araştırılmasının çoğunlukla deneysel çalışmalar (hayvan modelleri) düzeyinde olduğu görülmüş olup, insanlar üzerindeki kilinik çalışmaların henüz yetersiz seviyede olduğu anlaşılmıştır; bu yüzden metabolik olarak kullanımında dikkatli olunması gerektiği ortaya çıkmaktadır. Bir ön çalışma olarak bu bildiride yapılan araştırmanın, kiraz sapının etkileri hususunda yapılacak daha kapsamlı çalışmalar için faydalı olacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Kiraz sapı, kiraz, tarımsal atık, metabolik etki, diüretik

A PRELIMINARY REVIEW AND EVALUATION ON THE EFECT OF CHERRY STEM

ABSTRACT

The purpose of this study is to conduct a preliminary literatur review and evaluation on the effect of cherry stem, which is found use in the field of medicine and health as a agricultural

waste material. Investigation of the cherry stem as a waste material could also be beneficial for providing with an alternate use in the field of health, medicine, pharmaceutical, food, etc., due to its active components such as minerals, phenolic acids, flavonoids, etc. Based on the preliminary review, it is found that chery stem contributed at diuretic effects on the urinary system, a filtering effect on the kidneys and supportive effects in reducing edema. However, it should not be understimated that the strong diuretic effect could cause water loss in body causing potential electrolyte imbalance in metabolism. Cherry stem extracts are also seen antioxidant effects, particularly due to ther potential capacity of neutralizing the free radicals. Acidic derivatives in the mechanism of cherry stem could potentially provide contributions to anti-inflammatory effetcs and may reduce rheumatic effects. Moreover, cherry stem infusions could regulate anti-hyperglycemic and antidiabetic effects, in which regulation of blood sugar is supported due to their role in fructose and glucose absorption. In addition, uses in cosmetic industry and anti-aging agents are deemed worthy of investigation due to the components of cherry stem. Overall from the review it is understood that the findings of effect of cherry stem have mostly been at the experimental level (animal models) and clinical investigations on human body is still insufficient; thus, their uses should be carefully considered for metabolic purpose. As a preliminary review conducted in this work, it is believed that this paper could be benefical for more comprehensive research on effect of cherry stem.

Keywords: Cherry stem, cherry, agricultural waste, metabolic effect, diuretic.

1. GİRİŞ

Kiraz sapı, teknik olarak latince “Prunus avium” olarak isimlendirilen kiraz ağacından (veya eşanlamlısı “Cerasus avium”) elde edilen kiraz meyvesinin sapı olup, tıbbi ve farmasötik literatürdeki teknik latince ismi **“**Stipites cerasarum” olarak geçer (Güner vd. 2012, Kendir ve Köroğlu 2019). Türkiye önemli bir kiraz üreticisi olup bu üretimden de önemli bir kazanç elde etmekte (Kendir ve Köroğlu 2019) ve dünya literatüründe önemli bir yere sahip olduğu söylenebilir (FAO 2026). Soğuk olmayan iklim şartlarında önemli bir büyüme potansiyeli gösteren kirazdan tarımsal atık malzemesi olarak elde edilen kiraz sapı önemli bir miktara ulaşmakta olup, bu tarımsal atığın başta sağlık, tıp, ilaç, gıda v.s. sektörlerde değerlendirilmesi ve bu hususstaki araştırmalar döngüsel ekonomi ve sıfır atık konseptleri açısından önem arzetmektedir (Hussain vd. 2021; Jesus vd. 2022).

Kiraz sapının sahip olduğu aktif bileşen kaynakları sebebi ile doğal bir yan ürün olarak geleneksel tıpta farklı tıbbi amaçlar için yaygın bir kullanım alanı bulmaktadır (Kalyoncu vd. 2009, Jesus vd. 2022). Özellikle son yıllarda, ilaç ve gıda endüstrilerinde de kullanmak üzere

biyoaktif bileşenlerin araştırmaya değer olduğu anlaşılmaktadır (Jesus vd. 2022). Kiraz sapının sahip olduğu bazı bileşenler fenolik asit, flavonoid, karotenoid, antosiyan, tanen gibi çeşitli sekonder metobolitler içermekte olup (Prvulovic vd. 2011; Bursal vd. 2013; Bastos vd. 2015; Kendir ve Köroğlu 2019), bu bileşenlerin sağladıkları metabolik faydalar ve ilaç, gıda v.s. diğer sektörlerdeki kullanımları araştırmacılar için önemli bir ilgi alanı olmuştur (Afonso vd. 2020). Ayrıca, kiraz sapının içerdiği vitaminler ve yağ asitleri de bir tarımsal atık malzeme olarak sağlayacağı faydaların araştırılmasını güçlü bir şekilde tetiklemektedir (Bursal vd. 2013; Bastos vd. 2015).

Morfolojik olarak bakıldığında, kiraz saplarının beyaz kiraz meyvesine ait üyeleri 4-5cm, kırmızı meyvesine ait olanları ise 4-5.5cm arasında değişmektedir (Kendir ve Köroğlu 2019). Anatomik olarak ise dışta bir kutikula tabakası ve daha sonra tek sıralı halde kırmızı meyvelerde kare veya dikdörtgenimsi hücrelerin meydana getirdiği epiderma tabakasından, beyaz meyvelerde ise ligninleşmiş ya da süberinleşmiş epiderma tabakasından oluşur ve öz kısmında çeperleri ligninleşmiş büyük parenkima hücreleri bulunur (Kendir ve Köroğlu 2019). Hem geleneksel tıpta kullanımı hem de sağlığa olan etkilerinin çalışılması sonucunda kiraz sapından faydalanılması; kiraz sapının öğütülerek toz haline getirilmesi, kaynatılması v.s. gibi yöntemler ile kullanım alanı bulmaktadır (Liv 2026). Genel olarak, infüzyon veya dekoksiyon hallerinde kullanımlarında kiraz saplarının mide, böbrek, sindirim, öksürük, soğuk algınlığı, hipertansiyon v.s. gibi sorunlarda faydalı olabileceği bildirilmekle beraber (Savo vd. 2011; Cornara vd. 2014), destekleyici bağlamda daha fazla araştırmaların yapılması gerektiği açıktır. Kiraz sapının fenolik bileşenlerinin belirlenmesi ve antioksidan etkilerinin karşılaştırılması ile ilgili bir çalışmada, Güney ve Keles (2025) fenolik bileşenlerin ekstraksiyonu için 100mg öğütülmüş kiraz sapı ve %80 metanol'lü 10mL çözeltiyle 2 saat oda sıcaklığında sonikasyon yapılarak ekstratlar(öz) elde edilmiştir. Literatürde kiraz sapı ekstratlarının elde edilmesi veya tıp, ilaç, gıda v.s değişik amaçlarda kullanımı için uygulanabilecek farklı yöntemler bulunabilir. Uygulanan yöntem ile kiraz sapı profilindeki biyoaktif bileşenlerin aktivasyonu, kiraz sapının metabolizma üzerinde farklı sorunlar için faydalı kullanım alanları oluşturabilir.

Geleneksel tıp kaynaklarında kullanımı ile beraber yapılan bilimsel çalışmalar ışığında, kiraz sapının uygun miktarlarda kullanımının genel olarak; ödem atma, diüretik olarak idrar söktürme, kan şekerini regule etme hipertansiyonu düşürme, böbrek taşı düşürme, v.s gibi etkilerinden faydalanıldığı bahsedilmektedir (Liv 2026). Bununla birlikte; miktar açısından, ilaç kullanımı durumunda ve genel metabolizma fonksiyonları açısından birlikte

değerlendirildiğinde hekim kontrolünün önemli olduğunu ve dikkatli kullanmak gerektiğini vurgulamak gerekir (Liv 2026).

Bu çalışmanın amacı, kiraz sapının özellikle sağlık ve tıbbi amaçlı kullanımının etkisi üzerine literatürde yapılan araştırmaları inceleyerek bir ön derleme yapmak ve literatür derlemesi ışığında değerlendirmeler yapmaktır. Bir ön çalışma olarak yapılan literatür derlemesi kiraz sapının kullanımı hakkında yapılacak daha kapsamlı çalışmalar için faydalı olması beklenmektedir.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE DEĞERLENDİRMELER

Kiraz sapı bileşiminde bulunan fenolik asit, flavonoidler, karotenoid, tanen, antosiyan, mineraller (potasyum, kalsiyum)'den oluşan fitokimyasal profilin metabolik aktivasyonlarda önemli rol oynadığı söylenebilir (Prvulovic vd. 2011; Bursal vd. 2013; Bastos vd. 2015; Kendir ve Köroğlu 2019; Hussain vd. 2021; Jesus vd. 2022; Chezanoglou vd. 2024).

Kiraz sapının içerdiği organik asitler, flavonoidler ve minerallerin (potasyum) tetkiklemesi sonucu önemli bir idrar söktürücü özellik gösterdiği tespit edilmiş ve farmokolojik olarak diüretik etkisi yaptığı bildirilmiştir (Kültür 2007; Hooman vd. 2009; Hussain vd. 2021; Jesus vd. 2022, Liv 2026). İçeriğindeki flavonoidler ve mineraller vasıtasıyla böbreklerdeki filtrasyonu arttırdığı söylenebilir (Jesus vd. 2022). Diüretik etki ile toksik atımı desteklenir, ayrıca böbrek sağlığına katkıda bulunarak vücuttaki ödem oluşumu azaltılabilir (Liv 2026). Diüretik etki bazı klinik çalışmalar ile de gösterilmiştir (Hooman vd. 2009).

Ancak, kiraz sapının diüretik etkisi sebebi ile aşırı miktarda tüketildiğinde idrara çıkma durumu artabilir, vücutta su kaybına (dehidratasyon) sebep olabilir ve buna bağlı olarakta elektrolit dengesizliği oluşabileceğini belirtmekte fayda vardır.

Kiraz sapı infüzyonlarının anti-hiperglisemik ve antidiyabetik faydalar sağlayabileceği, içerdiği bileşenlerin glikoz ve fruktoz emilimindeki rolü ile kan şekerinin dengelenmesinde katkıda bulunabileceği ve bu sayede ileride muhtemel oluşabilecek bir diyabet riskini azaltabileceği söylenebilir (Baytop 1999; Sargın vd. 2013; Güneş 2017; Kendir ve Köroğlu 2019; Nunes vd. 2021; Liv 2026).

Kiraz sapının yapısındaki asit türevleri ve içerdiği fitokimyasal bileşimlerin aktivasyonu sayesinde inflamasyon azaltıcı ve iltihap önleyici faydalar göstererek anti-inflamatuar potansiyeline katkı sağlayabilir ve bu sebeple artrit, romatizma, eklem ağrısı v.s. gibi iltihaplı ağrıların azaltılmasına yardımcı olabilir (Kendir ve Köroğlu 2019; Jesus vd. 2022; Liv 2026).

Kiraz sapının morfolojik ve anaotomik özelliklerinin araştırıldığı bir çalışmada (Kendir ve Köroğlu 2019), hepatotoksisite, antitümör ve antioksidan gibi biyolojik aktivite çalışmalarının (Bursal vd. 2013; Bastos vd. 2015; Švarc-Gajić vd. 2018) yürütüldüğü bildirilmektedir.

Kiraz sapı ekstratlarının (özellikle sulu veya metanolik özütler) serbest radikalleri nötralize etme kapasitelerinin yüksek olduğu, zengin polifenol içeriği ile serbest radikallerle savaşıp hücreleri oksidatif hasara karşı koruduğu, hüceresel koruma sağlayarak hücre hasarını öneleyebildiği ve böylece yüksek düzeyde antioksidan faydalar sağladığı söylenebilir (Švarc-Gajić vd. 2018; Jesus vd. 2022; Nunes vd. 2021; Liv 2026). Antioksidan etki ile beraber antiradikal ve sitotoksik etkilerin de saptantığı bildirilmektedir (Švarc-Gajić vd. 2018).

Kiraz sapının kozmetik sanayinde kullanımı üzerine de çeşitli araştırmalar yapılmış, araştırmalarda anti-aging katkılar sağlayabileceği ve ekstratlarının deri için faydalı bir kozmetik içerik olabileceği değerlendirilmiştir (Garcia-Villegas vd. 2024).

Kiraz sapı ile ilgili yapılan çalışmalardaki öne çıkan sağlık faydaları değerlendirildiğinde; diüretik etki ve ödem azaltma, böbrek filtrasyon katkısı, hücre koruma ve antioksidan etki, anti-inflamatuar potansiyel, iltihap önleme, romatizma, artrit ve eklem ağrılarının azaltılmasına katkı sağlama, glikoz emilimi, antidiyabetik potansiyel faydaların oluşabileceği görülmektedir. Ancak, literatürdeki çalışmalarda sınırlamalar olduğunu unutmamak gerekir ve kiraz sapının kullanımı üzerine klinik boşluklar olduğu yani klinik çalışmaların yetersiz olduğu gözardı edilmemelidir. Bu kapsamda, modern tıpta veya fitoterapi olarak güvenli bir şekilde standardize edilebilmesi için geniş ölçekli ve uzun süreli klinik çalışmalara ihtiyaç olduğunu vurgulamak gerekir. Ayrıca, belirli sağlık problemlerine sahip riskli birey gruplarında kullanılması halinde önemli yan etkiler oluşabileceğinden hekim kontrolü altında kullanılması önem arzetmektedir.

3. SONUÇ

Bu bildiride, Latince **“**Stipites cerasarum” olarak isimlendirilen kiraz sapının kullanımı üzerine yapılan literatür çalışmasında kiraz sapının genel olarak; diüretik etki, ödem azaltma, antioksidan etki, anti-inflamatuar fayda ve antidiyabetik katkı gibi potansiyel faydalara sahip olduğu görülmüştür. Ancak, klinik çalışmaların yetersiz olduğu ve modern tıpta güvenli bir şekilde kullanılabilmesi için uzun süreli klinik çalışmaların yapılması gerektiği anlaşılmaktadır. Ayrıca, riskli gruplarda kullanımı durumunda dikkatli olunması ve hekim kontrolü altında kullanılması önem arzetmektedir.

ETİK BEYAN

Derleme niteliğinde olan bu çalışma insan ve hayvan deneyi içermediğinden etik kurul onayı gerektirmemektedir.

KAYNAKLAR

Afonso S, Oliveira IV, Meyer AS, Aires A, Saavedra MJ, Gonçalves B. (2020). Phenolic profile and bioactive potential of stems and seed kernels of sweet cherry fruit. Antioxidants 9(12), 1295. https://doi.org/10.3390/antiox9121295

Bastos C, Barros L, Duenas M, Calhelha RC, Queiroz MJRP, SantosBuelga C, Ferreira, ICFR. (2015). Chemical characterisation and bioactive properties of Prunus avium L.: The widely studied fruits and the unexplored stems. Food Chemistry 173, 1045-1053. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.10.145

Baytop T. (1999). Türkiye'de Bitkilerle Tedavi (Geçmişte ve Bugün). Nobel Tıp Kitabevleri, İstanbul:

Bursal E, Köksal E, Gülçin İ, Bilsel G, Gören AC. (2013). Antioxidant activity and polyphenol content of cherry stem (Cerasus avium L.) determined by LC–MS/MS. Food Research International 51(1), 66-74. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.11.022

Chezanoglou E, Mourtzinos I, Goula AM. (2024). Sweet cherry and its by-products as sources of valuable phenolic compounds. Trends in Food Science & Technology 145, 104367.

Cornara L., La Rocca A., Terrizzano L., Dente F., Mariotti M.G. (2014). Ethnobotanical and phytomedical knowledge in the North-Western Ligurian Alps. Journal of Ethnopharmacology 155, 463-84. https://doi.org/10.1016/j.jep.2014.05.046

FAO. (2026). Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/home/en/

García-Villegas A, Fernández-Ochoa Á, Alañón ME, Rojas-García A, Arráez-Román D, Cádiz-Gurrea MDLL, Segura-Carretero A. (2024). Bioactive compounds and potential health benefits through cosmetic applications of cherry stem extract. International Journal of Molecular Sciences 25(7), 3723.

Güner A, Aslan S, Ekim T, Vural M, Babaç MT (eds). (2012). Türkiye Bitkileri Listesi (Damarlı Bitkiler). Nezahat Gökyiğit Botanik Bahçesi ve Flora Araştırma Derneği Yayını, İstanbul:

Güneş F.(2017). Medicinal plants used in the Uzunköprü district of Edirne, Turkey. Acta Societatis Botanicorum Poloniae 6(4), 3565. https://doi.org/10.5586/asbp.3565.

Güney M, Keles H. (2025). Comparative Analysis of Total Phenolic Content and Antioxidant Activity in Cherry (Prunus avium L.) Stems from Different Cultivars in Türkiye. International Journal of Agriculture Forestry and Life Sciences 9(2), 111-115.

Hooman N, Mojab F, Nickavar B, Pouryousefi-Kermani P. (2009). Diuretic effect of powdered Cerasus avium (cherry) tails on healthy volunteers. Pakistan Journal of Pharmaceutical Sciences 22(4), 381-383.

Hussain S, Javed M, Abid MA, Khan MA, Syed SK, Faizan M, Feroz F. (2021). Prunus avium L.; Phytochemistry, nutritional and pharmacological review. Advancements in Life Sciences 8(4), 307-314.

Jesus F, Goncalves AC, Alves G, Silva LR. (2022). Health benefits of Prunus avium plant parts: An unexplored source rich in phenolic compounds. Food Reviews International 38(sup1), 118-146.

Kalyoncu IH, Ersoy N, Yılmaz M. (2009). Some physico-chemical properties and mineral contents of sweet cherry (Prunus avium L.) type grown in Konya. African Journal of Biotechnology 8(12), 2744-2749.

Kendir G, Köroğlu A. (2019). "Kiraz Sapı" adı altında satılan bitkisel materyallerin morfolojik ve anatomik özelliklerinin incelenmesi. Biological Diversity and Conservation 12(2), 92-102.

Kültür S. (2007). Medicinal plants used in Kırklareli Province (Turkey). Journal of Ethnopharmacology 111, 341-364. https://doi.org/10.1016/j.jep.2006.11.035

Liv Hospital. (2026). https://www.livhospital.com/kiraz-sapi-cayi, Last Access on 1 September 2026.

Nunes AR, Goncalves AC, Falcão A, Alves G, Silva LR. (2021). Prunus avium L.(sweet cherry) by-products: A source of phenolic compounds with antioxidant and anti-hyperglycemic properties-A review. Applied Sciences 11(18), 8516.
Prvulovic D, Popovic M, Malencic D, Ljubojevic M, Ognjanov V (2011). Phenolic compounds in sweet cherry (Prunus avium L.) petioles and their antioxidant properties. Research Journal of Agricultural Science, 43(2), 198-202.
Sargın SA, Akçicek E, Selvi S.(2013). An ethnobotanical study of medicinal plants used by the local people of Alaşehir (Manisa) in Turkey. Journal of Ethnopharmacology 150, 860-874. https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.09.040
Savo V, Giulia C, Maria GP, David R (2011). Folk phytotherapy of the Amalfi Coast (Campania, Southern Italy). Journal of Ethnopharmacology 135(2), 376-392. https://doi.org/10.1016/j.jep.2011.03.027
Švarc-Gajić J, Cerdà V, Clavijo S, Suárez R, Maškovic P, Cvetanović A, Delerue-Matos C, Carvalho AP, Novakov V. (2018). Bioactive compounds of sweet and sour cherry stems obtained by subcritical water extraction. Journal of Chemical Technology&Biotechnology 93, 1627-1635. https://doi.org/10.1002/jctb.5532

KEREVİZ SUYU'NUN ETKİSİ ÜZERİNE BİR ÖN DERLEME VE DEĞERLENDİRME

Dr Öğr. Üyesi Elif GÜLLÜ
Gaziantep University, İslahiye Meslek Yüksekokulu, 27800 İslahiye, Gaziantep
ORCID ID: 0000-0002-2632-0550
ebgullu@gantep.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, kereviz suyunun özellikle sağlık üzerindeki etkilerinin bir ön literatür derlemesi ile incelemek ve bu kapsamda değerlendirmeler yapmaktır. Kereviz suyunun incelenmesi, sahip olduğu mineraller, ftalidler, flavonoid, kumarin, v.s. gibi aktif bileşenler vasıtasıyla metabolizma üzerindeki etkilerinin anlaşılması literatürdeki çalışmalara dayalı bir çerçeve çizecek ve daha ileri araştırmalar için katkı sağlayacaktır. Lif içeriğini büyük miktarda kaybetse bile, kereviz suyu konsantre bir kaynak olarak potasyum, mağnezyum, kalsiyum gibi mineraller ve yüksek orandaki K, A, C gibi vitaminler ile faydalı bir besin profili sergilemektedir. Yapılan ön incelemelerde, mekanizmasındaki bileşenler vasıtasıyla kereviz suyunun anti-inflamatuar ve antioksidan etkilere sahip olduğu, serbest radikalleri nötralize ederek artrit gibi kronik inflamatuarları hafiflettiği ve hücre hasarını azalttığı söylenebilir. Özellikle, kereviz özlerinin açlık kan şekeri ve yüksek trigliserit seviyelerini düşürmekle beraber, genel kolesterol üzerindeki etkileri hakkında literatürde tam bir netlik oluşmadığı anlaşılmaktadır. Ancak, hipertansiyon ve kardiyovasküler etkiler açısından, kas dokusunu gevşeterek damar genişletici etkiler sağladığı gözlenmiştir. Bazı çalışmalarda, potasyum ve ftalidler nedeniyle hafif diürez etkiler gösterdiği de bildirilmiştir. Yapılan çalışmalar genel olarak değerlendirildiğinde, kereviz suyunun kullanımı faydalı görülmekle birlikte, özellikle kalp yetmezliği, böbrek hastalığı gibi bazı belirli hasta grupları için oluşabilecek riske karşı dikkatli olunması gerektiği anlaşılmaktadır. Bir ön çalışma olarak bu bildiride yapılan araştırma ve değerlendirmenin, kereviz suyunun etkileri hususunda yapılacak daha detaylı çalışmalar için fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Kereviz suyu, kereviz, sağlık, metabolik etki

A PRELIMINARY REVIEW AND EVALUATION ON THE EFECT OF CELERY JUICE

ABSTRACT

The purpose of this paper is to investigate the effects of celery juice, particularly on health, through a preliminary literature review making evaluations within this scope. Examining the celery juice and understanding its effects on metabolism functions within its active components such as minerals, phthalides, flavonoids, coumarins, etc., will provide a framework based on

existing literature and contribute to further research. Even though it loses a significant amount of its fiber content, the celery juice as a concentrated source exhibits a beneficial nutritional profile with minerals such as potassium, magnesium, and calcium, and high levels of vitamins like K, A, C, and B6. Preliminary works indicate that the celery juice through its cytokines provides with anti-inflammatory and antioxidant effects, neutralize free radicals to alleviate chronic inflammations such as arthritis and reduce cell damage. Specifically, while celery extracts may reduce fasting blood sugar and high triglyceride levels, there is no certain clarification in the literature regarding their effects on overall cholesterol. However, it has been observed to have vasodilatory effects by relaxing muscle tissue in terms of hypertension and cardiovascular effects. Some studies have also reported low diuretic effects due to potassium and phthalides. Overall, studies suggest that while the celery juice consumption is beneficial, significant caution is recommended regarding the potential risks for certain patient groups, such as those with advanced heart failure or chronic kidney disease. As a preliminary study, it is believed that the research and evaluation presented in this paper will be beneficial for more detailed studies on the effects of celery juice.

Keywords: Celery juice, celery, health, metabolic effects.

1. GİRİŞ

Kereviz suyu teknik olarak latince “Apium graveolens” olarak isimlendirilen doğrudan elde edildiği kereviz bitkisinin latince ismi ile isimlendirilip ayrıca bir latince ismi yoktur. Kereviz bitkisi “Apiaceae (Maydanozgiller)” familyasına ait iki senelik bir bitki olup, yeşil yapraklara ve krem-beyaz renge yakın köklere sahip, çiçekleri bir kaç mm’ler çapında, boyu 1 metreye kadar uzanabilmekte, kökleri ve yaprakları sebze olarak kullanılabilen keskin bir kokuya sahiptir (Yao vd. 2010; Sellami vd. 2012; Liu vd. 2021; Kılıç Büyükkurt 2025; Medipol 2026). Dünyada bazı bölgelerde yerel bitki olarak üretimi daha çok ön plana çıkan bir bitki olduğu söylenebilir (FAO 2026). Antik çağlardan beri hem kereviz bitkisinin tohumları hem de kendisi sahip olduğu güçlü aromatik yapısından dolayı baharat ve aromatik bir bitki olarak kullanılmış, ayrıca farklı sağlık problemleri için ilaç olarak kullanım alanı da bulmuştur (Momin ve Nair 2002; Han vd. 2019; Kılıç Büyükkurt 2025).

Kereviz suyu, kereviz bitkisinin yaprak, kök veya saplarından sıkılarak elde edilen sıvıyı ifade etmekte olup, ancak bu amaç için pratikte sap ve yaprakların daha çok kullanıldığı anlaşılmaktadır (Defya 2021; Memorial 2025; Medicana 2026). Bitki sıkılarak hazırlandığında bütün bir sebze olarak tüketimine kıyasla lif miktarı büyük ölçüde azalır, fakat bu durum sebzesine göre daha düşük tokluk hissi oluşturabilir (Medicana 2026).

Kereviz bitkisinin sahip olduğu flavonoidler, mineraller, saponinler, vitaminler v.s. gibi güçlü biyoaktif bileşenleri (Han vd. 2019; Sun vd. 2023) ve ftalidler, seskiterpenler, monoterpenler v.s. gibi aromatik yapısı (Yao vd. 2010; Sellami vd. 2012; Sun vd. 2023) sebebi ile kereviz suyunun da sağlık alanında kullanımı, bu bileşenlerin sağladıkları metabolik katkılar ve ayrıca ilaç, gıda v.s. diğer alanlardaki faydaları araştırmacılar için önemli bir ilgi alanı oluşturmaktadır. İçerdiği bu biyoaktif bileşenlerin etkisi ile kereviz suyunun vücutta toksinlerin atılması, sindirimin kolaylaşması, karaciğerin temizlenmesi, su ve elektrolit dengesinin sağlanması, hidratasyonun artması v.s. gibi metabolik fonksiyonlara destek olabileceği belirtilmektedir (Medipol 2026). Ancak sağladığı bu destekleyici faydaların daha fazla araştırmaya ihtiyaç duyduğu da açıktır. Bununla birlikte, her besinde olduğu gibi kereviz suyunun aşırı tüketimi kalp, hipertansiyon, böbrek rahatsızlıkları bulunan bireyler için risk oluşturabilir (Medicana 2025). Bu bağlamda bireylerin ilaç kullanım durumu ve genel metabolik fonksiyonları birlikte değerlendirildiğinde hekim kontrolünün önemli olduğunu ve dikkatli kullanmak gerektiğini vurgulamak gerekir.

Bu çalışmanın amacı, özellikle sağlık ve tıbbi amaçlı olarak kereviz suyunun kullanımının etkisi üzerine literatürde yapılan araştırmaları inceleyererek bir ön derleme yapmak ve bu çalışmalar ışıgında değerlendirmeler yapmaktır. Bir ön çalışma olarak kereviz suyu ile ilgili yapılan çalışmaların incelenmesi, kereviz suyunun kullanımı hakkında yapılacak daha detaylı çalışmalar için faydalı olacaktır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR VE DEĞERLENDİRMELER

Kereviz suyunun sebzesini oluşturan kereviz bitkisi başta potasyum, fosfor, magnezyum, demir, manganez mineralleri olmak üzere ve bunun yanısıra C, K vitaminleri ve foliat olmak üzere zengin bir kaynağa sahiptir. Ayrıca, fenolik asitler, terpenoidler, ftalidler, flavonoidler v.s. gibi biyoaktif bileşenler açısından da zengindir (Godlewska vd. 2020; Kılıç Büyükkurt 2025). İçeriğinde bulunan temel aromatik grupların (ftalidler, alkoller, monoterpenler, seskiterpenler) yanısıra sahip olduğu baskın gruplar da (terpenler-limonen bileşeni) bitkinin kullanımını oldukça teşvik etmektedir (Turner vd. 2021; Yan vd. 2021; Kılıç Büyükkurt 2025). Bitkinin sahip olduğu bu zengin bileşen yapısı sayesinde antiinflamatuar, antibakteriyel ve antimikrobiyal katkılar desteklenmektedir (Sun vd. 2023; Kılıç Büyükkurt 2025).

Bitkinin kendisindeki benzer biyoaktif ve yapısal bileşenlerin kereviz suyunda da mevcut olduğu söylenebilir. Posa olarak lif içeriğinin büyük bir kısmını kaybetse bile düşük kalorili yapısı ile konsantre bir kaynak olarak kereviz suyu A, C, K vitaminleri ve potasyum, magnezyum, kalsiyum mineralleri açsından zengindir (Alobaidi ve Saleh 2024; Medicana

2026). Fonksiyonel bir sıvı olarak kereviz suyu zengin flavonoid, kumarin, ftalid, fenolik asit v.s. gibi biyoaktif bileşenlere sahip olup, bu bileşenlerin fitokimyasal etkileri ve besin profili katkısı ile bağışıklık sistemini destekleyen güçlü bir aday ve metabolizmayı yenileyen doğal bir destek görevi görebilir (Sowbhagya 2014; Alobaidi ve Saleh 2024; Illes ve Rodrigues 2024).

Tek başına tedavi edici veya hastalık önleyici düzeyde değerlendirilmemekle beraber; kereviz suyunun yapısal mekanizmasındaki flavonoid (luteolin ve apigenin) bileşikler serbest radikalleri nötralize ederek hücresel korumaya ve oksidatif stresin azaltılmasına yardımcı olabilir, antioksidan ve anti-inflamatuar katkılar sağlayabilir, iltihap azaltmaya yardımcı olarak artrit benzeri rahatsızlıkları hafifletmede fayda sağlayabilir (Mencherini vd. 2007; Yan vd. 2022; Szarek vd. 2024; Medicana 2026).

Kereviz suyu bileşenlerindeki içerdiği ftalidler etkisi ile damar genişletici etki gösterebilir, kan akışını iyileştirebilir ve kan basıncının dengelenmesinde fayda sağlayabilir (Tang vd. 2007; Azizah vd. 2020; Alobaidi ve Saleh 2024; Medicana 2026). Biyoaktif bileşenler vasıtasyla diüretik (idrar söktürücü) etki gösterebilir ve bu etki damar genişlemesini tetikleyebilir (Alobaidi ve Saleh 2024; Liu vd. 2025).

Kereviz suyunun, içeriğinde bulunan doğal şeker ve karbonhidrat oranlarının düşük seviyelerde olduğu bildirilmekte olup bu yüzden kan şekeri seviyelerini ani yükseltmediği söylenebilir (Medicana 2026). Bu bağlamda, biyoaktif bileşenler vasıtasıyla glikoz metabolizmasının düzenlenmesine, prediyabetik ve diyabetik durumlarda açlık kan şekeri ve yüksek trigliserit seviyelerinin düşürülmesine destek olabilir, ancak genel kolesterol (LDL/HDL) üzerindeki etkileri hakkında klinik olarak tam bir netlik oluşmamıştır (Liu vd. 2025).

Yapılan bazı klinik denemelerde kereviz suyunun düzenli bir şekilde tüketiminin, ürik asit seviyelerini düşürdüğü ve gut hastalığında farmokolojik tedavi haricinde alternatif bir destek sunabileceği de bildirilmiştir (Andika vd. 2023; Ramdani vd. 2026).

Her birey için aynı sonucu vermemekle beraber sağlıklı yaşam alışkanlıklarını desteklemek amacıyla dengeli beslenmenin bir parçası olarak kereviz suyu tüketmek faydalı olabilir, ancak aşırı tüketimi ve aşırı miktarı da risk oluşturabilir, çeşitli sağlık problemlerine sebep olabilir (Medicana 2026). Ayrıca, hipertansiyon, kalp yetmezliği veya böbrek hastalığı gibi sağlık problemleri bulunan ve düzenli ilaç kullanan riskli gruptaki bireylerin kereviz suyu tüketiminde dikkatli olması gerektiği önem arzetmektedir (Medicana 2026).

Kereviz suyu hakkında yapılan çalışmaların özellikle sağlık faydaları üzerine etkileri değerlendirildiğinde; antioksidan ve anti-inflamatuar faydalar sağlayacağı, kan basıncının dengelenmesine, glikoz metabolizmasının düzenlenmesine, açlık kan şekeri ve yüksek trigliserit seviyelerinin düşürülmesine destek olacağı ve artrit benzeri rahatsızlıkların hafifletilmesinde faydalı olacağı söylenebilir. Ancak, kereviz bitkisinin salt kendi bitkisi olarak yapılan araştırmalar çoğunlukta olmakla beraber, konsantre sıvı olarak kereviz suyu hakkında yapılan çalışmaların sınırlı düzeyde olduğu gözlenmektedir. Yapılan çalışmalarda standardize olmuş bir biyoanalitik kereviz suyu dozunun bulunmadığı anlaşılmaktadır. Kereviz suyunun faydalarını desteklemek amacı ile daha fazla klinik çalışmaya ihtiyaç olduğu değerlendirilmekte olup, yapılacak klinik çalışmaların ise geniş ölçekli örnekleme boyutunda katılımcı sayısından oluşan uzun süreli araştırmalar olması gerekmektedir. Özellikle düzenli ilaç kullanan, kronik hastalıkları olan ve belirli sağlık problemlerine sahip riskli gruptaki bireylerin kereviz suyu kullanmadan önce hekim kontrolünün şart olduğunu da vurgulamak gerekir.

3. SONUÇ

Bu bildiride, kendi bitkisinin latince ismi olan “Apium graveolens” ile isimlendirilen kereviz suyunun etkileri üzerine yapılan literatür derlemesinde kereviz suyunun genel olarak; antioksidan, anti-inflamatuar, kan basıncını dengeleyici ve glikoz metabolizmasını düzenleyici gibi destekleyici faydalara sahip olduğu görülmüştür. Ancak, kereviz suyunun etkileri hakkında sınırlı çalışmalar mevcut olup, yapılan çalışmalar kilinik düzeyde yetersizdir. Ayrıca, çeşitli sağlık problemlerine sahip riskli bireylerde kereviz suyunun tüketiminde dikkatli olunmalı ve kullanımı hekim kontrolü altında olmalıdır.

ETİK BEYAN

Derleme niteliğinde olan bu çalışma insan ve hayvan deneyi içermediğinden etik kurul onayı gerektirmemektedir.

KAYNAKLAR

Alobaidi S, Saleh E. (2024). Antihypertensive property of celery: A narrative review on current knowledge. International Journal of Food Science 2024(1), 9792556.

Andika R., Hasibuan U, Fitria A. (2023). The effect of celery juice and boiled water on reducing uric acid levels in the elderly of tanjung alam. International Journal of Public Health 3(1), 484-490. https://doi.org/10.55299/ijphe.v3i1.828

Azizah NCN, Astuti D, Fanani Z, Karyati S, Kurnia W. (2020). The influence of celery juice againts blood pressure reduction in hypertension. In Journal of Physics: Conference Series (Vol.1477, No.6, p.062009). IOP Publishing.

Defya. (2021). https://www.defya.com.tr/blog/icerik/kereviz-suyu-nasil-elde-edilir?srsltid=AfmBOorD3ZFStHm-WQ3sNasYrc2WuLfqZOLt7NmE6bl7lMwbKyY8gYhE, Last Access on 5 September 2026.

FAO. (2026). Food and Agriculture Organization of the United Nations. https://www.fao.org/home/en/
Godlewska K, Pacyga P, Michalak I, Biesiada A, Szumny A, Pachura N, Piszcz U. (2020). Field-scale evaluation of botanical extracts effect on the yield, chemical composition and antioxidant activity of celeriac (Apium graveolens L. Var. rapaceum). Molecules 25(18), 4212.
Han L, Gao X, Xia T, Zhang X, Li X, Gao W. (2019). Effect of digestion on the phenolic content and antioxidant activity of celery leaf and the antioxidant mechanism via Nrf2/HO-1 signaling pathways against Dexamethasone. Journal of Food Biochemistry 43(7), e12875.
Illes J, Rodrigues J (2024). The influence of celery (Apium graveolens) juice on hypertension. In Natural products in beverages: Botany, phytochemistry, pharmacology and processing (pp.501-523). Cham: Springer International Publishing.
Kılıç Büyükkurt Ö. (2025). Farklı Kurutma Yöntemlerinin Kereviz (Apium graveolens L. rapaceum) Sap ve Yapraklarının Aroma Profili Üzerine Etkisi. Çukurova Tarım Gıda Bilim Dergisi 40(1), 181-192. doi: 10.36846/CJAFS.2025.189
Liu J, Cheng C, Zhang Z, Yang S, Zhang X. (2021) Optimization of celery leaf tea processing and the volatile components analysis. Journal of Food Processing and Preservation 45(3), e15253.
Liu D, Zhao H, Xu H, Hu J. (2025). Effects of celery (Apium graveolens) on blood pressure, glycemic and lipid profile in adults: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Frontiers in Nutrition 12, 1597680.
Medicana. (2026). https://www.medicana.com.tr/kereviz-suyu-besin-degeri-saglik-etkileri-ve-dikkat-edilmesi-gerekenler/blog/26264, Last Access on 4 September 2026
Medipol. (2026). https://medipol.com.tr/kereviz-nedir-kerevizin-faydalari-nelerdir, Last Access on 5 September 2026
Memorial. (2025). https://www.memorial.com.tr/saglik-rehberi/kerevizin-faydalari-nelerdir, Last Access on 5 September 2026
Mencherini T, Cau A, Bianco G, Loggia RD, Aquino RP, Autore G. (2007). An extract of Apium graveolens var. dulce leaves: structure of the major constituent, apiin, and its anti-inflammatory properties. Journal of Pharmacy and Pharmacology 59(6), 891-897.
Momin RA, Nair MG. (2002). Antioxidant, cyclooxygenase and topoisomerase inhibitory compounds from Apium graveolens Linn. seeds. Phytomed 9, 312-318
Ramdani D, Khairullah AR, Plumeriastuti H, Effendi MH, Pratama BP, Ugbo EN, Utari F. (2026). Role of celery (Apium graveolens) in reducing uric acid and cholesterol in experimental animals: A literature review. Open Veterinary Journal 16(6), 3861.
Sellami IH, Bettaieb I, Bourgou S, Dahmani R, Limam F, Marzouk B. (2012). Essential oil and aroma composition of leaves, stalks and roots of celery (Apium graveolens var. dulce) from Tunisa. Journal of Essential Oil Research 24(6), 513-521.
Sowbhagya HB. (2014). Chemistry, technology, and nutraceutical functions of celery (Apium graveolens L.): an overview. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 54(3), 389-398.
Sun Y, Li M, Li X, Du J, Li W, Lin Y, Zhang, Y, Wang Y, He W, Chen Q, Zhang Y, Wrang X, Luo Y, Xiong A, Tang H. (2023). Characterization of volatile organic compounds in five celery (Apium graveolens L.) cultivars with different petiole colors by HS-SPME-GC-MS. International Journal of Molecular Sciences 24(17), 13343.
Szarek N, Jaworska G, Hanus P. (2024). Profile of phenolic compounds and antioxidant activity of celery (Apium graveolens) juices obtained from pulp after α-amylase treatment from Aspergillus oryzae. Molecules 29(7), 1438.
Tang FF, Guo JX, Zhang J, Li J, Su M. (2007). Study on hypotensive and vasodilatory effects of celery juice. Food Science 28(1), 322-325.
Turner L, Dawda D, Wagstaff C, Gawthrop F, Lignou S. (2021) Influence of harvest maturity on the aroma quality of two celery (Apium graveolens) genotypes. Food chemistry 365, 130515.
Yan J, Wang H, Wang Y, Xu S, Wan Y, He L, Zhu W. (2021). Integrated metabolome and transcriptome analysis reveals candidate genes involved in metabolism of terpenoids and phthalides in celery seeds. Industrial Crops and Products 172, 114011.
Yan J, Yang X, He L, Huang Z, Zhu M, Fan L, Zhu, W. (2022). Comprehensive quality and bioactive constituent analysis of celery juice made from different cultivars. Foods 11(18), 2719.

Yao Y, Sang W, Zhou M, Ren, G. (2010). Phenolic composition and antioxidant activities of 11 celery cultivars. Journal of Food Science 75(1), C9-C13.

MİNÖR POLİTİKA VE FİLİSTİN

Dr. Öğr. Üyesi Cihan PALANCI
Munzur University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Political Science and Public Administration, Aktuluk/Tunceli
ORCID ID: 0000-0001-6766-3691

ÖZET

Bu bildiri, Gilles Deleuze ve Félix Guattari'nin kavramsallaştırdığı **"**Minör Politika" (*politique mineure*) kavramını felsefi-politik bir yönünün olmasının ötesinde bir sosyal bilim yöntemi olarak önermektedir. Ayrıca bu yöntembilimsel imkânı Filistin hakikati üzerinden somutlamaktadır. Kavram genel olarak iki filozofun minör edebiyat üzerine yazdıklarından ilhamla literatürde yer edinmektedir. Lakin teorinin somut-ampirik olarak nasıl bir yol haritası olacağıyla ilgili örneklem ihtiyacı mevcuttur. Bu bağlamda Deleuze ve Guattari'nin hem Filistin meselesindeki tutumlarını serimlemek hem de yöntemi somutlamak temel hedeflerden birisidir. Ana akım Batı dünyasında Filistin meselesi çoğunlukla, "ahlak", "insan hakları", "uluslararası hukuk", "adalet", "demokrasi", "barış", "meşruiyet" gibi aşkın ve evrenselci kategorilerle ele alınmaktadır. Ancak bu perspektif örneğin, egemen devlet aygıtının şiddetini "meşru müdafaa" söylemiyle inşa ederken, Filistinlileri "terör" kavramıyla ilişkilendirmekte ya da onları pasif kurbanlara dönüştürüp hakikati çarpıtan ideolojik bir yöntembilim yaratmaktadır. Buna karşılık minör politika ve içkinlik düzlemi, bizi hakikate karşı körleştiren bu aşkın kavramların tamamını ortadan kaldırır. Felsefi zeminini Foucaultcu **"**tarihsel ontoloji" ile kuran minör yöntem; evrenselci kalıpları reddederek, Filistin meselesini tüm karmaşası ve tekilliği içinde, "biricik bir sorunlar yumağı" olarak anlamamızı sağlar. Bu yaklaşım, Filistin halkının tarihsel eylemliliğini de vurgular.

Deleuze'ün "Filistin sadece bir halk değil, aynı zamanda bir topraktır" ifadesi bu tespitin önemli ayaklarından birisidir. Bu çerçevede minör yöntem, Filistin meselesinin altı somut boyutunu açıklar: 1- Toprağı nüfusundan arındıran yeni sömürgeci mantık. 2- Batı'nın Filistinlileri homojen "Arap" kategorisine indirgeyerek, kendine özgü dinamiklerini nötrleştirmesi. 3- ABD'nin Siyonizm'e olan desteğinin sebebinin, kendi yerli soykırımı suçunu gizleme arzusundan kaynaklanması. 4- Filistin coğrafyasında tarihsel öncelik iddiasının sürgünü meşrulaştırması. 5- Avrupa'nın Yahudilere olan tarihsel suçluluğundan kaynaklı vicdani borcunu Filistinlilere ödetmesi. 6- Toprağın zehirlenmesi, evlerin ve altyapının yıkılmasıyla yaşama imkânının sıfırlandığı yeni tip bir soykırımın uygulanması.

Anahtar Kelimeler: Deleuze, Minör Politika, Filistin

MINOR POLITICS AND PALESTINE

ABSTRACT

This paper proposes that the concept of "Minor Politics" (politique mineure), as conceptualized by Gilles Deleuze and Félix Guattari, transcends its status as a philosophical-political abstraction to become a methodology for the social sciences. Furthermore, it concretizes this methodological possibility through the lens of the Palestinian reality. The concept has generally found its place in the literature, drawing inspiration from the two philosophers' writings on minor literature. However, there is a need for examples to illustrate how the theory might serve as a concrete, empirical roadmap. In this context, one of the primary objectives is both to elucidate Deleuze and Guattari's stance on the Palestinian issue and to concretize the method. In the mainstream Western world, the Palestinian issue is mostly addressed through transcendent and universalist categories such as "morality," "human rights," "international law," "justice," "democracy," "peace," and "legitimacy." However, this major framework creates a methodological blindness that distorts the truth—for example, by covering up the violence of the sovereign state apparatus with the rhetoric of "self-defense," while framing Palestinians as "terrorists" or reducing them to passive victims. In contrast, the minor politics and immanence plane removes from circulation all of these transcendent concepts that blind us to the truth. The minor method, which establishes its philosophical foundation in Foucauldian "historical ontology," enables us to understand the Palestinian issue—in all its complexity and singularity—as a "unique tangle of problems" through an immanent understanding, by rejecting universalist frameworks. This approach brings the historical agency of the Palestinian people into view.

Deleuze's observation that "Palestine is not only a people, but also a land" is one of the ontological pillars of this examination. Within this framework, the minor method deciphers six concrete dimensions of the Palestinian question: 1- The neo-colonial logic that depopulates the land. 2- The West's fall into the sociological fallacy of homogenization, which reduces Palestinians to a homogeneous "Arab" category and thereby neutralizes their unique dynamics. 3- The fact that the U.S.'s support for Zionism stems from a desire to conceal its own crime of indigenous genocide. 4- The legitimization of exile through the claim of historical priority in the Palestinian territory. 5- Europe's attempt to make the Palestinians pay for the moral debt stemming from its historical guilt toward the Jews. 6- The implementation of a new form of genocide in which the land is poisoned and homes and infrastructure are destroyed, rendering life impossible.

Keywords: Deleuze, Minor Politics, Palestine

İCRA TAKİBİNDE VEKÂLET ÜCRETİNDEN SORUMLULUK: TAKİPTEN ÖNCE VE SONRA ÖDEMENİN HUKUKÎ SONUÇLARI

Vedat ÇALIŞKAN
PhD Candidate, Erciyes University, Institute of Social Sciences, Department of Private Law, Kayseri, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-5853-2806

ÖZET

İcra takibinde asıl borcun ödenmesi, takip gideri niteliğindeki kanunî icra vekâlet ücretinden sorumluluğu her durumda sona erdirmez. Bu çalışma, ödeme ile icra vekâlet ücreti arasındaki ilişkiyi iki aşamalı bir modelle incelemektedir. İlk aşamada takibin haklılığı, ödemenin geçerliliği, alacaklının ödemeden haberdar olup olmadığı ve takibe sebebiyet ikinci aşamada ise ödemenin zamanı ve kapsamına göre ücretin miktarı değerlendirilmektedir. Ödeme zamanı takipten önce, takipten sonra fakat ödeme veya icra emri tebliğinden önce, ödeme süresi içinde ve ödeme süresi geçtikten sonra olmak üzere dört döneme ayrılmıştır. Yargıtay 19. Hukuk Dairesinin 02.04.2015 tarihli E. 2014/17313, K. 2015/4697 sayılı kararı, takipten sonra fakat ödeme emri tebliğ edilmeden önce yapılan ödemede AAÜT m. 11/4 uyarınca üçte dört icra vekâlet ücretini açıkça uygulamıştır. Aynı yöndeki 2022 tarihli Gaziantep ve Ankara bölge adliye mahkemesi kararları ile İstanbul Bölge Adliye Mahkemesi 12. Hukuk Dairesinin 16.04.2026 tarihli kararı, bu yaklaşımın münferit bir örnek olmadığını göstermektedir. Buna karşılık Yargıtay 12. Hukuk Dairesinin E. 2011/9508, K. 2011/26895 sayılı kararı, tebliğden önceki ödemenin tahsil harcı bakımından farklı sonuç doğurduğunu ortaya koymaktadır. Çalışmada ayrıca kısmi ve haricî ödemelerin TBK m. 100 uyarınca mahsubu sulh hâlinde Avukatlık Kanunu m. 165 asıl alacağın takipten sonra fakat itirazın iptali davasından önce ödenmesi hâlinde hukukî yarar ve dosya hesabının kimin tarafından yapılacağı Yargıtay Hukuk Genel Kurulunun E. 2020/(19)11-445, K. 2022/1077 sayılı kararı çerçevesinde incelenmiştir. Sonuç olarak, ödeme zamanı gerekli fakat tek başına yeterli değildir; sorumluluğun varlığı ile ücretin oranı ve diğer takip giderlerinin doğum koşulları ayrı ayrı belirlenmelidir.

Anahtar kelimeler: İcra vekâlet ücreti, takip giderleri, ödeme, AAÜT m. 11/4, sebebiyet, tahsil harcı

LIABILITY FOR STATUTORY ATTORNEY'S FEES IN ENFORCEMENT PROCEEDINGS: LEGAL CONSEQUENCES OF PAYMENT BEFORE AND AFTER COMMENCEMENT OF ENFORCEMENT

ABSTRACT

Payment of the principal debt does not necessarily extinguish liability for the statutory attorney’s fee classified as an enforcement cost. This study examines payment and that fee

through a two-stage model. The first stage determines whether cost liability exists by considering the justification for enforcement, validity of payment, creditor knowledge, and causation. The second determines the fee by reference to timing and scope. Four periods are distinguished: payment before enforcement; payment after commencement but before service of the payment or enforcement order; payment within the statutory payment period; and payment after that period. The Istanbul Regional Court of Appeal decision of 16 April 2026 is not an isolated basis for a three-quarter fee before service. The Court of Cassation, 19th Civil Chamber, E. 2014/17313, K. 2015/4697, expressly applied Article 11/4 of the Minimum Attorney Fee Tariff where the claim was paid after commencement but before service. Decisions of the Gaziantep and Ankara Regional Courts of Appeal in 2022 follow the same line. By contrast, Court of Cassation case law shows that payment before service may prevent accrual of the collection fee, so different enforcement-cost items have different triggering conditions. The study also examines partial and external payments under Article 100 of the Turkish Code of Obligations, settlement under Article 165 of the Attorneyship Law, and payment after enforcement but before an action for annulment of objection. The General Assembly of Civil Chambers, E. 2020/(19)11-445, K. 2022/1077, is used to distinguish legal interest concerning the paid principal from ancillary claims and the enforcement office's role in the final account. The study concludes that timing is indispensable but cannot operate mechanically: liability, fee ratio, collection fees, set-off rules, and procedural consequences require separate assessment.

Keywords: Statutory attorney's fee, enforcement costs, payment, Minimum Attorney Fee Tariff, causation, collection fee

INTRODUCTION

Payment of a debt in enforcement proceedings is one of the clearest areas in which substantive law and enforcement law intersect. To the extent that payment constitutes valid performance, it may extinguish the principal debt. Once enforcement proceedings have commenced, however, interest, fees, enforcement costs, and the statutory attorney's fee must be assessed separately. Accordingly, the finding that 'the principal claim has been paid' is not equivalent to the conclusion that 'all items in the enforcement file have been extinguished' (Peksöz, 2024). Article 59 of the Enforcement and Bankruptcy Law (EBL) provides that enforcement costs are generally to be borne by the debtor. Article 138/3 provides that the attorney's fee paid by the enforcement officer in proceedings conducted through counsel under the Minimum Attorney Fee Tariff (MAFT) shall be considered enforcement costs. The General Assembly of Civil

Chambers of the Court of Cassation has decided that the statutory attorney's fee in enforcement proceedings is not the same as the contractual fee between lawyer and client and is an enforcement cost calculated objectively under the Tariff (General Assembly of Civil Chambers, E. 2018/133, K. 2022/49). The literature provides different views on the difference between statutory and contractual attorney's fees and their functions in the cost regime (Çelikoğlu, 2014; Ertanhan, 2023; Özbay & Çelik, 2026; Atalı, Ermenek, & Erdoğan, 2025).

The second normative axis of the issue is the present Article 11/4 of the MAFT. Where the debtor pays the debt 'within the payment period' in accordance with the Tariff for 2025-2026, a fee of three-quarters of that otherwise determined under the Tariff is awarded. The terminology in earlier texts is different: In Article 11/4 of the 2015 Tariff, the phrase 'within the objection period' was used (Türkiye Barolar Birliği, 2015, 2025). However, in 2015, the 19th Civil Chamber of the Court of Cassation applied the three-quarter rate when the payment was made after the start of enforcement but before the service of the payment order. That case law means that pre-service payment is not a new issue based solely on a regional court of appeal decision in 2026.

The study still employs a four-stage classification according to the time of payment, but asks two different questions at each stage. The first is whether the debtor can be made liable for the statutory attorney's fee and other enforcement costs. At this point the analysis considers whether an enforceable claim existed at the time of the commencement of proceedings, whether the payment was valid, whether the creditor was aware of the payment and who caused the need for enforcement. The second question arises only if liability is established: at what rate should the fee be calculated? This avoids confusing the amount of liability with the presence of liability.

Maturity and default must also be distinguished. Maturity is essential to whether a monetary claim is enforceable, whereas the commencement of default and default interest must be determined separately under Article 117 of the Turkish Code of Obligations (TCO), the contract between the parties, and any applicable special rules. Turkish law therefore does not impose a general 'final demand before enforcement' requirement for all monetary claims; in a particular dispute, however, prior notice may be required for purposes of default and interest. Özbek's (2015) proposal for a pre-enforcement demand for payment is likewise not a statement of a generally applicable condition under positive law, but rather a de lege ferenda proposal aimed at reducing unnecessary enforcement costs.

A further distinction is required as to scope. The study's four-period model is designed primarily for enforcement proceedings concerning monetary claims and is structured around service of the payment or enforcement order. Some decisions of the 8th Civil Chamber of the Court of Cassation concerning pre-enforcement payment and creditor knowledge were rendered in the context of enforcement of judgments and Article 33 of the EBL. Although those decisions demonstrate the importance of causation and knowledge, they should not automatically be generalized in all respects to ordinary enforcement proceedings without judgment.

RESEARCH AND FINDINGS

1. LEGAL NATURE OF THE STATUTORY ATTORNEY'S FEE IN ENFORCEMENT PROCEEDINGS AND THE TWO-STAGE ANALYSIS

The proper analysis of the statutory attorney's fee is a separation between the contractual fee and the statutory fee imposed on the losing party as an enforcement cost. The contractual fee is linked to the lawyer's contractual relationship with the client. By contrast, the fee imposed on the opposing party in the enforcement file is a statutory item calculated by the enforcement officer on the basis of the Tariff pursuant to Article 138/3 of the EBL and included among enforcement costs. The General Assembly of Civil Chambers decision E. 2018/133, K. 2022/49 clearly establishes this legal characterization. That decision should be used not as authority on the timing of payment, but as authority on the legal nature of the fee and the authority responsible for calculating it.

The rule in Article 59 of the EBL that 'enforcement costs are borne by the debtor' should likewise not be read as creating an absolute financial burden independent of the justification for enforcement. Whether enforcement costs may be imposed on the debtor is linked to whether, in the circumstances of the case, the creditor was justified in resorting to enforcement. In enforcement law, the principle of good faith and the prohibition of abuse of rights are general principles limiting the use of compulsory-enforcement powers for purposes outside their proper function (Aras, 2023; Özekes, 2009). The debate concerning unjustified enforcement and unnecessary enforcement costs proceeds in the same direction (Bal, 2023; Bulut & Yüce, 2025; Ertanhan, 2026).

The first filter is therefore the question: 'Does liability exist?' If enforcement was justifiably commenced and the conditions for accrual of the statutory fee are satisfied, the analysis moves to the second filter: 'At what amount or rate should the fee be calculated?' Article 11/4 of the MAFT attaches a specific consequence to the timing of payment at this second stage. State

fees, however, need not be triggered by the same dates. As shown below, payment before service may produce different consequences for the statutory attorney's fee and the collection fee.

2. PAYMENT BEFORE ENFORCEMENT: PERFORMANCE, CREDITOR KNOWLEDGE, AND CAUSATION

The first consequence of payment made before enforcement arises under substantive law. If payment is made to the proper creditor, in respect of the correct debt, and in a manner corresponding to the scope of the obligation, the debt may be extinguished in whole or in part. For liability for enforcement costs, however, the mere fact that a bank receipt chronologically predates commencement of enforcement is not always sufficient. Court of Cassation practice also attaches importance to whether the creditor knew of the payment and to which party caused the need for enforcement.

In the decision of the 8th Civil Chamber of the Court of Cassation dated 4 November 2015, E. 2015/15392, K. 2015/19647, the debtor made payment at 10:19 on the same day and enforcement of a judgment was commenced at 11:13. The debtor did not allege that the creditor was aware of the payment, and counsel for the creditor stated that no notice had been given. Although the payment chronologically preceded commencement of enforcement, the Chamber held that the creditor was justified in commencing enforcement and concluded that the debtor was liable for the attorney's fee and enforcement costs calculated as of the enforcement date. It should be expressly noted that the decision was rendered in the context of enforcement of a judgment.

The same approach is even clearer in the decision of the 8th Civil Chamber dated 8 March 2017, E. 2017/1771, K. 2017/3135. Payment was made into the creditor's account two days before enforcement, but it could not be proven that the creditor or counsel had been informed of the payment before proceedings were commenced. The Chamber found no irregularity in the commencement of enforcement and, holding the debtor liable for enforcement costs, the statutory attorney's fee, and interest, directed that the balance be calculated under Article 100 of the TCO and Article 33 of the EBL. The 8th Civil Chamber decision E. 2015/13525, K. 2017/15055 likewise adopts the same approach to a payment made approximately three hours before enforcement but not communicated to the creditor.

These decisions cannot be generalized into a rule that 'payment before enforcement always gives rise to an attorney's fee.' On the contrary, their common denominator is the creditor's state of knowledge at the time of enforcement and whether commencement of proceedings was

justified. Where the debt had been extinguished before enforcement and the creditor knew this, or could clearly be expected to know it in the circumstances, commencing proceedings solely to generate enforcement costs should be assessed separately under Article 2 of the Turkish Civil Code (TCC). Bulut and Yüce (2025) and Ertanhan (2026) discuss this balance of interests within the framework of the principle of good faith.

Accordingly, the test of payment before enforcement has three steps: (i) to what extent did payment extinguish the debt under substantive law, (ii) did the creditor know of the payment when enforcement was commenced, or should the creditor reasonably have been expected to know of it in the circumstances and (iii) despite that payment, was resort to enforcement objectively justified. This approach safeguards the debtor from unnecessary enforcement costs and prevents justified enforcement costs from being eliminated simply on the basis of a payment of which the creditor was unaware.

3. PAYMENT AFTER COMMENCEMENT OF ENFORCEMENT BUT BEFORE SERVICE OF THE PAYMENT OR ENFORCEMENT ORDER

The time period that is the subject of this study is the period from the filing of the request for enforcement to the service of the payment or the enforcement order on the debtor. Enforcement proceedings have been commenced at this stage but no service has been effected which would start the statutory payment or objection period. Three separate issues must be distinguished: whether liability for enforcement costs exists, the applicable rate of the statutory attorney's fee, and whether the collection fee accrues.

Older and newer Court of Cassation case law supports the same basic proposition as to the existence of liability. In the General Assembly of Civil Chambers decision of 11 February 2004, E. 2004/12-70, K. 2004/56, payment of the debt one day after enforcement was not considered an obstacle to the creditor's continuation of proceedings in respect of enforcement costs and the attorney's fee generated by a justified enforcement action. In the 6th Civil Chamber decision of 10 March 2022, E. 2022/895, K. 2022/1288, enforcement was commenced through UYAP at approximately 16:00, payment was made at 17:11 the same day, and the payment order had not been served. The Chamber held that a payment made on the same day, but after commencement of enforcement, could not be treated as a pre-enforcement payment and that, if the creditor was justified in commencing enforcement, the debtor would be liable for the statutory attorney's fee and enforcement costs as of the enforcement date. These two decisions primarily concern the existence of liability; standing alone, they do not resolve the applicable fee rate.

The decision of the 19th Civil Chamber of the Court of Cassation dated 2 April 2015, E. 2014/17313, K. 2015/4697, is the fundamental decision to be taken into account in terms of the fee rate. The case was an action to set aside an objection and the claim which was subject to execution had been paid after the institution of the proceedings but before service of the payment order. The Chamber explicitly held that, in accordance with Article 11/4 of the MAFT, the statutory attorney's fee to be awarded to the creditor was to be three quarters of the fee otherwise applicable and corrected the judgment awarding the full fee. Thus, the three-quarter application to pre-service payment is not only an isolated regional court of appeal approach which only arises in 2026 but there is direct Court of Cassation authority for it.

The same line is repeated in later decisions of the regional court of appeal. In the decision of the Gaziantep Regional Court of Appeal, 11th Civil Chamber, dated 23 March 2022, E. 2020/1177, K. 2022/523, the court held that enforcement was justified, where payment was made after commencement but before service of the enforcement order, that the statutory attorney's fee should be calculated at the three-quarter rate, and that no collection fee accrued. Similarly, in its decision of 18 May 2022, E. 2020/612, K. 2022/664, the Ankara Regional Court of Appeal, 21st Civil Chamber, accepted a three-quarter attorney's fee under the Tariff applicable to the relevant period where the debt was paid before service of the payment order, while concluding that no collection fee could be charged because service had not occurred.

A recent example of this line of authority is the decision of Istanbul Regional Court of Appeal, 12th Civil Chamber, 16 April 2026, E. 2026/586, K. 2026/718. The enforcement was initiated on 4 September 2024 for a principal claim of TRY 642,950. The payment order was drawn up on 10 September 2024 and served on 16 September 2024; and on 11 September 2024 the debtor paid the full principal amount of TRY 642,950 directly to the creditor outside the enforcement office. The Chamber calculated the interest up to the date of payment, costs of enforcement, and the three-quarter statutory attorney's fee and deducted the external payment from the total debt. The principal was paid in full but the total file debt was still outstanding because of ancillary items and should not, therefore, be described as a 'partial payment of principal.'

In the light of these decisions, the characterization of pre-service payment as a 'normative gap' is unpersuasive. It is truer to say that there is an interpretative tension between the language of the Tariff and judicial practice. The 2015 MAFT Article 11/4 used the expression 'within the objection period' but the 2025-2026 text uses 'within the payment period'. Both periods generally begin with service, but the 19th Civil Chamber and subsequent regional court decisions have placed payment before service within the three-quarter regime. That result is a

doctrinal matter separate from the express holdings of the decisions. It is capable of being explained by purposive or functional interpretation. But a theoretical explanation, not stated in the reasoning of the judgments, should not be advanced as if it were the rationale of the courts. The collection fee doesn't come to the same conclusion. No collection fee shall be collected until the stage of enforcement to which it is attached has been reached. No collection fee shall be collected in respect of a payment made before service of the payment or enforcement order. (Decision of the 12th Civil Chamber of the Court of Cassation dated 6 December 2011, E. 2011/9508, K. 2011/26895). The same distinction is maintained in the 2022 decisions of the 11th Civil Chamber of the Gaziantep Regional Court of Appeal and the 21st Civil Chamber of the Ankara Regional Court of Appeal. So the pre-service payment could create a three-quarter statutory attorney's fee while there is no collection fee accruing. This shows that different items under the heading of 'enforcement costs' are not triggered by identical conditions.

4. PAYMENT WITHIN THE STATUTORY PAYMENT PERIOD: ARTICLE 11/4 OF THE MAFT

The Tariff as it exists today directly regulates the situation of full payment of the debt within the term of payment stipulated for the corresponding form of enforcement, after the due notification of the payment order. If the debt is paid by the debtor within the payment period, three quarters of the fee determined under the Tariff is awarded according to Article 11/4 of the 2025-2026 MAFT, the same rule applies to matters subject to a fixed fee (Türkiye Barolar Birliği, 2025).

The scope of the phrase 'payment of the debt' is important. In its decision of 12 February 2020, E. 2019/2887, K. 2020/413, the 15th Civil Chamber of the Court of Cassation held that the conditions of Article 11/4 of the MAFT were not satisfied because the entire debt had not been paid after commencement of enforcement and before expiry of the payment period, and that the creditor was therefore entitled to the full fee prescribed by the Tariff. Payment of any amount within the payment period is thus not equivalent to payment of the debt in full.

This does not mean that partial payment has no legal consequence. A partial payment may reduce the outstanding debt and affect the allocation of payment under Article 100 of the TCO. For the three-quarter reduction under Article 11/4 to apply to the enforcement proceeding as a whole, however, the criterion adopted by the decision is full payment.

5. PAYMENT AFTER EXPIRY OF THE STATUTORY PAYMENT PERIOD

Where the debt is paid after expiry of the payment period, the condition for the special three-quarter rule in Article 11/4 of the MAFT is not satisfied. If enforcement was justifiably

commenced and the debt was not fully extinguished within the payment period, the Tariff's general full-fee regime comes into play. This result follows primarily from the wording of the current Tariff; the 15th Civil Chamber decision E. 2019/2887, K. 2020/413 also confirms the importance of the full-payment requirement.

The decision of the 19th Civil Chamber dated 9 December 2015, E. 2015/7367, K. 2015/16550, supports a different and narrower proposition. In that case, the principal claim was paid after commencement of enforcement, but the statutory attorney's fee remained unpaid. The Chamber affirmed the continuation of enforcement in respect of the attorney's fee on the ground that the debtor had caused the need for enforcement. This decision should therefore be used not as direct authority for the proposition 'full fee because the payment period expired,' but as authority for the proposition that payment of the principal after commencement of enforcement does not automatically extinguish liability for a statutory attorney's fee that has already accrued.

The expiry of the period for payment cannot retrospectively ratify the enforcement proceeding which was not justified from the outset. Thus the first filter must still be applied before calculating the full fee: was the creditor justified in initiating enforcement and did liability for costs arise at the date of enforcement.

6. PARTIAL AND EXTERNAL PAYMENTS: ALLOCATION UNDER ARTICLE 100 OF THE TCO

An external payment is a payment made directly to the creditor or to an account designated by the creditor, instead of to the enforcement office. Such a payment may extinguish the principal debt in whole or part, but the treatment of interest, costs and the statutory attorney's fee in the enforcement account must be determined separately. In their study of withdrawal of ordinary attachment proceedings and issues arising from external collection, Erzurumlu Işık and Korkmaz (2024) show that external collection and declarations of intent concerning termination of enforcement proceedings must also be assessed independently from the perspective of enforcement law.

Under Article 100 of the TCO, where the debtor is not in arrears with respect to interest or costs, the debtor is entitled to deduct a partial payment from the principal obligation. Conversely, where interest or costs are in arrears, a partial payment may not necessarily be allocated directly to principal. Gümüş (2013) examines the allocation regime under Article 100 in detail. Accordingly, no unconditional formula should be used to the effect that 'every partial

payment must first be applied to interest and costs'; the statutory conditions must be examined in the specific enforcement file.

In the decisions of the 8th Civil Chamber of the Court of Cassation E. 2017/1771, K. 2017/3135 and E. 2015/13525, K. 2017/15055, both concerning enforcement of judgments, the Court emphasized that where payment was made before enforcement but not communicated to the creditor, the outstanding balance had to be calculated under Article 100 of the TCO by taking enforcement costs, the statutory attorney's fee, and interest into account. In the decision E. 2014/17313, K. 2015/4697 of the 19th Civil Chamber the principal paid after the beginning of the service and the ancillary items were treated in the same calculation.

The creditor requested in the enforcement application that the partial payments be allocated to interest and costs first pursuant to Article 100 of the TCO in the decision of the 12th Civil Chamber of the Istanbul Regional Court of Appeal dated 2026. The Chamber added the interest accrued until the payment date, the three-quarter statutory attorney's fee and enforcement costs to the total debt and subtracted the external payment from that total. This calculation should be read in conjunction with the specific enforcement request and debt items in the case and should not be presented as an abstract mathematical sequence applicable to every enforcement file.

7. ARTICLE 165 OF THE ATTORNEYSHIP LAW IN CASES OF SETTLEMENT OR AGREEMENT

The unilateral payment by the debtor, the termination of the dispute by settlement or other agreement between the parties are different legal events. A unilateral payment raises primarily performance, allocation, and enforcement cost issues. Conversely, when the matter is concluded and left without further pursuit through the mutual agreement of the parties, Article 165 of the Attorneyship Law establishes a special regime of joint and several liability.

The Grand General Assembly of the Court of Cassation for the Unification of Judgments' decision of 5 October 2018, E. 2017/6, K. 2018/9, states that the attorney's fee, for which the parties are jointly and severally liable under Article 165, does not include the contractual attorney's fee payable under the agreement between the lawyer and the client. If a payment is made during enforcement, it must be assessed as to whether it is unilateral performance or a settlement agreed by contract, and statutory and contractual attorney's fees must be kept separate.

8. PROCEDURAL CONSEQUENCES AFTER PAYMENT OF THE PRINCIPAL CLAIM: LEGAL INTEREST, ACTION FOR ANNULMENT OF OBJECTION, AND THE ENFORCEMENT FILE ACCOUNT

Payment of the principal after the inception of enforcement does not give rise to mere issues of substantive law and fee calculation. If the debtor has objected to enforcement, it also affects the scope of legal interest in an action for annulment of objection and the question as to which authority should calculate the ancillary items. This procedural aspect remains incomplete if the analysis is limited to the question ‘does the attorney’s fee survive payment of the debt?

According to the decision of the 19th Civil Chamber of the Court of Cassation dated 20 March 2014, E. 2014/2717, K. 2014/5490, although most of the principal was paid after the commencement of enforcement and before the receipt of the payment order, the creditor was held to have a legal interest in bringing an action for the annulment of the objection as to interest from the enforcement date to the payment date, and the enforcement fees, costs and statutory attorney's fee. As for those items, the Chamber said, the court should annul the objection without specifying the amounts.

This distinction was systematized in detail by the General Assembly of Civil Chambers in its decision of 29 June 2022, E. 2020/(19)11-445, K. 2022/1077. If the debtor pays full the principal claim subject to enforcement before the action for annulment of objection is instituted, there is no legal interest in the institution of the action if the principal already paid. But if the debtor’s objection has prevented enforcement and the enforcement costs and ancillary claims remain unpaid, there is a legal interest in seeking annulment of the objection insofar as those items are concerned. According to the General Assembly, rather than having the amounts of those ancillary items calculated by an expert and including them numerically in the judgment, the court should annul the objection as to those items and order continuation of enforcement; the amounts should then be determined by the enforcement office in the file or closing account. The same decision also held that, where no principal amount remained outstanding apart from ancillary claims, there was no basis on which to calculate compensation for unjustified objection (icra inkâr tazminatı).

One of the recent ones is the final decision of the Istanbul Regional Court of Appeal, 17th Civil Chamber, 18 December 2025, E. 2022/507, K. 2025/1703. The Chamber found that payment of the principal after the commencement of enforcement but before the service of the payment order did not discharge liability for enforcement costs and the statutory attorney’s fee. However, it was appropriate not to determine their amounts separately in the court judgment

and to leave the calculation to the closing account of the enforcement office at the enforcement stage. This procedural distinction proves that the question of the accrual of attorney's fees and the question of identifying the authority responsible for calculating the amount of attorney's fees are separate.

9. INTEGRATED ASSESSMENT: FOUR TIME PERIODS, TWO FILTERS, AND TWO CROSS-CHECKS

When the verified legislation and case law are taken together, the four-period model should be retained, but not as a purely chronological scheme. The first filter is whether or not liability exists. If the payment was made before enforcement, the analysis should establish if the payment extinguished the debt, if the creditor knew of the payment and who caused the need for enforcement. If the payment was made after the commencement, the question is whether the creditor was entitled to file the enforcement request at that time. The decisions of the 8th Civil Chamber regarding the enforcement of judgments are especially useful in showing the importance of knowledge of creditors.

The second filter is the amount of the fee. MAFT Article 11/4 currently says that if the debt is paid in full during the period for payment, the fee is three-quarters. If the debt is not paid in full by that date, the 2020 decision of the 15th Civil Chamber supports the full-fee outcome. The line of authority on the application of the three-quarter rate is the 2015 decision of the 19th Civil Chamber, Gaziantep and Ankara Regional Court of Appeal decisions of 2022 and Istanbul Regional Court of Appeal decision of 2026 as to pre-service payment. It is better in this respect to speak of this category not as a 'uncertain area based on a single regional court decision', but an area of interpretive tension between the wording of the Tariff and judicial practice.

And we have to keep two crosschecks. First, in case of partial or external payment, the distribution of payment and its effect on the items in the enforcement file must be reviewed in terms of Article 100 of the TCO. Second, in cases where the payment is part of a settlement or an agreement, Article 165 of the Attorneyship Law should be considered. Moreover, the collection fee is a separate matter: the rulings of the 12th Civil Chamber of the Court of Cassation and regional courts in 2022 indicate that a three-quarter attorney's fee can be charged before service, but no collection fee can.

Finally, where the principal is paid after the debtor has objected to enforcement, the principles set out in the General Assembly of Civil Chambers decision E. 2020/(19)11-445, K. 2022/1077 regarding legal interest in an action for annulment of objection and the competent authority for

the calculation must be applied. This yields a five-question sequence: (i) was there an enforceable claim on the date enforcement was commenced; (ii) was enforcement justified and who caused the costs; (iii) at what stage and to what extent was payment made; (iv) what separate accrual and rate rules apply to the attorney's fee, collection fee, and other costs; and (v) if there was an objection, is calculation of the ancillary items a task for the court or for the enforcement office? This sequence provides a solution without conflating the different legal effects of the same fact of 'payment.'

CONCLUSION

The statutory attorney's fee in enforcement proceedings is an item included among enforcement costs under Article 138/3 of the EBL and calculated according to the MAFT. If enforcement was justifiably commenced, payment of the principal does not in every case automatically extinguish this fee or the other enforcement costs. At the same time, liability for the fee is not an automatic consequence independent of the timing and circumstances of payment.

With respect to payment before enforcement, the decisions of the 8th Civil Chamber of the Court of Cassation concerning enforcement of judgments demonstrate that, alongside chronology, creditor knowledge of the payment and the justification for enforcement are important. Without automatically generalizing them to enforcement proceedings without judgment, these decisions should be used as authorities explaining the relevance of causation and knowledge. Turkish law does not impose a general pre-enforcement notice requirement for all monetary claims, and default and the commencement of interest must likewise be assessed separately from maturity and the right to enforce.

The principal correction regarding payment after commencement of enforcement but before service of the payment or enforcement order is that the three-quarter attorney's fee does not rest solely on the 2026 Istanbul Regional Court of Appeal decision. The 19th Civil Chamber decision E. 2014/17313, K. 2015/4697 expressly reached the same result; the 2022 decisions of the Gaziantep Regional Court of Appeal, 11th Civil Chamber, and the Ankara Regional Court of Appeal, 21st Civil Chamber, continued that line; and the 2026 decision of the Istanbul Regional Court of Appeal, 12th Civil Chamber, is a recent example. Pre-service payment should therefore be presented, without overgeneralizing it as a definitively settled rule, as a three-quarter line of authority supported by decisions of both the Court of Cassation and regional courts of appeal.

At the same stage, the collection fee must be assessed separately. The 12th Civil Chamber decision E. 2011/9508, K. 2011/26895 and the 2022 Gaziantep and Ankara regional court decisions hold that no collection fee may be charged on payment made before service of the payment or enforcement order. Thus, within the same period, a three-quarter statutory attorney's fee may accrue while the collection fee does not.

Where the debt is paid in full within the payment period, the current Article 11/4 of the MAFT directly provides for a three-quarter fee. If the entire debt is not paid within that period, the 2020 decision of the 15th Civil Chamber supports the full fee. The 19th Civil Chamber decision E. 2015/7367, K. 2015/16550 should be understood not as a special rate decision concerning expiry of the payment period, but as an example showing that payment of the principal after commencement of enforcement does not itself extinguish liability for the statutory attorney's fee.

Partial and external payments are to be applied separately under Article 100 of the TCO. In cases of settlement or agreement, it is necessary to consider Article 165 of the Attorneyship Law. In the case where the principal is paid during the enforcement proceedings after the debtor's objection but before the lawsuit for annulment of the objection is filed, the decision of the General Assembly of Civil Chambers E. 2020/(19)11-445, K. 2022/1077 states that the legal interest may disappear in respect of the principal already paid the ancillary items and enforcement costs continue to accrue legal interest. As a rule, the specific amount of these items should be determined in the file account of the enforcement office.

In conclusion, the safest method is to apply the four time periods together with the two filters: first determine whether liability for enforcement costs exists, and then determine the amount of the fee. The special rules concerning the collection fee and an action for annulment of objection must then be assessed separately, together with the cross-checks under Article 100 of the TCO and Article 165 of the Attorneyship Law. This model makes it possible to read different decisions of the Court of Cassation and regional courts of appeal within a common and verifiable framework without attributing general conclusions to the legislation that it does not state.

REFERENCES

Aras, A. (2023). İcra hukukunda hakkın kötüye kullanılması yasağı. Adalet Yayınevi.
Atalı, M., Ermenek, İ., & Erdoğan, E. (2025). İcra ve iflâs hukuku (9. bs.). Yetkin Yayınları.
Bal, N. (2023). Haksız takip nedenine dayanan tazminat sorumluluğu. Yetkin Yayınları.
Bulut, U., & Yüce, F. (2025). İcra takibine başvuruda dürüstlük kuralına aykırılık ve sonuçları. Yıldırım Beyazıt Hukuk Dergisi, (2), 773-832. https://doi.org/10.33432/ybuhukuk.1651399
Çelikoğlu, C. T. (2014). Karşı tarafa tahmil olunan avukatlık ücretinin hukuki niteliği. Dokuz Eylül Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 16, 1093-1139.

Ertanhan, M. (2023). Yargılama ve takip giderleri (2. bs.). Seçkin Yayıncılık.
Ertanhan, M. (2026). Cebrî icra hukukunda dürüstlük kuralı ve para alacaklarında cebrî icraya başvuru hakkının dürüstlük kurallarına aykırı kullanımı ve sonuçları. Dokuz Eylül Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 28(1), 265-327. https://doi.org/10.33717/deuhfd.1860590
Erzurumlu Işık, N., & Korkmaz, C. (2024). Yargı kararları çerçevesinde genel haciz yoluyla takibin geri alınması ve icra hukuku bakımından yarattığı bazı sorunlar. Ankara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 73(2), 1191-1254. https://doi.org/10.33629/auhfd.1408792
Gümüş, M. A. (2013). Türk Borçlar Kanunu (TBK) m. 100 (eBK m. 84)'ün mahsup kuralına ilişkin bir inceleme. Yaşar Üniversitesi E-Dergisi, 8(Özel), 1253-1292.
Kuru, B., & Aydın, B. (2023). İstinaf sistemine göre yazılmış icra ve iflâs hukuku ders kitabı (8. bs.). Yetkin Yayınları.
Özbay, İ., & Çelik, F. (2026). Yargılama gideri olan vekâlet ücretinin aidiyeti meselesi ve kanun koyucunun konuya ilişkin yaklaşımı. Süleyman Demirel Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 16(1), 1031-1062. https://doi.org/10.52273/sduhfd.1904884
Özbek, M. S. (2015). Takip talebinden önce borçludan ödeme ön talebinde bulunma zorunluluğu. E. Hanağası & M. Göksu (Ed.), Prof. Dr. Ramazan Arslan'a armağan (C. 2, ss. 1213-1273). Yetkin Yayınları.
Özekes, M. (2005). Yargılamada dürüstlük kuralına aykırı davranan taraf aleyhine hükmedilecek vekâlet ücreti. Medenî Usûl ve İcra-İflâs Hukuku Dergisi, 2005/1, 29-49.
Özekes, M. (2009). İcra hukukunda temel haklar ve ilkeler. Adalet Yayınevi.
Pekcanıtez, H., Atalay, O., Sungurtekin Özkan, M., & Özekes, M. (2025). İcra ve iflâs hukuku ders kitabı (12. bs.). On İki Levha Yayıncılık.
Peksöz, V. (2024). İcra takibi ile para borcunun tahsil edilmesinin borçlu temerrüdüne etkisi. Yıldırım Beyazıt Hukuk Dergisi, (2), 223-248. https://doi.org/10.33432/ybuhukuk.1442927
Türkiye Barolar Birliği. (2015). Avukatlık Asgari Ücret Tarifesi (RG 31.12.2014, S. 29222; m. 11/4 değişik RG 09.11.2015, S. 29527).
Türkiye Barolar Birliği. (2025). Avukatlık Asgari Ücret Tarifesi (RG 04.11.2025, S. 33067; son değişiklik RG 28.03.2026, S. 33207).

COURT DECISIONS

Court of Cassation, General Assembly of Civil Chambers, 11.02.2004, E. 2004/12-70, K. 2004/56.
Court of Cassation, 12th Civil Chamber, 06.12.2011, E. 2011/9508, K. 2011/26895.
Court of Cassation, 19th Civil Chamber, 20.03.2014, E. 2014/2717, K. 2014/5490.
Court of Cassation, 19th Civil Chamber, 02.04.2015, E. 2014/17313, K. 2015/4697.
Court of Cassation, 8th Civil Chamber, 04.11.2015, E. 2015/15392, K. 2015/19647.
Court of Cassation, 19th Civil Chamber, 09.12.2015, E. 2015/7367, K. 2015/16550.
Court of Cassation, 8th Civil Chamber, 08.03.2017, E. 2017/1771, K. 2017/3135.
Court of Cassation, 8th Civil Chamber, 13.11.2017, E. 2015/13525, K. 2017/15055.
Court of Cassation, Grand General Assembly for the Unification of Judgments, 05.10.2018, E. 2017/6, K. 2018/9 (Official Gazette 20.03.2019, No. 30720).
Court of Cassation, 15th Civil Chamber, 12.02.2020, E. 2019/2887, K. 2020/413.
Court of Cassation, General Assembly of Civil Chambers, 25.01.2022, E. 2018/133, K. 2022/49.
Court of Cassation, 6th Civil Chamber, 10.03.2022, E. 2022/895, K. 2022/1288.
Gaziantep Regional Court of Appeal, 11th Civil Chamber, 23.03.2022, E. 2020/1177, K. 2022/523.
Ankara Regional Court of Appeal, 21st Civil Chamber, 18.05.2022, E. 2020/612, K. 2022/664.
Court of Cassation, General Assembly of Civil Chambers, 29.06.2022, E. 2020/(19)11-445, K. 2022/1077.
Istanbul Regional Court of Appeal, 17th Civil Chamber, 18.12.2025, E. 2022/507, K. 2025/1703.
Istanbul Regional Court of Appeal, 12th Civil Chamber, 16.04.2026, E. 2026/586, K. 2026/718.

LEGISLATION

Attorneyship Law No. 1136.
Enforcement and Bankruptcy Law No. 2004.
Turkish Civil Code No. 4721.
Fees Law No. 492.
Turkish Code of Obligations No. 6098.

TÜRKİYE-IRAK SINIRINDA ASURİ MESELESİ: İSKÂN ARAYIŞLARI VE TÜRKİYE'NİN GÜVENLİK KAYGILARI (1932-1937)

Doç. Dr. Ferit YÜCEBAŞ
Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Edebiyat Fakültesi, Tarih Bölümü, feritycebas@yyu.edu.tr
ORCID ID: 000-0002-4645-1734

ÖZET

Birinci Dünya Savaşı'nın ardından Ortadoğu'da meydana gelen siyasî ve coğrafi değişimler, bölgedeki etnik ve dinî toplulukların statüsü ve geleceğine ilişkin yeni sorunları beraberinde getirmiştir. Bu süreçte özellikle Irak'ın kuzeyinde yaşayan Asurilerin siyasî statüleri ve iskânları, Türkiye-Irak sınır hattını da ilgilendiren uluslararası bir mesele hâline gelmiştir. İngiliz mandasının sona ermesi ve Irak'ın bağımsızlığını kazanmasıyla birlikte Asurilerin toplu olarak iskân edilme talepleri ile kendilerine müstakil veya muhtar bir yaşam alanı oluşturulmasına yönelik girişimleri Milletler Cemiyetinin gündemine taşınmıştır. Bu arayışlar içerisinde Hakkâri ve çevresinin Asurilerin eski yurtları olduğu yönündeki iddiaların gündeme gelmesi, meselenin Türkiye açısından doğrudan bir sınır ve güvenlik sorununa dönüşmesine yol açmıştır. Bu çalışma, Türkiye-Irak sınırında ortaya çıkan Asuri meselesini, Asurilerin iskân arayışları ile Türkiye'nin güvenlik kaygıları arasındaki ilişki çerçevesinde incelemeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, Irak'taki Asurilerin iskânına yönelik girişimler, Hakkâri ve çevresine ilişkin talepler, Milletler Cemiyeti nezdindeki faaliyetler ve İngiltere ile Fransa'nın meseleye yönelik tutumları ele alınacaktır. Bunun yanı sıra Irak ve Suriye'de yaşanan gelişmeler sonucunda silahlı Asuri gruplarının Türkiye sınırına yönelme ihtimali karşısında Ankara'nın sınır güvenliğini sağlamaya yönelik askerî, idarî ve diplomatik tedbirleri değerlendirilecektir. Türkiye'nin Asurilerin sınır bölgelerine yakın yerlerde iskân edilmesine yönelik yaklaşımı da güvenlik algısının şekillenmesinde etkili olan bölgesel gelişmeler bağlamında incelenecektir. Çalışmanın temel kaynaklarını Cumhurbaşkanlığı Devlet Arşivleri Başkanlığı Cumhuriyet Arşivi ile Dışişleri Bakanlığı Türk Diplomatik Arşivinde yer alan belgeler oluşturmaktadır. Arşiv belgeleri dönemin ulusal ve uluslararası literatürüyle birlikte değerlendirilerek Asuri meselesinin yalnızca bir iskân sorunu olmadığı, Türkiye-Irak sınırının güvenliği, bölgesel güç mücadeleleri ve dönemin azınlık politikalarıyla bağlantılı çok boyutlu bir mesele olduğu ortaya konulmaya çalışılacaktır.

Anahtar Kelimeler: Asuriler, Türkiye-Irak Sınırı, Hakkâri, İskân, Güvenlik, Milletler Cemiyeti.

THE ASSYRIAN QUESTION ON THE TÜRKIYE-IRAQ BORDER: SETTLEMENT EFFORTS AND TÜRKIYE'S SECURITY CONCERNS (1932-1937)

ABSTRACT

The political and territorial transformations that took place in the Middle East in the aftermath of the First World War brought about new challenges concerning the status and future of the region's ethnic and religious communities. In this context, the political status and settlement of the Assyrians, particularly those living in northern Iraq, emerged as an international issue that also directly concerned the Türkiye-Iraq border. Following the termination of the British Mandate and Iraq's attainment of independence, Assyrian demands for collective settlement and their attempts to secure an independent or autonomous area of settlement were brought before the League of Nations. Within the framework of these efforts, claims that Hakkâri and its surrounding areas constituted the ancestral homeland of the Assyrians brought the issue into direct connection with Türkiye's border and security concerns. This study aims to examine the Assyrian question along the Türkiye-Iraq border within the framework of the relationship between Assyrian settlement efforts and Türkiye's security concerns. It focuses on initiatives concerning the settlement of the Assyrians in Iraq, claims regarding Hakkâri and its surrounding areas, activities undertaken before the League of Nations, and the approaches adopted by Britain and France toward the issue. In addition, the study evaluates the military, administrative, and diplomatic measures taken by Ankara to secure its borders in response to the possibility that armed Assyrian groups might move toward the Turkish border as a result of developments in Iraq and Syria. Türkiye's approach to the settlement of Assyrians in areas close to its borders is also examined within the context of regional developments that shaped its security perceptions. The study is primarily based on documents from the Republican Archives of the Presidency of the Republic of Türkiye Directorate of State Archives and the Turkish Diplomatic Archives of the Ministry of Foreign Affairs. By examining these archival documents alongside relevant national and international literature, the study seeks to demonstrate that the Assyrian question was not merely a matter of settlement but a multidimensional issue closely connected with the security of the Türkiye-Iraq border, regional power struggles, and the minority policies of the period.

Keywords: Assyrians, Türkiye-Iraq Border, Hakkâri, Settlement, Security, League of Nations.

ŞİT MİTİNİN ALEVİ KOLEKTİF BELLEĞİNDE GÖRÜNEN SOY ÇATALLAŞMASININ SOSYAL VE TARİHSEL ARKA PLANI

Dr. Öğretim Üyesi Hulusi YILMAZ
Nevşehir Hacı Bektaş Veli University, Faculty of Art-Science, Department of Sociology, 50300 Merkez, Nevşehir
ORCID ID: 0000-0002-9170-7604

ÖZET

Alevi kolektif belleğinde yer alan Şit ve Güruh-ı Naci mitolojisi Gnostik Sethianizmin bir türevi olarak görünmektedir. Tarihsel olarak birçok dini gelenek içinde yer alan Sethanizm fenomenolojik olarak "kurtarıcı-kurtarılan" ilişkisi üzerinden bir öz taşımaktadır. Sethian öz dini geleneklerin kültürel yapılarına uyumlanarak, eklemlenmekte ve bütünleşmeyi gerçekleştirmektedir. Şit ve Güruh-ı Naci mitolojisinde ayırıcı özellik olarak dikkat çeken soyun çatallaşması, mitin eklemlenme döneminde karşılaştığı siyasi ve sosyal sebepleri akla getirmektedir. Abbasi ihtilali ile Emevi Devleti yıkıldıktan sonra ihtilalde rol alan Ehl-i Beyt mensubu fırkalar arasında iktidar mücadelesi başlamıştır. Abbasi halifesi Cafer el-Mansur'un hilafetine Hz. Ali ve Hz. Hasan soyundan gelen fırkalar razı olmamışlar hilafetin soy itibariyle kendilerine layık olduğunu öne sürmüşler. Bunların yanında Hz. Ali'nin cariyeden oğlu Muhammed b. Hanefi'ye mensup Keysani fırkaları da kendilerini iktidara aday görmüşlerdir. Anadolu Alevilerinin manen bağlı oldukları dede ocaklarının bir kısmı Hz. Hüseyin ve Hz. Hasan soyuna dayanırken bir kısmı Muhammed b. Hanefi ve onun oğlu olan Celal Abbas soyuna dayanır. Bu durum seçilmiş bir kurtarıcı grubunun belirli bir soy zinciri ile günümüze kadar ulaşmasında Şit kültünün stratejik önemini ortaya çıkarmaktadır. Muhammed b. Hanefi soyundan gelenlerin Hz. Muhammed ile ilişkisi olmamasına rağmen kutsal kurtarıcı kimliği kazanabilmeleri için soy zincirine dahil edilmesi gerekmektedir. Keysani fırkaları mitolojiye yeni bir yorum kazandırarak soyun çatallaşmasını mümkün hale getirmişlerdir.

Anahtar kelimeler: Alevilik, Şit, Soy Çatallaşması, Kurtarıcı-Kurtarılan, Keysani.

THE SOCIAL AND HISTORICAL BACKGROUND OF LINEAGE BIFURCATION AS REFLECTED IN THE ALEVI COLLECTIVE MEMORY OF THE SETH MYTH

ABSTRACT

The mythology of Seth and Gürūh-i Naci in the Alevi collective memory appears to be a derivative of Gnostic Sethianism. Historically present within various religious traditions, Sethianism fundamentally embodies a phenomenological core based on the "savior-saved" relationship. This Sethian core adapts to, articulates with, and integrates into the cultural structures of religious traditions. The bifurcation of lineage, which stands out as a

distinguishing feature in the mythology of Seth and Gürūh-i Naci, evokes the political and social factors encountered during the period of the myth's articulation. Following the overthrow of the Umayyad State by the Abbasid Revolution, a power struggle ensued among the Ahl al-Bayt factions that had participated in the revolution. Factions descending from the lineages of Ali and Hasan did not acquiesce to the caliphate of the Abbasid Caliph Ja'far al-Mansur, asserting that the caliphate rightfully belonged to them by virtue of lineage. Alongside them, the Kaysanite factions, adherents of Muhammad ibn al-Hanafiyyah—Ali's son from a concubine—also considered themselves candidates for power. Some of the *dede ocak* to which Anatolian Alevis are spiritually affiliated trace their ancestry to Husayn and Hasan, while others descend from Muhammad ibn al-Hanafiyyah and his son, Jalal Abbas. This situation highlights the strategic importance of the Seth cult in enabling a selected savior group to survive to the present day through a specific lineage chain. Although the descendants of Muhammad ibn al-Hanafiyyah had no direct lineage connection to the Prophet Muhammad, they needed to be incorporated into the lineage chain to acquire a sacred savior identity. By introducing a new interpretation to the mythology, the Kaysanite factions made this bifurcation of lineage possible.

Keywords: Alevism, Seth, Lineage Bifurcation, Savior-Saved, Kaysanite.

DİJİTALLEŞME VE ERGEN SUÇLULUĞU: KONYA'DA LİSE ÖĞRENCİLERİ VE SUÇA SÜRÜKLENEN ÇOCUKLAR ÜZERİNE KARŞILAŞTIRMALI NİTEL BİR İNCELEME

Dr. Öğr. Üyesi Hurigül EKEN
Selçuk University, Faculty of Letters, Department of Sociology,42090, Alaaddin Keykubat Campus, Konya
ORCID ID: 0000-0001-9914-9718

ÖZET

Dijital teknolojilerin gündelik yaşamın merkezine yerleşmesi, ergenlerin sosyal ilişkiler kurma, kimlik geliştirme, akran gruplarına katılma ve boş zaman değerlendirme pratiklerinde önemli dönüşümlere yol açmıştır. Sosyal medya platformları, çevrim içi oyunlar, anlık mesajlaşma uygulamaları ve diğer dijital iletişim ağları, ergenlerin yalnızca sosyalleştikleri alanlar değil; aynı zamanda davranış modelleriyle karşılaştıkları, sosyal statü ve aidiyet geliştirdikleri, normatif sınırları yeniden müzakere ettikleri sosyal ortamlar hâline gelmiştir. Bununla birlikte dijitalleşme ile ergen suçluluğu arasındaki ilişkinin doğrudan ve tek yönlü bir nedensellik üzerinden açıklanması, bu ilişkinin sosyal bağlar, aile denetimi, akran ilişkileri ve suç fırsatlarıyla kurduğu karmaşık bağlantıları göz ardı etmektedir. Bu çalışma, dijitalleşme ile ergenlerin suç ve sapma davranışları arasındaki ilişkiyi sosyolojik ve kriminolojik bir perspektiften incelemekte ve genel lise öğrencileri ile adli süreç deneyimlemiş suça sürüklenen çocukların dijital deneyimlerini karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Araştırma, 2025 yılında Konya il merkezi ve bağlı ilçelerde yürütülen nitel ve karşılaştırmalı bir çalışma olarak tasarlanmıştır. Araştırmanın çalışma grubunu, amaçlı ve ölçüt örnekleme yoluyla belirlenen toplam 40 ergen oluşturmaktadır. Katılımcıların 20'si genel lise öğrencisi, 20'si ise suça sürüklenen çocuklardan oluşmaktadır. Veriler yarı yapılandırılmış görüşmeler aracılığıyla toplanmış ve tematik analiz yöntemiyle değerlendirilmiştir.

Araştırmanın kuramsal çerçevesi Akers'ın Sosyal Öğrenme Kuramı, Hirschi'nin Sosyal Kontrol Kuramı, Cohen ve Felson'ın Rutin Aktiviteler Kuramı ile Becker ve Lemert'in Etiketleme Kuramının birlikte değerlendirilmesine dayanmaktadır. Bu kuramsal çerçeve; dijital kimlik, anonimlik, çevrim içi çözülme, aidiyet arayışı, sanal sokak ekolojisi ve dijital ebeveynlik paradoksu kavramlarıyla desteklenmiştir. Bulgular, her iki grubun da dijital ortamlarda akran baskısı, anonimlik, riskli içerikler ve sosyal kabul arayışıyla karşılaştığını; ancak bu deneyimlerin suç ve sapma davranışlarına dönüşme biçimlerinin gruplar arasında farklılaştığını göstermektedir. Genel lise öğrencilerinde dijital risklerin daha çok geçici akran şakaları, trolleme, mahremiyet sorunları ve mağduriyetler çevresinde yoğunlaştığı görülürken, suça sürüklenen çocuklarda aynı dijital ortamların suç fırsatlarına, alternatif akran ağlarına,

statü arayışına ve adli sürece uzanan davranış örüntüleriyle daha güçlü biçimde ilişkilendiği görülmektedir.

Çalışmanın temel sonucu, dijital teknolojilerin tek başına suç üreten araçlar olarak değerlendirilmemesi gerektiğidir. Dijital ortamlar, mevcut sosyal bağları, akran normlarını, aile denetimini ve suç fırsatlarını dönüştüren bir sosyal bağlam oluşturmaktadır. Bu nedenle ergen suçluluğunu anlamak için dijitalleşmenin kendisinden ziyade, ergenlerin bu ortamlarla hangi sosyal koşullar içerisinde ilişki kurduklarına odaklanılması gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Dijitalleşme, ergen suçluluğu, suça sürüklenen çocuk, dijital sapma, sosyal öğrenme, sosyal kontrol, sanal sokak ekolojisi, Konya, karşılaştırmalı nitel araştırma.

DIGITALIZATION AND ADOLESCENT DELINQUENCY: A COMPARATIVE QUALITATIVE STUDY OF HIGH SCHOOL STUDENTS AND JUVENILES DRAWN INTO DELINQUENCY IN KONYA

ABSTRACT

The increasing centrality of digital technologies in everyday life has transformed adolescents' practices of establishing social relationships, developing identities, participating in peer groups, and spending leisure time. Social media platforms, online games, instant messaging applications, and other digital communication networks have become not only spaces for socialization but also social environments where adolescents encounter behavioral models, develop social status and belonging, and renegotiate normative boundaries. This study examines the relationship between digitalization and adolescents' delinquent and deviant behaviors from a sociological and criminological perspective and aims to compare the digital experiences of general high school students and juveniles who have experienced the juvenile justice process. The study was designed as a qualitative and comparative research conducted in 2025 in Konya city center and its surrounding districts. The study group consisted of 40 adolescents selected through purposive and criterion sampling, including 20 general high school students and 20 juveniles drawn into delinquency. Data were collected through semi-structured interviews and evaluated using thematic analysis. The theoretical framework integrates Akers' Social Learning Theory, Hirschi's Social Control Theory, Cohen and Felson's Routine Activities Theory, and Becker and Lemert's Labeling Theory. The findings indicate that both groups encounter peer pressure, anonymity, risky content, and the pursuit of social acceptance in digital environments; however, the ways in which these experiences develop into delinquent and deviant behaviors differ between the groups. Among general high school students, digital risks are primarily associated with trolling, privacy problems, and victimization, whereas among juveniles drawn into delinquency, digital environments are more

strongly associated with opportunities for crime, alternative peer networks, status seeking, and involvement in the juvenile justice process. The study concludes that digital technologies should not be regarded as crime-producing tools in themselves but rather as social contexts that transform existing social bonds, peer norms, parental supervision, and opportunities for crime.
Keywords: Digitalization, adolescent delinquency, juveniles drawn into delinquency, digital deviance, social learning, social control, virtual street ecology, Konya.

1. GİRİŞ

Dijital teknolojilerin gündelik yaşamın merkezine yerleşmesi, bireylerin toplumsal dünyayla kurduğu ilişkilerin niteliğini ve biçimini dönüştürmüştür. Bu dönüşümün en görünür olduğu gruplardan biri ergenlerdir. Ergenlik dönemi, kimlik arayışı, özerklik kazanma, akran grubuna ait olma ve sosyal kabul görme gibi süreçlerin yoğunlaştığı bir yaşam evresidir. Bu nedenle ergenlerin dijital mecralarla kurdukları ilişki yalnızca teknolojik araçların kullanımından ibaret değildir. Dijital ortamlar aynı zamanda sosyal ilişkilerin kurulduğu, kimliklerin sunulduğu, statülerin üretildiği ve davranışların değerlendirildiği yeni toplumsal alanlar hâline gelmiştir.

Sosyal medya, çevrim içi oyunlar, mesajlaşma uygulamaları ve dijital topluluklar ergenlere iletişim ve sosyal destek bakımından önemli olanaklar sunarken, siber zorbalık, çevrim içi taciz, dolandırıcılık, hesap ele geçirme, mahremiyet ihlalleri ve çeşitli sapma biçimleri açısından da yeni risk alanları yaratabilmektedir. Güncel literatür, sosyal medya kullanımının ergen gelişimi açısından hem olumlu hem de olumsuz sonuçlar doğurabileceğine işaret etmektedir. Bu nedenle dijitalleşmenin doğrudan suç üreten bir mekanizma olarak değerlendirilmesi yerine, dijital ortamların hangi sosyal süreçler aracılığıyla riskli davranışları mümkün veya anlamlı hâle getirdiğinin incelenmesi daha açıklayıcıdır (Senekal et al., 2023).

Kriminolojik açıdan bakıldığında dijitalleşme, suçun yalnızca gerçekleştiği mekânları değil, suç fırsatlarının oluşma biçimlerini de dönüştürmektedir. Fiziksel mekânların yanında Discord sunucuları, çevrim içi oyun platformları, sosyal medya ağları ve çeşitli mesajlaşma grupları da ergenlerin sosyal etkileşimlerinin gerçekleştiği alanlar hâline gelmiştir. Böylece suç ve sapma davranışları fiziksel çevreden tamamen kopmadan, onunla iç içe geçen yeni bir dijital bağlam kazanmıştır.

Bu dönüşüm özellikle ergenler açısından önemlidir. Çünkü akran ilişkileri ve sosyal kabul ihtiyacı, dijital ortamların sunduğu görünürlük ve anonimlikle birleştiğinde davranışların değerlendirilme biçimini değiştirebilmektedir. Bir davranışın yüz yüze ortamda kabul görmemesi, çevrim içi ortamda grup normları tarafından desteklenmesine engel olmayabilmektedir. Bu durum, suç veya sapma davranışlarının yalnızca bireysel tercihler

üzerinden değil, grup içerisinde öğrenilen ve pekiştirilen davranışlar olarak ele alınmasını gerekli kılmaktadır.

Bu noktada Akers'ın Sosyal Öğrenme Kuramı, dijital akran gruplarında davranışların nasıl öğrenildiğini ve pekiştirildiğini açıklamak açısından önem taşımaktadır. Hirschi'nin Sosyal Kontrol Kuramı ise aile, okul ve diğer toplumsal bağların davranış üzerindeki sınırlayıcı rolünü anlamaya olanak sağlamaktadır. Cohen ve Felson'ın Rutin Aktiviteler Kuramı dijital ortamlarda suç fırsatlarının nasıl oluştuğuna odaklanırken, Becker ve Lemert'in Etiketleme Kuramı bireyin maruz kaldığı toplumsal tepkilerin ve damgalanmanın sonraki davranışları üzerindeki olası etkilerini açıklamaktadır.

Bu çalışmanın özgünlüğü, bu dört kuramsal yaklaşımı birbirinin alternatifi olarak değil, dijitalleşme ve ergen suçluluğu arasındaki farklı mekanizmaları açıklayan tamamlayıcı perspektifler olarak ele almasında yatmaktadır. Araştırmada ayrıca dijital kimlik, anonimlik, çevrim içi çözülme, aidiyet arayışı, sanal sokak ekolojisi ve dijital ebeveynlik paradoksu gibi kavramlardan yararlanılmaktadır.

Çalışmanın temel amacı, Konya ilindeki genel lise öğrencileri ile suça sürüklenen çocukların dijital deneyimlerini karşılaştırmalı biçimde incelemek ve dijital ortamların suç ve sapma davranışlarıyla hangi sosyal mekanizmalar üzerinden ilişkilendiğini ortaya koymaktır.

Bu temel amaç doğrultusunda araştırmada şu sorulara yanıt aranmıştır:

1. Ergenler dijital ortamlarda hangi davranış modelleriyle karşılaşmaktadır?
2. Akran grupları dijital ortamlardaki riskli davranışların öğrenilmesi ve normalleşmesinde nasıl bir rol oynamaktadır?
3. Aile ve okul denetimi ergenlerin dijital davranışlarını nasıl biçimlendirmektedir?
4. Anonimlik ve çevrim içi çözülme riskli davranışları nasıl etkilemektedir?
5. Dijital ortamlar hangi koşullarda suç fırsatlarının oluşmasına katkıda bulunmaktadır?
6. Dijital damgalanma ve toplumsal dışlanma ergenlerin kendilerini ve davranışlarını anlamlandırmalarını nasıl etkilemektedir?
7. Genel lise öğrencileri ile suça sürüklenen çocuklar arasında bu süreçler bakımından hangi temel farklılıklar bulunmaktadır?

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Dijitalleşme ve Ergenlik

Bu çalışmada dijitalleşme, yalnızca teknolojik araçların yaygınlaşması olarak değil, toplumsal ilişkilerin gerçekleştiği bağlamın dönüşümü olarak ele alınmaktadır. Dijital ortamlar ergenlerin

iletişim kurduğu, arkadaşlık geliştirdiği, kendisini sunduğu ve sosyal statü elde ettiği alanlara dönüşmüştür.

Ergenlik döneminde sosyal kabul ve akran grubuna ait olma ihtiyacı güçlü olduğundan, çevrim içi grupların sunduğu sosyal ödüller davranışların yönünü etkileyebilmektedir. Bu nedenle dijital ortamlar, ergenler için yalnızca iletişim araçları değil, aynı zamanda sosyal öğrenmenin gerçekleştiği alanlardır.

Senekal ve arkadaşlarının (2023) sistematik incelemesinde de sosyal medya kullanımının ergenlerin psikososyal gelişimi bakımından hem risk hem de destek unsurlarını bir arada barındırdığı görülmektedir. Dolayısıyla dijitalleşmenin etkisini anlamak için kullanımın süresi kadar, kullanımın hangi sosyal bağlamlarda gerçekleştiği de dikkate alınmalıdır.

2.2. Siber Suç, Dijital Sapma ve Çevrim İçi Risk

Hukuki anlamda siber suç ile sosyolojik anlamda dijital sapmanın birbirinden ayrılması gerekmektedir. Her riskli veya etik dışı dijital davranış hukuken suç niteliği taşımamaktadır. Siber zorbalık, trolleme, mahremiyet ihlali ve etik dışı paylaşım gibi davranışlar bazı durumlarda hukuki yaptırım konusu olabilmekle birlikte, bu davranışların tümünü otomatik olarak "siber suç" kategorisine yerleştirmek kavramsal açıdan doğru değildir.

Bu çalışmada bu ayrım korunmakta ve dijital ortamda gerçekleşen davranışlar, hukuki niteliğinden bağımsız olarak, ergenlerin sosyal öğrenme, aidiyet, kontrol ve damgalanma süreçleri açısından değerlendirilmektedir.

2.3. Dijital Kimlik, Anonimlik ve Çevrim İçi Çözülme

Ergenlik döneminde kimlik gelişimi temel gelişimsel süreçlerden biridir. Erikson'un (1968) yaklaşımı açısından bireyin kimlik oluşturma süreci, farklı sosyal rollerin denenmesini içermektedir. Goffman'ın (1959) benliğin sunumu yaklaşımı ise bireylerin sosyal etkileşimlerde kendilerini farklı biçimlerde sunabileceklerine işaret etmektedir.

Dijital ortamlar bu süreçleri daha da karmaşık hâle getirebilmektedir. Gerçek kimlikten farklı kullanıcı adlarının kullanılması, görünürlüğün kontrol edilmesi ve fiziksel karşılaşmanın ortadan kalkması, ergenlerin davranışlarını farklı biçimlerde sergilemelerine olanak sağlayabilmektedir.

Bu bağlamda çevrim içi çözülme, bireyin yüz yüze ortamda gerçekleştirmeyeceği bazı davranışları dijital ortamda daha kolay gerçekleştirmesi şeklinde ele alınmaktadır. Ancak bu durumun bütün ergenlerde aynı sonuçları doğurmadığı, araştırmanın karşılaştırmalı bulgularının temel noktalarından biridir.

2.4. Sosyal Dışlanma, Aidiyet ve Dijital Ebeveynlik Paradoksu

Akran grubuna kabul edilme ihtiyacı ergenlik döneminde önemli bir motivasyon kaynağıdır. Fiziksel çevrede kendisini dışlanmış hisseden ergen, dijital ortamda alternatif bir topluluk bulabilmektedir. Bu topluluk, destekleyici ve koruyucu olabileceği gibi riskli davranışların normalleştirildiği bir yapı da oluşturabilmektedir.

Bu bağlamda çalışmada "dijital ebeveynlik paradoksu" kavramı kullanılmaktadır. Kavram, ebeveynlerin çocuklarını koruma amacıyla gerçekleştirdiği yoğun dijital gözetimin, bazı durumlarda ergenlerin gizlilik stratejileri geliştirmesine ve alternatif çevrim içi ağlara yönelmesine yol açabilmesi durumunu ifade etmektedir.

Buradaki temel nokta, ebeveyn denetiminin bütünüyle olumsuz olduğu iddiası değildir. Aksine, ebeveynlerin dijital dünyaya ilişkin bilgisi ve çocuklarıyla kurduğu iletişim koruyucu bir işlev taşıyabilir. Güncel araştırmalar da ebeveyn temelli müdahalelerin siber zorbalık gibi dijital risklerin azaltılmasında önem taşıdığını göstermektedir (Wang & Jiang, 2023).

Dolayısıyla çalışmada sorun "denetim" değil, **denetimin biçimi ile ergenin bunu nasıl deneyimlediği arasındaki ilişkidir.**

3. KURAMSAL ÇERÇEVE

3.1. Sosyal Öğrenme Kuramı

Bandura'nın (1977) sosyal öğrenme yaklaşımı, davranışların gözlem, model alma ve pekiştirme yoluyla öğrenilebileceğine dikkat çekmektedir. Akers (1998) bu yaklaşımı kriminolojik alana taşıyarak suç davranışının sosyal çevre içerisinde öğrenilebileceğini ileri sürmüştür.

Dijital ortamlar açısından bakıldığında akranların davranışları, grup içerisindeki statü ve sosyal ödüller önemli pekiştirme mekanizmaları hâline gelebilmektedir. Özellikle suç veya sapma davranışının "başarılı", "eğlenceli" veya "statü kazandıran" bir davranış olarak sunulması, davranışın normalleşmesini kolaylaştırabilmektedir.

Zhou ve arkadaşlarının (2024) çalışması da sosyal öğrenme yaklaşımının dijital sapma davranışlarını açıklamadaki önemine işaret etmektedir.

Bu çalışmada Sosyal Öğrenme Kuramı şu soruya yanıt üretmek üzere kullanılmaktadır:

Ergenler dijital ortamlarda riskli ve sapkın davranışları nasıl öğrenmekte, bu davranışlara hangi anlamları yüklemekte ve grup içi pekiştirmeler bu davranışları nasıl normalleştirmektedir?

3.2. Sosyal Kontrol Kuramı

Hirschi'nin (1969) Sosyal Kontrol Kuramı, bireyin neden suç işlediğinden çok, neden çoğu durumda suç işlemediği sorusuna odaklanmaktadır. Kurama göre aile, okul ve toplumla kurulan bağların güçlü olması bireyin toplumsal normlara bağlılığını destekleyebilir.

Bu bağlamda bağlanma, adanmışlık, katılım ve inanç boyutları önem taşımaktadır. Costello ve Laub (2020) da Hirschi'nin yaklaşımının özellikle ebeveynlere ve toplumsal kurumlara bağlanma bakımından kriminoloji literatüründeki etkisini sürdürdüğünü belirtmektedir.

Dijitalleşme bu bağları ortadan kaldırmaktan ziyade onların biçimini dönüştürmektedir. Ailelerin çocukların dijital yaşamına ilişkin farkındalığı ve iletişim biçimleri yeni sosyal kontrol biçimleri olarak değerlendirilebilir.

Bu nedenle dijital ebeveynlik paradoksu, sosyal kontrolün yokluğu değil, **kontrolün ergen tarafından baskı olarak deneyimlenmesi sonucunda geleneksel bağların zayıflaması ve alternatif bağların güçlenmesi** bağlamında ele alınmaktadır.

3.3. Rutin Aktiviteler Kuramı ve Sanal Sokak Ekolojisi

Cohen ve Felson'ın (1979) Rutin Aktiviteler Kuramı, suçun ortaya çıkmasını motive olmuş fail, uygun hedef ve etkili koruyucunun yokluğunun kesişimi üzerinden açıklamaktadır.

Dijitalleşmeyle birlikte bu unsurların gerçekleştiği mekânlar değişmiştir. Kişisel bilgilerin açık biçimde paylaşılması uygun hedeflerin oluşmasına katkı sağlayabilirken, zayıf güvenlik önlemleri ve düşük dijital farkındalık koruyucu mekanizmaları zayıflatabilmektedir.

Bu çalışmada "sanal sokak ekolojisi" kavramı, ergenlerin çevrim içi gruplar, oyun sunucuları ve sosyal medya ağları içerisindeki etkileşimlerini açıklamak amacıyla kullanılmaktadır. Fiziksel mahallede olduğu gibi dijital ortamda da statü, aidiyet, hiyerarşi ve fırsat yapıları oluşabilmektedir.

3.4. Etiketleme Kuramı

Becker (1963), sapmanın yalnızca bireyin davranışından değil, toplumun belirli davranışları tanımlama ve bireyi etiketleme biçimlerinden de kaynaklandığını ileri sürmektedir. Lemert (1951) ise birincil ve ikincil sapma ayrımı üzerinden toplumsal tepkilerin bireyin kendilik algısını ve sonraki davranışlarını etkileyebileceğine dikkat çekmektedir.

Dijital ortamlar etiketleme süreçlerini daha görünür ve kalıcı hâle getirebilir. Bir ergen hakkında oluşturulan içeriklerin geniş kitlelere ulaşması, toplumsal tepkinin boyutunu değiştirebilir.

Bununla birlikte her çevrim içi eleştiri etiketleme olarak değerlendirilmemelidir. Etiketleme açısından esas önemli olan, bireyin sistematik biçimde "suçlu", "problemli" veya "dışlanmış" olarak tanımlanması ve bu tanımlamanın kendilik algısıyla ilişki kurmasıdır.

4. YÖNTEM

4.1. Araştırma Deseni

Araştırma nitel araştırma yaklaşımına dayalı fenomenolojik desenle ve karşılaştırmalı bir tasarımla yürütülmüştür. Fenomenolojik yaklaşım, bireylerin belirli bir olguyla ilgili yaşantılarını ve bu yaşantılara yükledikleri anlamları derinlemesine incelemeye olanak sağlamaktadır.

Bu araştırmada fenomen olarak dijitalleşme ile suç ve sapma arasındaki ilişki ele alınmış; katılımcıların dijital deneyimleri kendi anlatıları üzerinden değerlendirilmiştir.

4.2. Çalışma Grubu

Araştırma 2025 yılında Konya il merkezi ve bağlı ilçelerde yürütülmüştür. Teorik doyum ilkesi gözetilerek amaçlı ve ölçüt örnekleme yöntemleriyle toplam 40 ergen araştırmaya dâhil edilmiştir.

GrupA 20 öğrenci	**Genel Lise Öğrencileri** 10 kız ve 10 erkek;	15–18 yaş aralığı.
Grup B 20 ergen	**Suça Sürüklenen Çocuklar** 4 kız ve 16 erkek	15–18 yaş aralığı.

Genel lise grubunun yaş ortalaması 16,1; suça sürüklenen çocuk grubunun yaş ortalaması 16,7 olarak belirtilmiştir. Genel lise grubunda günlük dijital kullanımın ortalama 4–5 saat, suça sürüklenen çocuk grubunda ise 7 saat ve üzerinde olduğu bildirilmiştir.

4.3. Veri Toplama

Veriler yarı yapılandırılmış görüşme formu aracılığıyla yüz yüze görüşmeler yoluyla toplanmıştır. Görüşmelerin ses kaydı alınmış ve deşifre edilmiştir. Araştırma metninde Konya'daki gerekli kurum izinleri ve etik kurul onaylarının alındığı, görüşmelerin anonimleştirildiği belirtilmektedir.

Görüşme soruları dört kuramsal yaklaşım doğrultusunda; dijital davranış modelleri, akran ilişkileri, aile ve okul denetimi, anonimlik, sosyal dışlanma, aidiyet ve suç fırsatları üzerine yapılandırılmıştır.

4.4. Veri Analizi

Elde edilen görüşme kayıtları deşifre edilmiş ve tematik analiz yoluyla çözümlenmiştir. Tematik analizde amaç yalnızca görüşme cevaplarını özetlemek değil, veriler içerisinde

anlamlı örüntüleri belirlemek ve bu örüntüleri araştırma soruları ile kuramsal çerçeve içerisinde yorumlamaktır.

Analiz sonucunda dört temel tema oluşturulmuştur:

1. Sosyal öğrenme ve akran dinamikleri,
2. Dijital ebeveynlik paradoksu,
3. Dijital fırsat yapıları ve sanal sokak ekolojisi,
4. Dijital linç, toplumsal cinsiyet ve ikincil sapma.

5. BULGULAR

5.1. Tema 1: Sosyal Öğrenme ve Akran Dinamikleri

Araştırmanın ilk teması, dijital akran gruplarının davranışların öğrenilmesi ve normalleştirilmesindeki rolünü ortaya koymaktadır.

Genel lise öğrencilerinin anlatılarında dijital riskler daha çok trolleme, akran şakaları, çevrim içi alay ve grup içerisinde kabul görme biçiminde ortaya çıkmaktadır. Buna karşılık suça sürüklenen çocukların anlatılarında dijital gruplar daha belirgin hiyerarşilerin ve suçla ilişkili davranışların öğrenildiği alanlar olarak görünmektedir.

Bir genel lise öğrencisi bu süreci şöyle ifade etmektedir:

> "Okulda yüz yüze olduğumuzda herkes kibar davranıyor ama akşam Discord'a geçtiğimizde ortam tamamen değişiyor. Gruptaki en popüler kişiler sürekli birileriyle alay ediyor, hesapları trolleyip dalga geçiyor. İlk başta insan çekiniyor ama grup içinde o şakalara güldükçe, popüler olanlar sana onay verince o davranış normalleşiyor."

Bu anlatı, davranışın yalnızca bireysel eğilimlerle değil, grup içindeki sosyal ödüllerle ilişkili olduğunu göstermektedir.

Suça sürüklenen çocukların anlatılarında ise dijital ortamın statü üretme kapasitesi daha belirgin biçimde görülmektedir:

> "Discord sunucularında sadece dalga geçmeyle başlamıyor iş. Orada başka gruplarla rekabet ediyorsun, kimin hack yeteneği varsa grup içinde kral o oluyor."

Bir başka katılımcı ise oyun içi hesap ele geçirme ve eşya çalma davranışlarının grup içerisinde "marifet" olarak değerlendirildiğini ifade etmektedir.

Bu bulgular Akers'ın farklılaştırılmış pekiştirme ve tanımlar kavramlarıyla birlikte değerlendirildiğinde, dijital grupların yalnızca davranışların öğrenildiği değil, aynı zamanda davranışlara anlam verildiği sosyal ortamlar olduğunu göstermektedir.

Buradaki önemli farklılık, **aynı dijital ortamın iki grupta farklı sosyal sonuçlara yol açabilmesidir.** Genel lise öğrencilerinde riskli davranışlar daha çok geçici grup normları içinde kalırken, suça sürüklenen çocukların anlatılarında bu davranışların statü, aidiyet ve grup içi hiyerarşiyle birleştiği görülmektedir.

5.2. Tema 2: Dijital Ebeveynlik Paradoksu

İkinci tema aile denetimi ile ergenlerin mahremiyet ve özerklik arayışı arasındaki gerilime işaret etmektedir.

Bir genel lise öğrencisi şöyle ifade etmektedir:

> "Babam telefonuma takip uygulaması kurdu, her yerime karışıyor. … arkadaşlarımın çoğunun gerçek adının olmadığı 'fakesap'ları var. Orada ailemizin asla bilmediği gruplarımız var."

Suça sürüklenen çocukların anlatılarında ise aileden uzaklaşmanın dijital gruplara yönelmeyle daha güçlü biçimde birleştiği görülmektedir:

> "Evdekiler beni sıkboğaz ettikçe ben daha çok evden soğudum, sanal ortamdaki o adamlara bağlandım. Onlar bana sahip çıkıyor gibi geliyordu."

Bir diğer katılımcı ise aile denetimini aşmak amacıyla ikinci bir telefon kullandığını ve bu cihaz üzerinden ailesinden gizlediği dijital faaliyetlerde bulunduğunu belirtmektedir.

Bu anlatılar Hirschi'nin Sosyal Kontrol Kuramı açısından değerlendirildiğinde, aile bağlarının niteliğinin önemini göstermektedir. Buradaki bulgu, "ebeveyn denetimi arttıkça suç artar" biçiminde basit bir nedensellik değildir. Daha çok, **denetimin iletişim ve güven temelinden uzaklaşıp yalnızca kontrol ve gözetim biçimini almasının, bazı ergenlerde gizlilik stratejilerini güçlendirebildiğine** işaret etmektedir.

Bu nedenle "dijital ebeveynlik paradoksu", çalışmanın özgün kavramsal katkılarından biri olarak değerlendirilebilir.

5.3. Tema 3: Dijital Fırsat Yapıları ve Sanal Sokak Ekolojisi

Üçüncü tema, dijital ortamların suç fırsatlarını nasıl dönüştürdüğüne ilişkindir.

Genel lise öğrencileri dijital ortamda çoğunlukla potansiyel mağduriyetlerle karşılaşırken, suça sürüklenen çocukların anlatılarında dijital ortamların fırsat yapılarından yararlanılan alanlara dönüştüğü görülmektedir.

Bir katılımcı Telegram gruplarını şu şekilde tanımlamaktadır:

> "Telegram'da 'şu kadar paraya şu hesabı boşaltırız' diye gruplar var. Bizim için orası açık bir pazar gibiydi."

Başka bir katılımcı ise anonim hesapların kendisine fiziksel ortamda gerçekleştirilmesi daha zor olan davranışları daha risksiz gösterdiğini belirtmektedir.

Cohen ve Felson'ın Rutin Aktiviteler Kuramı açısından değerlendirildiğinde dijital ortam, motive fail, uygun hedef ve yetersiz koruyucu unsurlarının karşılaşabileceği yeni bir sosyal alan oluşturmaktadır.

Bu açıdan "sanal sokak ekolojisi" kavramı, fiziksel mahalle ve sokakların yerine geçen tekil bir dijital mekânı değil; farklı dijital platformlarda oluşan **sosyal ilişkiler, hiyerarşiler, fırsatlar ve koruyucu mekanizmalar bütününü** ifade etmektedir.

5.4. Tema 4: Dijital Linç, Toplumsal Cinsiyet ve İkincil Sapma

Dördüncü tema, dijital damgalanma ve sosyal tepkinin ergenlerin kendilik algıları üzerindeki etkisine odaklanmaktadır.

Genel lise öğrencilerinde sosyal medya üzerinden gerçekleşen dedikodu ve hedef göstermeler çoğunlukla geçici bir mağduriyet deneyimi olarak aktarılmıştır:

> "Çok kötü bir dönemdi ama zamanla unutuldu gitti, yeni bir gündem çıktı, insanlar unuttu."

Suça sürüklenen çocukların anlatılarında ise damgalanmanın daha kalıcı bir deneyim olarak algılandığı görülmektedir.

Bir katılımcı şöyle ifade etmektedir:

> "Herkes bana suçlu gözüyle baktıktan sonra, 'Madem herkes beni öyle görüyor, o zaman suçlu gibi davranırım' dedim."

Bir başka katılımcı adli süreç sonrasında yerel haber ve sosyal medya içeriklerinde adının yer almasının toplumdaki algısını değiştirdiğini belirtmektedir.

Bu bulgular Becker ve Lemert'in etiketleme yaklaşımı açısından değerlendirildiğinde, dijital ortamların yalnızca ilk sapkın davranışın gerçekleştiği alanlar olmadığını; aynı zamanda bireyin davranışının toplumsal olarak tanımlandığı ve yeniden anlamlandırıldığı alanlar olduğunu düşündürmektedir.

Bununla birlikte bu bulgudan doğrudan "etiketlenme ikincil sapmaya neden olur" şeklinde nedensel bir sonuç çıkarılmamalıdır. Nitel bulgular daha çok katılımcıların **damgalanma deneyimini sonraki davranışlarıyla ilişkilendirdiklerini** göstermektedir.

6. TARTIŞMA

Araştırmanın bulguları, dijitalleşme ile ergen suçluluğu arasındaki ilişkinin doğrudan ve tek yönlü bir nedensellik biçiminde açıklanamayacağını göstermektedir. Dijital ortamlar, suç davranışının tek başına kaynağı olmaktan ziyade, mevcut sosyal ilişkilerin, akran normlarının,

aile bağlarının ve suç fırsatlarının yeniden örgütlendiği toplumsal bağlamlar olarak görünmektedir.

İlk olarak Sosyal Öğrenme Kuramı açısından değerlendirildiğinde, dijital akran gruplarının davranışların öğrenilmesi ve normalleştirilmesinde önemli bir rol oynadığı görülmektedir. Genel lise öğrencilerinin anlatılarında trolleme ve çevrim içi alay gibi davranışlar grup içinde eğlence ve statüyle ilişkilendirilirken, suça sürüklenen çocukların anlatılarında hesap ele geçirme, dolandırıcılık veya dijital hiyerarşiler daha güçlü biçimde ortaya çıkmaktadır. Bu durum, dijital ortamın kendisinin değil, **dijital ortam içerisindeki sosyal öğrenme ilişkilerinin** önemini ortaya koymaktadır.

İkinci olarak Sosyal Kontrol Kuramı, aile ve okul bağlarının dijital çağda önemini koruduğunu göstermektedir. Araştırma bulgularında özellikle yoğun ve cezalandırıcı dijital gözetimin bazı katılımcılarda gizli hesap, ikinci cihaz ve alternatif çevrim içi grup oluşturma gibi davranışlarla ilişkilendirildiği görülmektedir. Bu durum, dijital ebeveynliğin yalnızca "daha fazla kontrol" üzerinden değil, güven, iletişim ve rehberlik üzerinden düşünülmesi gerektiğine işaret etmektedir. Ebeveyn temelli müdahalelerin dijital riskler üzerindeki etkisini inceleyen çalışmalar da ebeveyn tutumlarının önemini vurgulamaktadır (Wang & Jiang, 2023).

Üçüncü olarak Rutin Aktiviteler Kuramı, dijital ortamların suç fırsatlarının yapısını değiştirdiğini açıklamaktadır. Fiziksel mekânlarda ortaya çıkan bazı suç fırsatları dijital ortamda daha düşük fiziksel maliyetle ve daha geniş bir erişim alanıyla ortaya çıkabilmektedir. Anonimlik ve yetersiz koruyucu mekanizmalar, bazı katılımcıların riskli davranışları daha kolay gerçekleştirmelerine katkıda bulunmuştur.

Dördüncü olarak Etiketleme Kuramı, özellikle suça sürüklenen çocukların dijital damgalanma deneyimlerinin anlaşılması bakımından açıklayıcıdır. Katılımcıların bazıları, kendilerine "problemli" veya "suçlu" biçiminde yaklaşılmasının kendilerini toplumdan uzaklaştırdığını ifade etmektedir. Dijital ortamların kalıcı ve geniş erişimli yapısı, bu damgalanmanın unutulmasını güçlendirebilmektedir.

Araştırmanın en dikkat çekici sonucu ise iki grup arasındaki **eşik farklılığıdır**.

Her iki grup da dijital ortamları yoğun biçimde kullanmakta, akran baskısı ve çevrim içi çözülme deneyimlemekte ve çeşitli risklerle karşılaşmaktadır. Buna karşın bu deneyimlerin davranışsal sonuçları aynı değildir.

Genel lise öğrencilerinde dijital riskler daha çok; geçici trolleme, akran şakaları, mahremiyet ihlalleri, çevrim içi çatışmalar, mağduriyet, çerçevesinde görünürken;

Suça sürüklenen çocuklarda; alternatif akran gruplarına güçlü bağlanma, dijital statü arayışı, suç fırsatla rının değerlendirilmesi, aile bağlarının zayıflaması, dijital damgalanma, adli süreç deneyimi
daha belirgin hâle gelmektedir.

Dolayısıyla araştırmanın temel katkısı, dijitalleşmeyi suçun nedeni olarak göstermekten ziyade, **suç ve sapma davranışına giden yolların hangi sosyal koşullarda dijital ortamlar aracılığıyla güçlenebildiğini göstermesidir.**

7. SONUÇ

Bu çalışma, Konya'da genel lise öğrencileri ile suça sürüklenen çocukların dijital deneyimlerini karşılaştırmalı olarak incelemiş ve dijitalleşme ile ergen suçluluğu arasındaki ilişkinin çok boyutlu bir sosyal süreç olduğunu ortaya koymuştur.

Araştırmanın bulguları, dijital teknolojilerin tek başına suç üreten mekanizmalar olmadığını; ancak akran ilişkilerini, sosyal öğrenme süreçlerini, aile denetimini, aidiyet arayışını ve suç fırsatlarını dönüştürerek riskli davranışların ortaya çıkabileceği sosyal bağlamları yeniden şekillendirdiğini göstermektedir.

Bu çerçevede araştırmanın en önemli bulgusu, iki grup arasındaki farkın yalnızca "dijital kullanım miktarı" ile açıklanamamasıdır. Asıl farklılık, ergenlerin dijital ortamları hangi sosyal bağlar içerisinde deneyimledikleri ve bu ortamlarda hangi davranışların ödüllendirildiğiyle ilişkilidir.

Genel lise öğrencileri için dijital ortamlar çoğunlukla sosyal kabul, eğlence ve akran etkileşiminin yanında çeşitli risklerin bulunduğu alanlar olarak deneyimlenirken, suça sürüklenen çocukların anlatılarında bu alanlar daha güçlü biçimde aidiyet, statü, alternatif sosyal bağlar ve suç fırsatlarıyla ilişkilendirilmektedir.

Bu nedenle dijitalleşme ile ergen suçluluğu arasındaki ilişkiyi açıklamak için tek bir kuramsal yaklaşım yeterli görünmemektedir. Sosyal Öğrenme Kuramı davranışın nasıl öğrenildiğini; Sosyal Kontrol Kuramı bireyi suçtan uzaklaştıran bağların niteliğini; Rutin Aktiviteler Kuramı suç fırsatlarının nasıl oluştuğunu; Etiketleme Kuramı ise toplumsal tepkilerin bireyin kendilik algısı üzerindeki olası etkilerini açıklamaktadır.

Bu dört yaklaşım birlikte değerlendirildiğinde, ergen suçluluğunun dijital çağdaki görünümünün **öğrenme, bağ, fırsat ve etiketleme süreçlerinin kesişiminde** oluştuğu görülmektedir.

8. POLİTİKA VE UYGULAMA ÖNERİLERİ

8.1. Demokratik Dijital Rehberlik

Ailelere yönelik dijital ebeveynlik programlarında yalnızca kontrol ve takip uygulamalarına değil, güvene dayalı iletişime, ortak kurallara ve dijital rehberliğe ağırlık verilmelidir.

8.2. Okullarda Dijital Risk ve Etik Eğitimi

Okullarda dijital okuryazarlığın yanı sıra siber zorbalık, çevrim içi akran baskısı, anonimlik, mahremiyet, dijital ayak izi ve çevrim içi damgalanma konularını içeren programlar geliştirilmelidir.

8.3. Suça Sürüklenen Çocuklar İçin Dijital Rehabilitasyon

Denetimli serbestlik ve çocuk koruma uygulamalarında dijital okuryazarlık, çevrim içi akran grupları, dijital riskler ve sosyal medya kullanımına ilişkin rehberlik modülleri oluşturulmalıdır.

8.4. Dijital Damgalanmaya Karşı Koruyucu Yaklaşım

Suça sürüklenen çocukların yeniden topluma kazandırılması sürecinde dijital mecralarda kalıcılaşabilen damgalanma deneyimleri dikkate alınmalıdır. Çocuğun geçmişteki adli sürecinin dijital ortamda sürekli yeniden görünür hâle gelmesi, yeniden toplumsallaşma sürecini olumsuz etkileyebilecek bir faktör olarak değerlendirilmelidir.

8.5. Yerel Dijital Koruma Ağları

Konya özelinde eğitim kurumları, çocuk koruma birimleri, yerel yönetimler ve ilgili sosyal hizmet mekanizmaları arasında dijital risklerin erken tespiti ve çocukların korunmasına yönelik iş birliği mekanizmaları geliştirilebilir.

9. ARAŞTIRMANIN SINIRLILIKLARI

Araştırmanın 40 katılımcı ile ve Konya bağlamında gerçekleştirilmiş olması, bulguların Türkiye'deki tüm ergenlere genellenmesini sınırlandırmaktadır. Çalışmanın amacı istatistiksel genelleme yapmak değil, katılımcıların dijital deneyimlerini derinlemesine anlamaktır.

Ayrıca araştırma katılımcı anlatılarına dayandığından, elde edilen veriler bireylerin kendi deneyimlerini nasıl anlamlandırdıkları çerçevesinde değerlendirilmelidir. Bu nedenle bulgular doğrudan nedensellik iddiaları şeklinde yorumlanmamalıdır.

Bunun yanında, genel lise öğrencileri ile suça sürüklenen çocukların toplumsal ve ailevi özelliklerinin daha ayrıntılı biçimde karşılaştırıldığı gelecekteki araştırmalar, dijital risklerin hangi koşullarda suça dönüşebildiğini daha kapsamlı biçimde ortaya koyabilir.

KAYNAKÇA

Akers, R. L. (1998). *Social learning and social structure: A general theory of crime and deviance*. Northeastern University Press.

Bandura, A. (1977). *Social learning theory*. Prentice Hall.
Becker, H. S. (1963). *Outsiders: Studies in the sociology of deviance*. Free Press.
Cohen, L. E., & Felson, M. (1979). Social change and crime rate trends: A routine activity approach. *American Sociological Review, 44*(4), 588–608. https://doi.org/10.2307/2094589
Costello, B. J., & Laub, J. H. (2020). Social control theory: The legacy of Travis Hirschi's Causes of Delinquency. *Annual Review of Criminology, 3*, 21–41. https://doi.org/10.1146/annurev-criminol-011419-041527
Erikson, E. H. (1968). *Identity: Youth and crisis*. W. W. Norton.
Goffman, E. (1959). *The presentation of self in everyday life*. Doubleday.
Hirschi, T. (1969). *Causes of delinquency*. University of California Press.
Senekal, J. S., Groenewald, G. R., Wolfaardt, L., Jansen, C., & Williams, K. (2023). Social media and adolescent psychosocial development: A systematic review. *South African Journal of Psychiatry, 29*. https://doi.org/10.1177/00812463221119302
Wang, L., & Jiang, S. (2023). Effectiveness of parent-related interventions on cyberbullying among adolescents: A systematic review and meta-analysis. *Trauma, Violence, & Abuse, 24*(5). https://doi.org/10.1177/15248380221137065
Zhou, Y., Liu, W., Lee, C., Xu, B., & Sun, I. (2024). Traditional social learning predicts cyber deviance? Exploring the offending versatility thesis in social learning theory. *Behavioral Sciences & the Law, 42*(4), 417–434. https://doi.org/10.1002/bsl.2664

ABD-İRAN SAVAŞI BAĞLAMINDA ULUSLARARASI BASINDA TÜRKİYE'NİN KONUMU

Lecturer Burcu AKDEMİR
Ataturk University, Institute of Social Science, Doctorate Programme of Radio, TV and Cinema, 25240 Yakutiye/Erzurum
ORCID ID: 0000-0002-4677-3434
Prof. Dr. Aslı YURDİGÜL
Ataturk University, Faculty of Communication, Department of Radio, TV and Cinema
ORCID ID: 0000-0001-5333-9751

ÖZET

Gerek etnik yapısı gerekse doğal kaynakları veya konumundan dolayı farklı öneme sahip birçok ülkeden oluşan dünyamızda varoluşundan beri büyük-küçük birçok savaşın meydana gelmesi kaçınılmazdır. Bu savaşlar, tarihçilerin ve gazetecilerin gözlemleriyle kayıt altına alınarak resmi bir belge niteliği kazanmış ve günümüze aktarılmıştır. Özellikle gazeteciler tarafından üretilen haberlerde, sadece savaşa taraf olan ülkeler değil; komşu ülkelerin süreçteki tutumları da haberlere yansıtılmıştır. Buradan yola çıkan bu çalışmada da; yakın geçmişimize damga vuran ABD-İran Savaşı konulu haberler incelenmektedir. Bunun için, ABD-Avrupa ve Ortadoğu basını temel alınarak gazetelerde çıkan haberlerde Türkiye'nin ne kadar sıklıkta ve nasıl konumlandırıldığı araştırmaktadır.

Bu bağlamda çalışmanın temel amacı; ABD-İran savaşı süresince gerek coğrafi gerekse de siyasi anlamda stratejik bir öneme sahip olan Türkiye'nin uluslararası basında nasıl konumlandırıldığını yayınlanan haberler üzerinden ortaya koymaktır. Bu amaçla çalışmada çerçeveleme kuramı esas alınmış ve ABD'nin İran' a ilk saldırısını gerçekleştirdiği 28 Şubat 2026 tarihinden itibaren 15 günlük süreçte yayınlanan haberler incelenmiştir. Çalışmanın örneklemi, amaçlı örneklem yöntemi kullanılarak uluslararası basını temsil edecek nitelikteki yayın organlarından seçilmiştir. Buna göre çalışma, uluslararası Rus basınını temsilen Sputnik Globe International, Avrupa basınını temsilen The Reuters, The Independent, El-Pais, Der Spiegel, The Guardian ve Ortadoğu basınını temsilen The Times of Israel ve Iran International olmak üzere 8 yayın organı üzerinden yürütülmüştür. Çalışma, nitel araştırma yöntemlerini benimsemektedir. Bu yöntem kapsamında, ilgili yayın organları birer doküman olarak kabul edilmiş ve doküman analizi yöntemi aracılığıyla incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: ABD-İran Savaşı, Uluslararası basın, Türkiye, Haber

TURKIYE'S POSITION IN THE INTERNATIONAL PRESS IN THE CONTEXT OF THE US – IRAN WAR

ABSTRACT

Since the existence of our world comprised of both small and big countries with variety of degrees in terms of not just ethnic composition but also natural resources or geographical location, war has always been inevitable. Owing to the invention of writing, these occasions were recorded, first by historians then by journalists. These recorded events reflect the attitudes of the countries supporting the war as well as their neighbours in the news. By using quantitative research methods, this study examines how and to what extent Turkiye was shown in the US, European and Middle Eastern press during the first fifteen days of ongoing war between Iran and the US and also analyses the country's position from the perspective of these communities.

In this context, the main objective of the study is to reveal how Turkiye, which has strategic importance both geographically and politically during the US-Iran war, was positioned in the international press through published news reports. For this purpose, the study is based on framing theory and examines news reports published in the 15-day period starting from February 28, 2026, the date of the first US attack on Iran. The sample of the study was selected from media organs that are representative of the international press using the purposive sampling method. Accordingly, the study was conducted through 8 media outlets, representing the international Russian press (Sputnik Globe International), The European press (The Reuters, The Independent, El Pais, Der Spiegel, The Guardian), and The Middle Eastern press (The Times of Israel, Iran International). The document analysis method was used in the analysis of the data obtained in the study. The qualitative research method has been used in this study. Within this methodology, the relevant publications were considered as documents and examined through document analysis.

Key Words: The USA-Iran War, International Press, Turkiye, News

1.GİRİŞ

Aynı gezegende ancak farklı coğrafyalarda yaşayan halklar varoluştan bu yana etkileşim içindedir. Bu etkileşim kimi zaman ticari kimi zaman dini kimi zamanda savaşlar neticesinde artmış ya da azalmıştır. Bu süreçte yaşananlar ise dünyanın geri kalan kısmı için her zaman bir merak ve ilgi konusu olmuştur. İnsanın doğuştan sahip olduğu bu merak duygusunu tatmin etme görevi ise habercilere düşmüştür. Dünyada olan olayları tarafsız şekilde yansıtmakla yükümlü olan haberciler açısından çeşitli konuların- olayların takipçileri fazla olmaktadır. Bu herkesin merakını uyandıran olayların başındaysa savaşlar gelmektedir. Savaşlar sadece

tarafları değil, taraflara komşu olan ülkeler başta olmak üzere, direk ya da dolaylı olarak, tüm ülkeleri küresel bağlamda ilgilendirmektedir. Toprak elde etmek ya da üstünlüğü belirtmek amaçlı yapılan bu savaşlar dünya ülkelerini sadece ekonomik açıdan değil sosyal olarak da etkilemektedir. Bu tür krizlerin olduğu zamanlarda ülkelerin basında yansıtılma şekilleri de büyük önem taşımaktadır. Ülkeler, her ne kadar olayın taraflarından biri olmasa da basında arabulucu, fırsatçı ya da tarafsız gibi farklı sıfatlarla lanse edilebilmektedir. Bu durum da diğer ülkelerin habere konu ülkeye/ülkelere bakışını olumlu ya da olumsuz olarak etkileyebilmektedir.

Yakın geçmişte yaşanılan İran- ABD savaşı sürecinde de coğrafi konumundan dolayı benzer bir durum Türkiye için söz konusu olmuştur. Türkiye her ne kadar savaşın taraflarından biri olmasa da İran'a olan coğrafi yakınlığından dolayı dünya basınında çıkan haberlerde yer alan ülkelerden biri olmuştur. Buradan hareketle bu çalışma da dış basında Türkiye'nin nasıl-hangi konumda ve ne kadar yansıtıldığını incelemektedir. Haberlerde kullanılan başlık, kelime seçimi ya da basında ne kadar yer kapsadığı gibi nitelik açısından yapılan inceleme dış basında Türkiye'nin nasıl konumlandırıldığına dair deliller sunmaktadır.

Bu çalışmanın kuramsal temelini Goffman'ın çerçeveleme kuramı oluşturmaktadır. Olayları anlamlandırmak için toplumda olan temel anlayışları izole etmeyi amaçlayan Goffman (1974) kitabında çerçeveleme kuramını açıklarken bir olayın tanımının taraflarca olayların oluşum prensiplerine ve bizim ona bireysel katılımımıza göre şekillendiğine inandığını söylemektedir. Goffman'a göre "burada neler oluyor?" sorusunu sormaya yatkın olan insanlar için başka türlü anlatılması mümkün olmayan durumlarda birincil çerçeve olarak adlandırdığı, duruma anlam yüklemeye yarayan çerçeveyi kullanmaktadır. Doğal ve toplumsal olarak ikiye ayırıp birincil olarak adlandırdığı bu çerçeve sayesinde olayların insan algısına göre farklı anlamlar içerdiğini vurgulamaktadır. Çerçeveler sadece bir durumu anlatmak için değil, diğer insanlara konu hakkında bir hikâye anlattığı için de önemlidir (Gültepe, 2020). Bu bağlamda çerçeveleme kuramı, ele alınan haberleri sistematik olarak analiz etme ve verilmek istenen mesajlardaki yönlendirici çerçeveleri tanımlamaya olanak sağlamasından dolayı çalışmanın kuramsal temeli oluşturmuştur (Erdem,2022).

2. YÖNTEM

Bu çalışmanın temeli nitel araştırma yaklaşımına dayanmaktadır. Nitel araştırma yaklaşımını; gözlem, görüşme ve doküman analizi gibi nitel veri toplama yöntemlerinin kullanıldığı, algıların ve olayların doğal ortamda, gerçekçi ve bütüncül bir biçimde ortaya konmasına yönelik nitel bir sürecin izlendiği araştırmalar olarak tanımlamak mümkündür (Yıldırım &

Şimşek, 2000). Nitel araştırmalar 'nasıl' sorusuna odaklanarak, ele alınan konunun ya da kavramın daha detaylı açıklamasının yapılmasına olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada da nitel yaklaşımlar, uluslararası basında çıkan haberlerde Türkiye'nin "nasıl" konumlandırıldığını derinlemesine ve detaylı olarak analiz etmeye olanak tanımaktadır. Bunun için çalışmada doğrudan görüşme ya da gözlem mümkün olmadığı için nitel araştırma tekniklerinden doküman analizi yöntemi kullanılmıştır. Doküman analizi; araştırılması hedeflenen olay ya da olaylarla ilgili bilgi içeren yazılı belgelerin incelemesi olmakla birlikte görsel materyalleri de kapsamaktadır (Yıldırım & Şimşek, 2000).

Çalışmanın örneklem seçiminde olasılıklı ve amaçlı olarak ikiye ayrılan örnekleme yönteminden, ele alınan konuya uygun olan amaçlı örneklem kullanılmıştır. Amaçlı örneklem için Yağar (2018) kısıtlı kaynakları en verimli şekilde kullanabilme amacıyla bilgi bağlamında en zengin olayların bulunup seçilmesi için kullanılan bir teknik olduğunu belirtir. Bu çalışmada da, çalışmanın amaçları ve sonuçları göz önüne alınarak uluslararası basını temsilen Reuters, Independent, Der Spiegel, Sputnik Globe International, El-Pais, The Guardian, Iran International, The Times of Israel ve Reuters seçilmiştir. Bu seçimde, çalışmanın kuramsal altyapısını oluşturan çerçeveleme kuramı ile konuya farklı perspektiflerden bakış sağlaması ve yayın organlarının ulaşılabilirlik, uluslararası yayınlanma ve güvenirlik gibi kriterleri temel alınmıştır. Böylelikle, Türkiye'nin ABD-İran Savaşı bağlamında uluslararası basında nasıl konumlandırıldığının farklı perspektiflerden açıklanması amaçlanmıştır.

Çalışma sürecinde örnekleme alınan yayın organlarında 28 Şubat 2026-15Mart 2026 tarihleri arasında çıkan haberler birer doküman olarak kabul edilmiş ve incelenmiştir. Bunun için yayın organlarının web siteleri kullanılmıştır. Çalışmayla ilgili haberlere ulaşabilmek için ise anahtar kelimelerden yararlanılmıştır. Bu noktada Türkiye, ABD-İran ve ABD-İran Savaşı kelimeleri önce İngilizce, sonrasında da Almanca ve İspanyolca şeklinde anahtar kelime olarak kullanılmıştır. Arama sonucu ulaşılan Türkiye konulu ve Türkiye'nin adının geçtiği haberler analize tabi tutulmuş ve çeşitli tablolar aracılığıyla farklı açılardan değerlendirilmiştir.

3. BULGULAR

Çalışmaya konu olan ABD-İran savaşı bağlamında İran'a olan komşuluğundan dolayı Türkiye'nin zaman zaman Avrupa, Rusya, Orta Doğu ve Amerikan basınında yer aldığı görülmektedir. Hatta ABD-İran savaşının başlamasından birkaç ay önce DW haber ajansının bölgeyle ilgili yapmış olduğu bir haberde Türkiye'nin bölgede yaşanacak bir çatışmanın bölgeyi istikrarsızlaştıracağından, ekonomiyi kötü etkileyeceğinden ve olası bir göç dalgasının gelmesinden korktuğuna dikkat çekilmiştir (DW, 2026). Uzun süredir dış basında Avrupa ve

Orta Doğu arasında köprü olarak görülen Türkiye'nin ABD-İran Savaşı'nda da bu rolü oldukça önem arz etmektedir. Buradan yola çıkılarak yapılan çalışmada, Türkiye'nin bu rolü ve uluslararası basında nasıl temsil edildiği incelenmiştir. İnceleme sonucunda elde edilen veriler, aşağıda farklı başlıklar altında tablolar halinde sunulmuştur.

Tablo 1. Haber sayıları

Haber Kaynağı	Toplam Haber Sayısı
Independent	5
Sputnik Globe International	4
El-Pais	2
Der Speigel	3
The Guardian	2
The Times of Israel	19
Iran International	21
Reuters	19
Toplam Haber Sayısı	74

Tablo 1 incelendiğinde, orta doğu haber kaynakları içerisinde en çok İran kaynaklı basın organlarında Türkiye'nin öne çıktığı görülmektedir. Bunu yine orta doğuya ait olan İsrail yayın organı ile dünyanın en büyük haber sağlayıcısı olan Reuters'ın geldiği görülmektedir.

Tablo 2. Haber Başlıkları ve Tarihleri

Haber Kaynağı	**Haberin Yayın Tarihi**	**Haber Başlığı**
Independent	03 Mart 2026	• Dışişleri Bakanlığı'nın Türkiye'ye Seyahatin Güvenli Olup Olmadığına Dair Tavsiyesi
	05 Mart 2026	• İran NATO'nun Füzeyi Engellemesinin Ardından Türkiye'ye Füze Fırlattığını Yalanladı; Kriz Ortadoğu'nun Ötesine Yayıldı
	08 Mart 2026	• İran'ın Türkiye ile Olan Sınırı Bir Çıkış Sunuyor, Ancak Çok Az Kişi Kalıcı Olarak Ayrılıyor
	09 Mart 2026	• Türkiye'ye Seyahat Etmek Güvenli mi? İran'daki Çatışma Ortasında Dışişleri Bakanlığı'nın Son Tavsiyeleri
	14 Mart 2026	• AP Özel Haberi: Türkiye Dış İşleri Bakanı Hakan Fidan, Bölgesel Savaşın Şiddetlendiği Bir Dönemde Diplomasi Çabaları Hakkında Konuştu
Sputnik Globe International	4 Mart 2026	• Amerika Türkiye Üzerinde Füze İmhası Sonrasında NATO'nun 5. Maddesini Kullanmak İçin Bir Sebep Görmüyor-Hegseth • Türk Dış İşleri Bakanlığı, Füze Olayının Ardından İran Büyükelçisini Çağırdı

	09 Mart 2026	• İran, Kıbrıs, Türkiye ve Azerbaycan'a Yönelik Saldırılar Gerçekleştirmedi-İran Dışişleri Bakanlığı
	13 Mart 2026	• İran'da Fırlatın Balistik Füze Türkiye Üzerinde 3. Kez Engellendi – Ankara
El Pais	06 Mart 2026	• Turizm Sektörü Orta Doğu'da Çatışmalar Nedeniyle Turistlerin İspanya'ya Yöneleceğini
	14 Mart 2026	• Erdoğan'ın İran'da Ne Gibi Çıkarları Var?
Der Spiegel	04 Mart 2026	• NATO, Türkiye Üzerinde İran Füzesini Engelledi-4 Mart 2026
	07 Mart 2026	• Avrupa'ya Doğru Yeni ve Büyük Ölçekli Bir Göç mü Yaklaşıyor?
	10Mart 2026	• Türkiye Malatya'da Patriot Sistemini Konuşlandırıyor
The Guardian	04 Mart 2026	• NATO İran'ın Türkiye'yi Hedef Almasını Kınadı
	05 Mart 2026	• ABD ve İsrail Tanıdıklarını Sandıkları İran'a Karşı Savaş Yürütüyorlar. Gerçek ise Çok Farklı
The Times of Isreal	01 Mart 2026	• Türkiye'nin Erdoğan'ı Cumhurbaşkanı Hamaney'in Ölümünden Dolayı Üzüldüğünü Söyledi
	02 Mart 2026	• Türkiye topraklarındaki ABD üssünün İran Tarafından Vurulduğu Yönündeki Haberleri Yalanladı
	03 Mart 2026 04 Mart 2026	• Türkiye Orta Doğu'daki Savaşı Sona Erdirmek İçin "Yoğun" Çabalar Sarf Ettiğini Söylüyor • Rusya, Çin ve Türkiye, İran Savaşına Derhal Son Verilmesi İçin Baskı Yapıyor • İran'a Ait Bir Füze NATO üyesi Türkiye'ye Doğru Giderken Düşürüldü • Türkiye İran'a Ait Balistik Füzenin Hava Sahasına Girdiğini ve NATO Tarafından Düşürüldüğünü Açıkladı- • Rubio İran'ın Füze Saldırısının Ardından Türkiye'ye Yönelik Saldırıları "Kabul Edilemez" Olarak Nitelendirdi
	05 Mart 2026	• İran Türkiye'ye Füze Fırlattığını Yalanladı • Türkiye İran'ın Azerbaycan'ın Nahcivan Bölgesine Yaptığı İnsansız Hava aracı Saldırılarını Şiddetle Kınadığını Açıkladı

	07 Mart 2026	• Türkiye İnsansız Hava Aracı Saldırılarından Dolayı Kuzey Kıbrıs'a F-16 Yollamayı Değerlendiriyor • Türkiye İran'ı Ülkeye Daha Fazla Füze Fırlatmaması Konusunda Uyardı
	09 Mart 2026	• NATO, Türkiye Üzerinde İkinci İran Füzesini Düşürdü; Erdoğan İran'ın Uyarıldığını Söyledi • ABD Vatandaşlarının Türkiye'nin Güneydoğusunu Terk Etmeye Çağırdı ve Adana Konsolosluğundaki Gerekli Olmayan Personelin Dışarı Çıkarılmasını Emretti
	10 Mart 2026	• Türkiye Dışişleri Bakanı, İran'a Ülkenin Hava Sahasının İhlalinin "Kabul Edilemez" Olduğunu Söyledi • Türkiye, İran Savaşı Sırasında Hava Savunmasını Güçlendirmek İçin ABD Patriot Sisteminin Konuşlandırıldığını Söylüyor
	11Mart 2026	• Türkiye Cumhurbaşkanı Erdoğan: Antisemitizm Erdoğan: Antisemitism Meşrulaştırılamayacak bir "Kötü Suç "tur
	13 Mart 2026	• Türk Medyasına Göre Önemli Bir NATO Tesisinde Siren Sesleri Duyuldu • Erdoğan İran Füze Olaylarından Sonra Türkiye'nin Ortadoğu Savaşına Sürüklenmeyeceğini Söyledi
	14 Mart 2026	• İranlılar Savaşın Ortasında Ülkeyi Terk Edip Etmemede Kararsız
Iran International	02 Mart 2026	• NATO Genel Sekreteri Rutte İran ve Bölgesel Güvenlik Konuları Hakkında Türkiye Cumhurbaşkanı Erdoğan ile Görüştü
	03 Mart 2026	• BM İran'dan Büyük bir Göç Beklemiyor • Irak'ın Kerkük Kentinden Türkiye'nin Ceyhan Limanına Ham Petrol Yüklemeleri durduruldu
	04 Mart 2026	• Türkiye İran'dan Fırlatılan Balistik Füzeyi Engelledi • Türkiye İran'ın Hava Sahasına Füze Fırlatmasını Protesto Etti-Reuters • NATO İran'ın Türkiye'yi Hedef Almasını Kınadı • Türkiye Hava Sahasına Doğru İlerleyen Füze Nedeniyle İran Büyükelçisini Çağırdı • Türkiye İran'dan Gelebilecek Olası Göçmen Akınına Karşı Planlar Hazırlıyor • Rubio İran'ın Türkiye'ye Yönelik Saldırılarını Kınadı ve ABD Desteğini Taahhüt Etti
	05 Mart 2026	• Türkiye İran'ın Azerbaycan'ın Nahcivan Bölgesine Yönelik İnsansız Hava Aracı Saldırılarını Kınadı • Kaynaklara Göre Türkiye Kıbrıs'a F-16 Savaş Uçakları Konuşlandırmayı Değerlendiriyor
	09 Mart 2026	• İran Azerbaycan, Türkiye ve Kıbrıs'a Yönelik İnsansız Hava Aracı Saldırılarını Yalanladı • İran, Askeri Saldırılar Devam Ettiği Sürece Ateşkes Görüşmelerine Yer Olmadığını Söylüyor • Türkiye, İran Savaşı Sırasında Kuzey Kıbrıs'a Altı Adet F-16 Uçağı Konuşlandırdı • Türkiye NATO Savunma Sistemlerinin İkinci İran Balistik Füzesini de Düşürdüğünü Açıkladı

		• Reuters:Türkiye Topraklarına Doğru Fırlatılan Füze Nedeniyle İran Büyükelçisini Çağırdı
	10 Mart 2026	• ABD, İran Savaşı Sırasında Hava Savunmasını Güçlendirmek İçin Türkiye'ye Patriot Sistemi Konuşlandırdı • Türkiye, İran'a Hava Sahası İhlalinin Kabul Edilemez Olduğunu Söyledi
	12 Mart 2026	• Mücteba Hamaney'in Yükselişinin ardından Müttefikler Toplanırken Rakipler Hazırlıklarını Yapıyor
	13 Mart 2026	• Türkiye İran Savaşına Sürüklenmeyeceğini Ancak Tüm Tehditlere Karşı Hazırlıklı Olduğunu Söylüyor • Türkiye NATO Savunma Sistemlerinin İran'dan gelen Üçüncü Füzeyi de Engellediğini Söyledi
Reuters	01 Mart 2026	• Gezginler Bazı İranlıların Türk Kara Sınırında Bekletildiğini Söylüyor
	02 Mart 2026	• Görgü Tanığının Dediğine Göre, Yüzlerce İranlı Türkiye Sınırını Geçti • Türkiye Cumhurbaşkanı Erdoğan, İran'a Yönelik Saldırıların Uluslararası Hukukun Açık Bir İhlali Olduğunu Söyledi
	03 Mart 2026	• Türkiye İran Savaşını Sona Erdirmek ve Diplomasiyi Yeniden Başlatmak İçin Tüm Taraflarla Görüşmelerde Bulunduğunu Söylüyor
	04 Mart 2026	• ABD, Körfez'den Uzakta İran savaş Gemisini Batırdı, NATO ise Türkiye'ye Giden İran Füzesini Düşürdü • Türkiye, NATO Savunma Sistemlerinin İran Füzesini İmha Ettiğini ve Savaşın Genişleme Riskinin Bulunduğunu Söyledi • ABD Dış İşleri Bakanlığından Yapılan Açıklamaya Göre Rubio, Türk Dışişleri Bakanı ile Görüştü ve ABD'nin Tam Desteğini Taahhüt Etti • Bakan Türkiye'nin İran'dan Gelebilecek Olası Göçmen Akışı İçin Planlar Hazırladığını Söyledi
	05 Mart 2026	• Özel Haber: Rutte, Türkiye'nin Füze Düşürmesiyle İlgili NATO'nun 5. Maddesinin Devreye Sokulmasından Söz Edilmediğini Söyledi • Türkiye Olayının Ardından NATO Füze Savunma Kapasitesini Arttırıyor
	06 Mart 2026	• Türkiye İran Savaşı Nedeniyle Ortadoğu'ya Yönelik Uçuş İptallerini Uzattı
	07 Mart 2026	• Bakanlık Kararlarına Göre Türkiye, Kıbrıs'a F-16 Uçakları Konuşlandırmayı Değerlendiriyor
	09 Mart 2026	• Türkiye Kuzey Kıbrıs'a Altı Adet F-16 Savaş Uçağı ve Hava Savunma Sistemi Konuşlandırdı • Türkiye, NATO Savunma Sistemlerinin İran'dan Gelen İkinci Füzeyi de Düşürdüğünü Açıkladı
	10 Mart 2026	• "Belki Birlikte Ölürüz": İran-Türkiye Dağ Sınırındaki Sesler • Türkiye, İran'a Hava Sahasını İhlal Etmesinin Kabul Edilemez Olduğunu Bildirdi

	11 Mart 2026	• Türkiye Cumhurbaşkanı Erdoğan, İran Savaşının Tüm Bölge Bu İşe Sürüklenmeden Önce Durdurulması Gerektiğini Söyledi
	13 Mart 2026	• ABD Birliklerinin Konuşlandığı Türk Askeri Üssü Yakınlarında Gece Saatlerinde Patlama Sesi Duyuldu • Türkiye, NATO Savunma Sistemlerinin İran'dan Gelen Üçüncü Füzeyi de Engellediğini Belirterek Tahran'dan Açıklama İstedi

Tablo 2 deki haber başlıklarına bakıldığında gazetelerin çoğunun başlığında Türkiye adının yazdığı ve gelişmeleri adeta savaşın bir özeti niteliğinde bilgilendirici başlıklar attığı görülmüştür. İncelenen süre içerisinde Türkiye'yi içeren ilk haberin 1 Mart'ta Israel International ile başlayıp 2 Mart Iran International, 3 Mart Independent, 4 Mart Der Spiegel ve The Guardian ile devam ettiği görülmektedir. Türkiye hakkında Savaşın taraflarından İran'a sınır komşusu olmasından ve coğrafi konumundan dolayı başta sadece ulaşım-göç konusunda oluşan haber başlıkları savaşın seyrine göre değişmiştir.

Tablo 3. Haberlerin Tonu ve Odağı

Haber Kaynağı	**Olumlu**	**Nötr**	**Olumsuz**
Independent	1	4	-
Sputnik Globe International	-	4	-
El Pais	1	1	-
Der Spiegel	2	1	-
The Guardian	-	2	-
The Times of Israel	1	15	3
Iran International	1	20	-
Reuters	1	17	1

Tablo 3 e baktığımızda haberlerin genelinin toplumu bilgilendirme amacıyla tarafsız şekilde aktarıldığı görülmüştür. Yapılan olumlu haberlerde Türkiye'nin tarafsızlığına ve arabuluculuk çalışmalarına değinilmiştir. Olumsuz haberlerde ise Türkiye'nin Gazze Savaşı'ndan beri İsrail'i en sert eleştiren ülke olduğuna değinilmiştir.

Tablo 4. Haber İçeriğinde Türkiye İçin Kullanılan Sıfatlar, Gazeteler, Sıfatları İçeren Haber Sayısı

Gazete	**Kullanılan Sıfat**
The Times of Israel	NATO Müttefiki
The Times of Israel(1), Independent(1)	İsrail'i En Çok Eleştiren (Erdoğan Bağlamında)
The Times of Israel(1) Reuters (4)	Nato Üyesi
Reuters(4)	Nato'nun İkinci Büyük Askeri Gücü
Reuters(2)	Iran'a Sınırı olan NATO Üyesi
The Times of Israel(1) , Reuters(2)	ABD-İran Görüşmelerine Arabuluculuk Yapmak İsteyen İran Komşusu
Reuters(2)	Küresel Savunma Sanayinde Yükselen Bir Lider

Tablo 4 te çalışmada incelenen 74 haber başlığı ve içeriklerine bakıldığında Türkiye sadece ismiyle haberde yer almamış aynı zamanda farklı sıfatlarla da nitelendirilmiştir. Kullanılan bu sıfatlara baktığımızda kiminin bilgilendirmeye yönelik –nötr olduğu, kimininse çoğunlukla olumlu olarak kullanıldığı görülmüştür. Haber kaynaklarında ortak olan özne konumundaki kelime başkent Ankara olurken, Türkiye'nin NATO üyesi olup önemli bir askeri güce sahip olduğundan bahsedildiği görülmektedir. Öte yandan arabuluculuk sıfatıyla da ele alınan Türkiye'nin askeri gücüne de çoğu içerikte vurgu yapıldığı görülmektedir.

Tablo 5. Gazeteler, Temsil Edilen Aktörler ve Haber Sayısı

Ankara	The Times of Israel(3) ,Independent(1) ,Iran International(7), Reuters(2), Der Spiegel (1)
Türkiye	The Times of Israel (15) ,Independent(1), Iran International(8), Reuters(10), The Guardian (1), Der Spiegel (2), El Pais(1), Sputnik Globe International(3)
Türk Hükümeti	Reuters(1)
Cumhurbaşkanı Recep Tayyip Erdoğan	The Times of Israel(3), Iran International(3), Reuters(1), Der Spiegel (1), El Pais(1)
Dış İşleri Bakanı Hakan Fidan	The Times of Israel (3), Independent(2), Iran International(2), Reuters(3), Der Spiegel (1)
Dış İşleri Bakanlığı	The Times of Israel (1), Iran International(3), The Guardian (1), Sputnik Globe International(1)
Savunma Bakanlığı	The Times of Israel (4), Independent(1), Iran International(4), Reuters(4), Der Spiegel (1), Sputnik Globe International(1)
İç İşleri Bakanı Mustafa Çiftçi	Independent(1), Reuters(1)
Ulaştırma Bakanı Abdulkadir Uraloğlu	Reuters (1)
İletişim Bakanlığı	The Times of Israel (1)
Türkiye Ticaret Bakanı	Independent(1)
Ticaret Bakanı Ömer Bolat	Reuters(1)

Ele alınan haberlerde yapılan açıklamalardan hareketle başta Cumhurbaşkanı Recep Tayyip Erdoğan olmak üzere Dış İşleri Bakanı Hakan Fidan'ın da konuyla ilgili yaptığı açıklamalar haber içeriklerinde ilk ağızdan aktarım şeklinde olup çoğunluğunda yorum yer almamaktadır. Haber içeriklerinde haber kaynağı olarak Türkiye ya da Ankara öznesiyle haberler aktarılmıştır. Gelişmeler neticesinde haberlerin savunma ve ulaşımla ilgili kısımlarında ilgili bakanların ağzından haberler aktarılmıştır.

Tablo 6. Haber Çerçeveleri

Ekonomi	Times of Israel(1), Reuters(2), El Pais (1),Independent(1), Der Spiegel (1)

Ulaşım	Times of Israel(4), Iran International (2),Reuters (4), Independent(3)
Güvenlik	Times of Israel(12),Iran International (15),Reuters (7), Sputnik Globe International(3), The Guardian(2), Independent (4), Der Spiegel (2)
Siyasi	Times of Israel (2), Iran International (3),Reuters(7), El Pais(1),SputnikGlobe International(1),The Guardian (1), Independent (2)

Tablo 6 ya bakıldığında haberlerin 4 ana başlık altında toplandığını görmekteyiz. Savaşın başladığı andan itibaren yapılan haberlerde öncelikle Türkiye seyahatlerinin güvenliğinden bahsedilmiş sonrasında gelen birkaç haberde turistlerin bölgeyi güvenli bulmama ihtimalinden söz edilmektedir. Yapılan haberlerde Türkiye ekonomisi olası göçler bağlamında ele alınmaktadır. Siyasi açıdan bakıldığında Türkiye'nin taraflarla olan iyi ilişkisinden, arabulucu olmak istediğinden ve politik olarak konumunun önemli olduğundan bahsedilmektedir. Çalışmanın ele alındığı süreçte hava sahasında imha edilen füzelerden dolayı bölgenin güvenliğiyle ilgili haberlerin de yer aldığı görülmektedir.

4. SONUÇ

Çalışmada örneklem olarak kullanılan Sputnik Globe International, The Reuters, The Independent, El-Pais, Der Spiegel, The Guardian ,The Times of Israel ve Iran International olmak üzere 8 yayın organı web siteleri üzerinden çatışmanın başladığı 28 Şubat 2026 tarihinden itibaren on beş günü kapsayacak şekilde incelenmiştir. İncelemede Türkiye'yi özne konumuna koyan haberler nitel araştırma yöntemlerinden doküman analizine tabi tutulmuştur. Elde edilen verilerden yola çıkıldığında Avrupa, Rusya ve İran basınında Türkiye'nin tarafsız olarak ele alındığı ancak İsrail basınında kısmen taraflı olduğu görülmüştür. The Times of Israel gazetesinin 3 Mart 2026 tarihli haberinin son kısmında ilişkilerin Gazze savaşı zamanında bozulduğundan bahsedilmiştir. Yine aynı tarihte İngiliz haber kaynakları Türkiye'ye yapılacak seyahatlerin güvenilir olup olmadığını da ele alırken 6 Mart 2026'da İspanya basını Türkiye'nin coğrafi yerinden dolayı riskli olmasının kendilerine turizm bağlamında yarar sağlayıp sağlamayacağını haber konusu yapmıştır. Alman, İngiliz ve İran basınında büyük bir göç beklentisi olup olmayacağına dair haberler yer alırken sonrasında Türkiye hava sahasına giren füzelerden dolayı 2-4 ve 9 Mart tarihli haber kaynaklarında Türkiye'nin daha çok yer aldığı görülmüştür. Hava sahasına giren füzelerin NATO savunma sistemi sayesinde imha edildiği ile ilgili bu haberlerde Türkiye'nin NATO'nun ikinci büyük orduya sahip olduğu ve bölgede gelişmekte olan bir güç olduğuna da değinilmektedir. Öte yandan Türkiye'nin transatlantik NATO ittifakının ikinci büyük ordusuna sahip olsa da tüm

çabalarına rağmen henüz kendi hava savunma sisteminden aciz olduğundan bahsedilmiş ve kendine isabet eden füzelerde NATO'nun sistemine güvendiğini belirtmiştir. Her iki taraf hakkında verdikleri röportajlarda tarafların isimlerinin önüne "dostumuz" sıfatını koymasından dolayı iki taraf arasında köprü işlevi olduğunu her seferinde dile getiren Türkiye, çalışmaya konu olan haberlerde de aynını yapmaktadır. Haber kaynaklarında ortak olan nokta Türkiye'nin arabuluculuk görevi üstlenmek istediğini en baştan belirttiği ve bu yönde adımlar attığıdır. Yapılan bu çalışma sonucunda ele alınan 8 gazetenin haberlerine dayanarak dünya basınında Türkiye'nin konuyla ilgili yer aldığı haberlerde tarafsız ve arabuluculuk görevi üstlenmeye hazır barış yanlısı bir ülke olarak yansıtıldığı görülmüştür.

KAYNAKÇA

Erdem, T. (2022). Çerçeveleme Kuramı Perspektifinden Uluslararası Basının Türk Ekonomisine Yaklaşımı: Al Jazeera ve BBC Örneği. *The Journal of Communication and Social Studies, 2*(1), 43-57. doi:10.29228/itamder.57814

Goffman, E. (1974). *Frame Analysis: An Essay On The Organization Of Experience.* Harvard University Press.

Gültepe, M. (2020).Çerçeveleme Kuramı. İçinde Hazar M. & Avcı Ö. (Ed.), *İletişim Kuramları* (ss.475-495).

Küçük, K., Koz, K. A. ve Ünal, U. (2022). Uluslararası basında Türkiye'ye ilişkin haberlerin yansıması. *Manas Sosyal Araştırmalar Dergisi, 11*(4), 1504-1527.

Özer, Ö. (Ed.). (2012). *Haberin doğası: gazetecilikte idealler ve sorunlar*. Literatürk.

Özdemir, M. (2010). Nitel Veri Analizi: Sosyal Bilimlerde Yöntembilim Sorunsalı Üzerine Bir Çalışma. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 11*(1), 323-343.

Şan, M. K. & Yılmaz Altun, Ö. (2023). Erving Goffman ve Çerçeve Analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, *25*(2), 777-787.

Yağar, F. & Dökme, S. (2018). Niteliksel Araştırmaların Planlanması: Araştırma Soruları, Örneklem Seçimi, Geçerlik ve Güvenirlik. *Gazi Sağlık Bilimleri Dergisi*, *3*(3), 1-9.

Yıldırım, A. & Şimşek, H. (2000). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri*. Ankara: Seçkin Yayıncılık.

DW.(2026, 27 Mart). *İran war Turkey Kurds refugee policy NATO defence* https://www.dw.com/en/iran-war-turkey-kurds-refugee-policy-nato-defense/a-76295842

Times of Israel. (2026, 9 Mart). https://www.timesofisrael.com/nato-downs-second-iranian-missile-over-turkey-which-stresses-right-to-self-defense/

Reuters. (2026, 2 Mart). *Turkey urges Us resolve Iran disputes one by one says Iran ready nuclear talks.* https://www.reuters.com/world/middle-east/turkey-urges-us-resolve-iran-disputes-one-by-one-says-iran-ready-nuclear-talks-2026-01-28/?utm_source=chatgpt.com

Reuters. (2026, 2 Mart). *Hundreds Iranians cross border into Turkey witness says*.2026-03-02/https://www.reuters.com/world/middle-east/hundreds-iranians-cross-border-into-turkey-witness-says-2026-03-02/

Iran International. (2026, 28 Ocak). *Why Turkey fears Iran's unrest more than its repression*. https://www.iranintl.com/en/202601234802

Iran International. (2026, 28 Şubat). Live blog : https://www.iranintl.com/en/liveblog/20260228814 adresinden 14 Nisan2026 tarihinde erişildi.

Independent. (2026, 3 Mart). Archive for 3 March 2026. https://www.independent.co.uk/archive/2026-03-03

Independent. (2026, 5 Mart). Archive for 5 March 2026. https://www.independent.co.uk/archive/2026-03-05

Independent. (2026, 8 Mart). Archive for 8 March 2026. https://www.independent.co.uk/archive/2026-03-08
Independent. (2026, 9 Mart). Archive for 9 March 2026. https://www.independent.co.uk/archive/2026-03-09
Independent. (2026, 14 Mart). *AP Exclusive: Turkey's Foreign Minister Hakan Fidan talks diplomacy efforts as regional war rages.* https://www.independent.co.uk/news/iran-israel-exclusive-syria-middle-east-b2938636.html
Sputnik. (2026, 13 Mart). *Live updates: Middle East tensions mount after strikes on Iran - Day 14*. 12 Nisan 2026 tarihinde https://sputnikglobe.com/20260313/live-updates-middle-east-tensions-mount-after-strikes-on-iran--day-14-1123817266.html adresinden erişildi.
El- Pais. (2026, 14 Mart). *Lo que se juega Erdogan en Iran.* https://elpais.com/opinion/2026-03-14/lo-que-se-juega-erdogan-en-iran.html (erişim tarihi 12.04.2026)
El-Pais. (2026, 6 Mart). *El sector del turismo anticipa un trasvase de viajeros hacia espana por el conflict en oriente proximo*. https://elpais.com/economia/2026-03-06/el-sector-del-turismo-anticipa-un-trasvase-de-viajeros-hacia-espana-por-el-conflicto-en-oriente-proximo.html
Der Spiegel. (2026, 4 Mart). *Iran krieg NATO fängt iranische Rakete vor Türkei ab* https://www.spiegel.de/ausland/iran-krieg-nato-faengt-iranische-rakete-vor-tuerkei-ab-a-0bffcb38-3b2a-4743-8bea-a822643a6a53
Der Spiegel. (2026, 7 Mart). *Iran Krieg droht eine neue Fluchtbewegung Richtung Europa*. https://www.spiegel.de/politik/deutschland/iran-krieg-droht-eine-neue-fluchtbewegung-richtung-europa-a-6fdf7fca-fbbc-4b01-8527-0029221b0960
Der Spiegel. (2026,10 Mart). *İran krieg Türkei stationiert Patriot System in Malatya.* https://www.spiegel.de/ausland/iran-krieg-tuerkei-stationiert-patriot-system-in-malatya-a-bbead113-1514-4fc2-81c9-db189ae4de2a
The Guardian. (2026, 4 Mart*). Live Updates: Iran war live updates us Israel latest news strait of Hurmuz middle east-crisis.* 14 Mart 2026 tarihinde https://www.theguardian.com/world/live/2026/mar/04/iran-war-live-updates-us-israel-latest-news-strait-of-hormuz-middle-east-crisis?filterKeyEvents=false&page=with%3Ablock-69a826dc8f08ec6b9a466a75#block-69a826dc8f08ec6b9a466a75 adresinden erişildi.
The Guardian. (2026, 5 Mart). *The US and Israel are waging war on an Iran they think they know. The reality is very different* https://www.theguardian.com/commentisfree/2026/mar/05/us-israel-war-iran-islamic-republic-theocracy-dictatorship

YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ HABER ÜRETİMİ ÜZERİNE YAZILAN AKADEMİK ÇALIŞMALARIN BİBLİYOMETRİK ANALİZİ

Nergis Gizem KIZILÇİM
Ataturk University, Institute of Social Science, Doctorate Programme of Radio, TV and Cinema, 25240 Yakutiye/Erzurum
ORCID ID: 0000-0002-6227-0351
Prof. Dr. Aslı YURDİGÜL
Ataturk University, Faculty of Communication, Department of Radio, TV and Cinema
ORCID ID: 0000-0001-5333-9751

ÖZET

Bu çalışma, gazetecilikte haber üretimi bağlamında üretken yapay zekâ, ChatGPT ve büyük dil modellerine ilişkin akademik literatürü bibliyometrik perspektiften incelemektedir. Üretken yapay zekâ teknolojilerinin haber yazımı ve haber odası uygulamalarında kullanılmaya başlanması, gazetecilik mesleğinde önemli değişimlere yol açmış; bu teknolojilerin doğurduğu sonuçlara yönelik yeni akademik araştırma alanlarının ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. Araştırma, gazetecilikte üretken yapay zekâ destekli haber üretimi alanındaki mevcut araştırma birikimini analiz etmeyi ve gelişmekte olan literatürün seyrini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Çalışmanın veri setini, Web of Science Core Collection veri tabanında indekslenen İngilizce, açık erişimli ve makale türündeki yayınlar oluşturmaktadır. Veriler 6 Haziran 2026 tarihinde Web of Science Core Collection veri tabanından elde edilmiştir. Tarama sürecinde yıl sınırlaması uygulanmamış; ancak analiz kapsamına alınan çalışmaların 2023-2026 yılları arasında yayımlandığı belirlenmiştir. Taramada “ChatGPT”, “generative AI”, “large language model”, “large language models”, “news production”, “news generation”, “news writing”, “journalism” ve “newsroom” anahtar kelimeleri kullanılmıştır. İlk taramada 21 çalışmaya ulaşılmış; başlık ve özet incelemesi sonucunda araştırmanın kapsamı dışında kaldığı belirlenen iki çalışma analizden çıkarılmış ve nihai veri seti 19 makaleden oluşmuştur. Çalışmanın yöntemi bibliyometrik analiz olarak belirlenmiş; veriler R programındaki bibliometrix paketi ve biblioshiny arayüzü aracılığıyla analiz edilmiştir. Bibliyometrik analiz kapsamında yayınların yıllara göre dağılımı, yayımlandıkları dergiler, ülkelere göre bilimsel üretim, yazar iş birlikleri ve en çok atıf alan çalışmalar incelenmiştir. Bulgular, çalışmaların 2023 yılından itibaren görünür hâle geldiğini ve en yüksek yayın sayısına 2025 yılında ulaşıldığını göstermektedir. Dergi düzeyinde Journalism Practice, ülke düzeyinde ise İspanya öne çıkmıştır. Yazar iş birliklerinin çoğunlukla küçük ve birbirinden bağımsız araştırma grupları etrafında şekillendiği görülmüştür. Atıf analizi sonucunda Cools ve Diakopoulos’un 2026 tarihli çalışması veri seti içerisinde en fazla atıf alan yayın olarak belirlenmiştir. Genel olarak

bulgular, üretken yapay zekâ destekli haber üretiminin gazetecilik çalışmaları içerisinde hızla gelişen bir araştırma alanı hâline geldiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Üretken yapay zekâ, ChatGPT, büyük dil modelleri, gazetecilik, haber üretimi, bibliyometrik analiz.

BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF ACADEMIC STUDIES ON AI-SUPPORTED NEWS PRODUCTION

ABSTRACT

This study examines the academic literature on generative artificial intelligence (AI), ChatGPT, and large language models (LLMs) in journalistic news production from a bibliometric perspective. Generative AI technologies are increasingly reshaping news writing and newsroom practices, prompting new forms of scholarly inquiry into their implications for journalism. Accordingly, this study aims to analyse the existing body of research and trace the development of the emerging literature on generative AI-supported news production. The dataset comprises English-language, open-access articles indexed in the Web of Science Core Collection. Data were collected from the Web of Science Core Collection June 6, 2026. No year limitation was applied during the search process; however, the articles included in the final dataset were published between 2023 and 2026. The search was conducted using the keywords “ChatGPT”, “generative AI”, “large language model”, “large language models”, “news production”, “news generation”, “news writing”, “journalism”, and “newsroom”. The initial search yielded 21 studies; two were excluded following title and abstract screening because they fell outside the scope of the study, resulting in a final dataset of 19 articles. Bibliometric analysis was conducted using the bibliometrix package and the biblioshiny interface in R. The analysis focused on annual publication trends, journal distribution, country-level scientific production, author collaboration patterns, and the most globally cited documents. The findings show that research on generative AI and journalistic news production has gained visibility since 2023, with the highest number of publications recorded in 2025. At the journal level, *Journalism Practice* emerged as the most prominent publication outlet, while Spain emerged as the leading country in terms of research output. Author collaboration was characterised mainly by small and relatively independent research groups. Citation analysis further showed that the 2026 study by Cools and Diakopoulos was the most cited publication within the dataset. Overall, the findings suggest that generative AI-supported news production represents a rapidly emerging research area within journalism studies.

Keywords: Generative AI, ChatGPT, large language models, journalism, news production, bibliometric analysis

GİRİŞ

Teknolojik gelişmelerin hız kazanmasıyla birlikte, yapay zekânın sunduğu otomasyon, doğal dil işleme ve veri analitiği gibi yenilikler son on yılda iletişim dünyasında büyük farklılıklara sebep olmuştur. Bu büyük farklılık dalgasından en çok etkilenen ve yapısal bir yenilenme sürecine giren alanların başında ise hiç şüphesiz medya ve habercilik sektörü gelmektedir. Yapay zekâ teknolojilerinin artık medya dünyasını baştan aşağı değiştiren ve kuralları yeniden yazan en temel güç haline geldiği aşikardır (Sucu ve Ataman, 2020, s.41; Fırat, 2025, s.516)

Eski dönemlerde haber üretimi muhabirlerin kişisel gözlemlerine, olayları muhakeme etme yeteneklerine ve metin yazma becerilerine dayalı olarak öne çıkan ve dolayısıyla da insan odaklı bir meslek dalıydı. Bugün gelinen noktada ise geleneksel habercilik yöntemlerin yerini insan emeği ile bilgisayar programlarının ortaklaşa çalıştığı karma habercilik modellerine bıraktığı görülmektedir. Yapay zekâ destekli yeni nesil sistemler; devasa verileri saniyeler içinde analiz etme, internetteki sahte haberleri ve dezenformasyonu saptama, okuyucuların ilgi alanlarına göre kişiselleştirilmiş içerikler sunma ve hatta yapay ses ile video üretme gibi habercilik açısından çok kritik görevleri kolayca yerine getirebilmektedir (Karaburun, 2025, s.302-303).

Üretken yapay zekâ, ChatGPT ve büyük dil modelleri, gazetecilikte yapay zekâ kullanımını daha görünür hâle getirmektedir. Bu araçlar yalnızca verileri sınıflandıran ya da analiz eden sistemler değildir; aynı zamanda insan diline yakın metinler üretebilen, haber taslakları hazırlayabilen, başlık önerebilen, içerik özetleyebilen ve haber yazım sürecini destekleyen araçlardır. Bu nedenle üretken yapay zekâ, haber üretimi bağlamında gazetecilik mesleğinin işleyişini doğrudan etkileyen güncel bir teknoloji olarak değerlendirilmektedir. Nitekim Forbes, Reuters ve Associated Press gibi uluslararası ölçekte öne çıkan medya kuruluşlarının, haber üretim sürecinde bilginin toplanması, işlenmesi ve yapılandırılması aşamalarında uzun süredir yapay zekâ teknolojilerinden yararlandıkları ortaya konulmuştur (Gül, 2024). Çeşitli kurumsal pratikleri inceleyen Gökbel (2024) ise bu tür yeni nesil uygulamaların, haber odalarındaki operasyonel hızı artırmakla kalmayıp, veri analizi yeteneklerini geliştirerek muhabirlere çok daha kapsamlı ve derinlemesine araştırma yapma olanağı sunduğuna işaret etmektedir. Buna karşılık yapay zekânın gazetecilik emeği, mesleki özerklik, editoryal karar alma süreçleri ve etik sorumluluk üzerindeki etkileri önemli tartışma alanlarıdır.

Yapay zekâ (YZ) ve habercilik ilişkisi, akademik literatürde ilk olarak otomatik haber yazımı ve robot gazetecilik kavramları etrafında tartışılmıştır. Bu erken dönem çalışmalar, özellikle spor, hava durumu ve finans gibi veri odaklı rutin haberlerin algoritmalar aracılığıyla otomatik

olarak üretilebileceğini ortaya koymaktadır. Böylelikle, yapay zeka gazetecilerin sıkıcı ve zaman alıcı görevlerden kurtularak yaratıcı ve araştırmacı habercilik faaliyetlerine daha fazla zaman ayırabilmelerine olanak sağlamıştır. Bu bağlamda Gül (2024), yapay zekânın gazetecilikteki en yaygın uygulamanın yapılandırılmış veri kümelerinden otomatik haber üretimi olduğunu belirtirken; Yıldızgörür (2023), rutin haberlerin insan müdahalesine gerek kalmaksızın otomatik biçimde üretilebildiğini ve bunun gazetecilik açısından YZ konusundaki olumlu görüşleri destekleyen temel çıkış noktası olduğunu vurgulamaktadır.

Daha sonraki yıllarda yapılan araştırmalar ise otomatik haber üretiminin ötesine geçerek daha kapsamlı konulara evrilmiştir. Veri gazeteciliğinde yapay zeka kullanımı, algoritmik şeffaflık ve yanlılık sorunları, dezenformasyonla mücadelede yapay zekanın rolü ve üretici yapay zeka modellerinin haber odalarına entegrasyonu gibi konular literatürün ana gündem maddeleri haline gelmiştir (Işık ve ark., 2022, s.1251-1252; Etike, 2023, s.590). Özellikle algoritmik yanlılık ve şeffaflık konuları, gazeteciliğin temel etik ilkeleriyle doğrudan ilişkili olduğu için yoğun tartışmalara konu olmuştur. Yıldızgörür (2023), yapay zekâ teknolojilerinin yapısı, sahipliği ve bu teknolojilere erişim gibi faktörlerin, gazeteciliğin tarafsızlık, objektiflik, şeffaflık ve hesap verebilirlik gibi temel değerleriyle bazı açılardan çeliştiğini belirtmektedir. Ayrıca Koçak (2026), bir haber ajansı çalışanlarının yapay zekâya ilişkin algı ve tutumlarını nitel bir durum çalışmasıyla incelerken, gazetecilerin yapay zeka teknolojilerini etik, doğruluk ve istihdam açısından temkinli değerlendirdiklerini ortaya koymuştur.

Son dönemde ise ChatGPT gibi büyük dil modellerinin (LLM) habercilik etiği, yaratıcılık, iş gücü ve gerçeklik algısı üzerindeki etkileri yoğun biçimde tartışılmaktadır. Bu yeni nesil üretken yapay zekâ modelleri, yalnızca veriye dayalı rutin haberleri değil, aynı zamanda dil bilgisi, anlatım ve içerik kurgusu gerektiren daha karmaşık haber metinlerini de üretebilmektedir.

Bu araştırma, gazetecilikte üretken yapay zekâ destekli haber üretimi alanındaki akademik birikimi sistematik biçimde görünür kılması bakımından önemlidir. Üretken yapay zekâ, ChatGPT ve büyük dil modelleri gazetecilikte yalnızca teknik bir araç olarak değil; haber üretim süreçlerini, editoryal karar alma mekanizmalarını, gazetecilik emeğini, haberin doğruluğunu ve okuyucu güvenini etkileyen bir unsur olarak tartışılmaktadır. Gazetecilik alanında yapay zekâ destekli haber üretimine ilişkin çalışmaların artması, bu alandaki akademik üretimin genel eğiliminin belirlenmesini gerekli kılmaktadır. Hangi yıllarda yayın artışı yaşandığı, hangi dergilerin bu konuya daha fazla yer verdiği, hangi ülkelerin alana katkı

sunduğu, yazar iş birliklerinin nasıl oluştuğu ve hangi çalışmaların literatürde daha etkili olduğu bibliyometrik analiz yoluyla ortaya konulabilir.

Bu araştırmanın amacı, gazetecilikte üretken yapay zekâ destekli haber üretimi konusundaki akademik literatürün bibliyometrik görünümünü ortaya koymaktır. Bu kapsamda Web of Science Core Collection veri tabanında yer alan, İngilizce, açık erişimli ve makale türündeki çalışmalar incelenmiştir. Araştırmada üretken yapay zekâ, ChatGPT ve büyük dil modellerinin gazetecilikte haber üretimi bağlamında ele alındığı çalışmaların yıllara göre yayın eğilimi, yayımlandıkları dergiler, ülkelere göre dağılımları, yazar iş birlikleri ve en çok atıf alan çalışmalar açısından analiz edilmesi amaçlanmıştır.

Bu araştırmada aşağıdaki araştırma sorularına yanıt aranmıştır:

1. Üretken yapay zekâ, ChatGPT ve büyük dil modellerinin gazetecilikte haber üretimi bağlamında ele alındığı çalışmaların yıllara göre yayın eğilimi nasıldır?
2. Üretken yapay zekâ, ChatGPT ve büyük dil modellerinin gazetecilikte haber üretimi bağlamında ele alındığı çalışmaların yayımlandığı dergilere göre dağılımı nasıldır?
3. Üretken yapay zekâ, ChatGPT ve büyük dil modellerinin gazetecilikte haber üretimi bağlamında ele alındığı çalışmaların ülkelere göre dağılımı nasıldır?
4. Üretken yapay zekâ, ChatGPT ve büyük dil modellerinin gazetecilikte haber üretimi bağlamında ele alındığı çalışmalarda yazar iş birlikleri nasıl bir görünüm sergilemektedir?
5. Üretken yapay zekâ, ChatGPT ve büyük dil modellerinin gazetecilikte haber üretimi bağlamındaki literatüründe en çok atıf alan çalışmalar hangileridir?

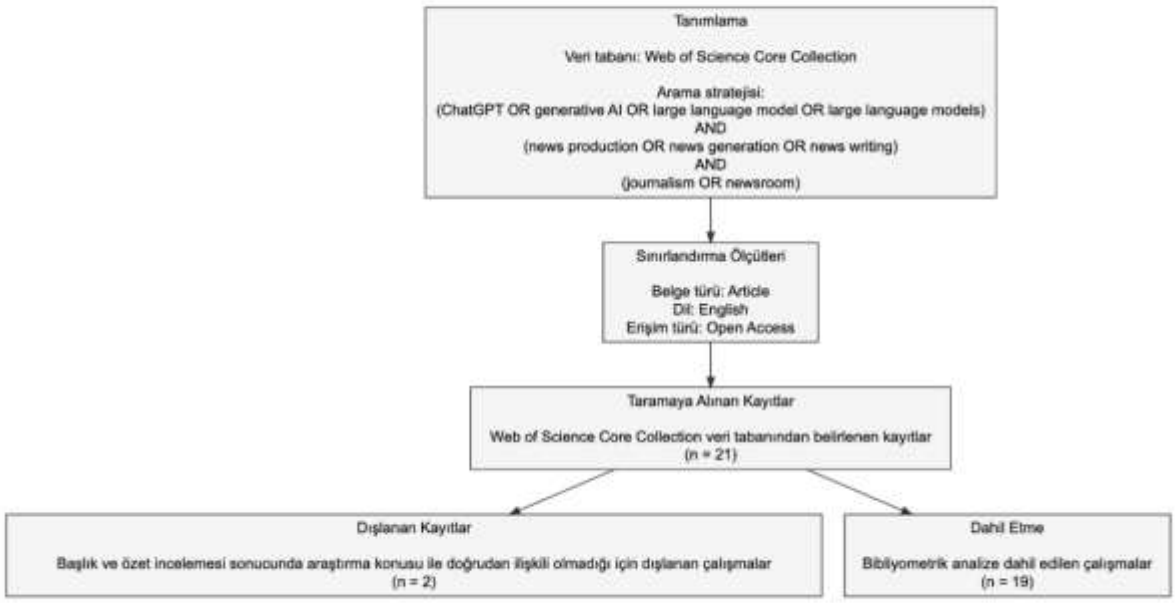
YÖNTEM

Bu çalışma, nicel araştırma yöntemlerinden bibliyometrik analiz yöntemi kullanılmıştır. Bibliyometrik analiz, istatistikler ve matematiksel işlemlerin yardımı ile bilimsel iletişimin sağlanmasını içeren bir yöntemdir (Pritchard,1969; Borgman ve Furner,2002). Bu yöntem, gazetecilikte üretken yapay zekâ destekli haber üretimi konusundaki akademik yayınların mevcut durumunu nicel verilerle analiz etmek, akademik eğilimleri tablolar ve grafikler aracılığıyla görselleştirmek amacıyla tercih edilmiştir.

Araştırmada üretken yapay zekâ, ChatGPT ve büyük dil modellerini temsil eden şu anahtar kelimeler kullanılmıştır: “Generative AI” OR “large language model” OR “large language models” AND “News production” OR “NEWS GENERATION”OR “NEW WRITING” AND “JOURNALISM “OR “NEWSROOM”. Bu arama stratejisiyle araştırma, yalnızca yapay zekâ ya da gazetecilik literatürünü değil, üretken yapay zekâ ile gazetecilikte haber üretimi arasındaki kesişimi inceleyecek şekilde sınırlandırılmıştır.

Tarama sonucunda ulaşılan kayıtlar arasından yalnızca makale türündeki ve İngilizce yayınlar araştırma kapsamına alınmıştır. Bu ölçütler doğrultusunda toplam 21 makale analiz edilmiştir. Başlık ve özet incelemesi sonucunda araştırmanın kapsamı dışında kaldığı belirlenen 2 çalışma analizden çıkarılmış ve nihai veri seti 19 makaleden oluşmaktadır. PRISMA akış diyagramı Şekil 1'de sunulmuştur.

Şekil 1



Prisma Akış Diyagramı

Veriler Web of Science üzerinden dışa aktarılmış ve analiz sürecinde R programı kullanılmıştır. Bibliyometrik analizlerde R ortamında çalışan bibliometrix paketi kullanılmıştır. (Aria ve Cuccurullo, 2026).

Araştırmada yayınların yıllara göre yayın eğilimi, yayımlandıkları dergilere göre dağılımı, ülkelere göre dağılımı, yazar iş birlikleri ve en çok atıf alan çalışmalar incelenmiştir. Bu doğrultuda analiz süreci, araştırmanın belirlenen bibliyometrik göstergeleriyle sınırlı tutulmuştur.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bu bölümde, araştırma sorularına yanıt vermek amacıyla Web of Science veri tabanında taranan 19 makalenin bibliyometrik analiz sonuçları sunulmuştur. Her bir araştırma sorusu ayrı bir alt başlık altında ele alınmış ve bulgular tablo ve şekillerle desteklenmiştir.

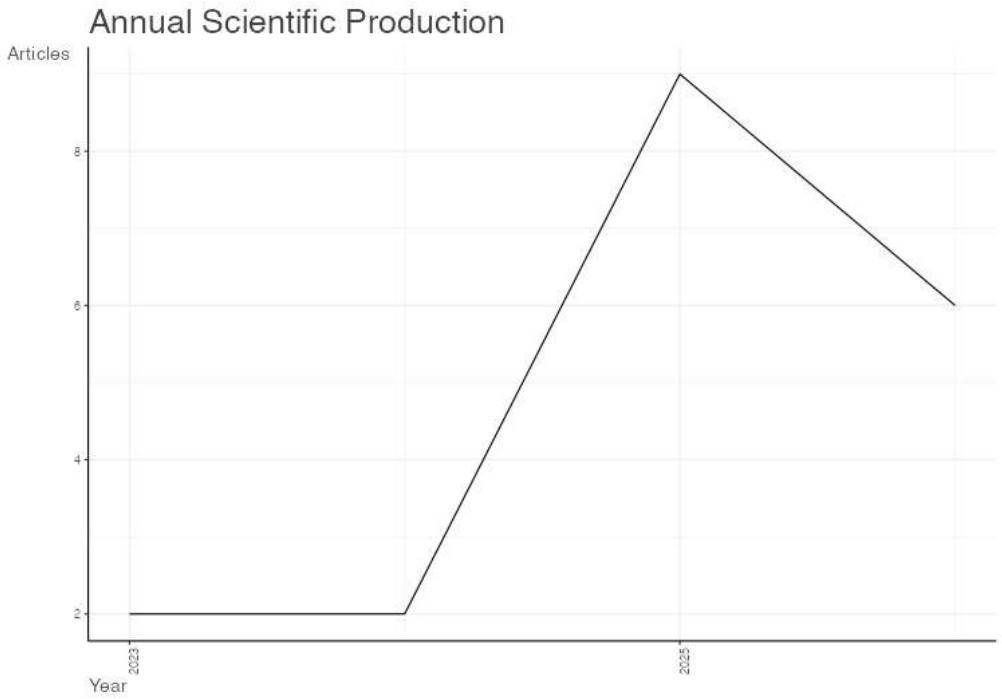
Yıllara Göre Yayın Eğilimi

Araştırma kapsamında incelenen **19 makalenin** yıllara göre dağılımı aşağıdaki gibidir:

Tablo 1

Yıl	Makale Sayısı
2023	2
2024	2
2025	9
2026	6

Tablo 1'de yıllık bilimsel yayın tablosu verilmiştir. Sonuçlara göre, 2023 yılında 2, 2024 yılında 2, 2025 yılında 9 ve 2026 yılında 6 makale bulunmaktadır. En fazla yayın 2025 yılında yapılmıştır. En düşük yayın sayısı ise 2023 ve 2024 yıllarında görülmektedir. 2026 yılında ise 6 makale bulunmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde 2025'e göre bir düşüş gösteriyor gibi görünse de 2026 yılı henüz tamamlanmamış olduğu için bu azalma kesin bir gerileme olarak değerlendirilmemelidir.



Dergilere Göre Yayın Dağılımı

Araştırma kapsamında incelenen 19 makalenin yayımlandıkları dergilere göre dağılımı aşağıdaki gibidir:

Tablo 2

Dergi / Kaynak	Makale Sayısı
Journalism Practice	5
Revista de Comunicacion-Peru	2
BID-Textos Universitaris de Biblioteconomia i Documentacio	1
Connectist-Istanbul University Journal of Communication Sciences	1
Convergence-The International Journal of Research into New Media Technologies	1
Data & Knowledge Engineering	1
Information	1

International Journal of Press-Politics	1
Journalism & Mass Communication Quarterly	1
Journalism and Media	1
Journalism Studies	1
PLOS ONE	1
Profesional de la Informacion	1
Societies	1

Most Relevant Sources çıktısına göre veri setinde en fazla yayın Journalism Practice dergisinde yer almaktadır (n = 5). İkinci sırada Revista de Comunicacion-Peru bulunmaktadır (n = 2). Diğer dergilerin her birinde ise 1'er makale yer almaktadır. Grafikte en fazla yayın yapılan ilk kaynaklar gösterilmektedir. Buna göre Journalism Practice veri setinde en fazla makale yayımlanan kaynak olarak öne çıkmaktadır. Veri setindeki 19 makale toplam 14 farklı dergi/kaynakta yayımlanmıştır.

Ülkelere Göre Yayın Dağılımı

Araştırma kapsamında incelenen 19 makalenin ülkelere göre bilimsel üretim dağılımı aşağıdaki gibidir:

Tablo 3

Ülke	Yayın Sayısı
Spain	4
USA	2
Austria	1
Brazil	1
Denmark	1
Germany	1
Greece	1
India	1
Italy	1
Kenya	1
Mexico	1
Norway	1
Portugal	1
South Africa	1
Turkey	1

Country Scientific Production çıktısına göre veri setinde en fazla yayın Spain adresli çalışmalarda görülmektedir (n = 4). İkinci sırada USA yer almaktadır (n = 2). Diğer ülkelerin her birinde ise 1'er yayın bulunmaktadır. Harita çıktısı, yayınların farklı ülkelere dağıldığını göstermektedir. Buna göre veri setinde toplam 15 farklı ülke bilimsel üretimle temsil edilmektedir. Spain ve USA dışındaki ülkelerde yayın sayısı 1 olarak görünmektedir.

Yazar İş Birlikleri

Yazar iş birliği ağına ilişkin bulgular Author Collaboration Network çıktısı üzerinden incelenmiştir. Çıktıya göre veri setinde yazarlar 17 farklı iş birliği kümesi içinde yer almaktadır.

Tablo 4

Küme	Yazarlar
1	Alba-Ruiz Ruben, Cabezas-Clavijo Alvaro, Canton-Correa Javier
2	Ayisi Aurelia, Phiri Millie
3	Bernal-Trani Marco-Antonio, Calvo Hiram, Gambino Omar Juarez, Garcia Mendoza Consuelo Varinia, Hernandez Minutti Braulio
4	Bezerra Cleiton, Massarani Luisa, Neves Luiz, Ridgway Andy, Sharma Shalini
5	Binder Alice, Matthes Jörg, Nanz Andreas
6	Boscolo Marco, de Jong Anouk, Dijkstra Anne M.
7	Chiridza Peter, Mare Admire
8	Codina Lluis, Lopezosa Carlos, Pont-Sorribes Carles
9	Cools Hannes, Diakopoulos Nicholas
10	Couraceiro P., Paisana M.
11	Dang-Nguyen Duc-Tien, Motta Enrico, Opdahl Andreas L., Setty Vinay
12	de-Lima-Santos Mathias-Felipe, Munoriyarwa Allen
13	Demir Gülden, Kılıçgedik Melek
14	Garcia-Jimenez Antonio, Garcia-Marin David
15	Hanitzsch Thomas, Henkel Imke, Kang Taewoo, Loosen Wiebke
16	Kapos Panagiotis, Panagopoulos Andreas M.
17	Meso-Ayerdi Koldobika, Pena-Alonso Urko, Pena-Fernandez Simon

Author Collaboration Network çıktısında iş birliklerinin çoğunlukla küçük yazar grupları şeklinde oluştuğu görülmektedir. Bazı kümeler iki yazardan, bazı kümeler üç veya daha fazla yazardan oluşmaktadır. Ağda kümeler birbirinden bağımsız görünmektedir**.**

Tablo 4 incelendiğinde göre tüm yazarlarda betweenness değeri 0 olarak hesaplanmıştır. Bu bulgu, yazar iş birliği ağında farklı kümeler arasında aracı konumda bulunan belirgin bir yazar olmadığını göstermektedir. Closeness değerleri yazarlara göre farklılaşmakta; bazı yazarlarda 1, bazı yazarlarda ise 0,5, 0,333 veya 0,25 olarak görünmektedir. PageRank değerleri ise tüm yazarlar için aynı düzeydedir (0,02040816). Bu nedenle PageRank açısından belirgin biçimde öne çıkan bir yazar bulunmamaktadır. Genel olarak yazar iş birliği ağı, veri setindeki çalışmaların çoğunlukla birbirinden bağımsız küçük yazar grupları tarafından üretildiğini göstermektedir. Ağda merkezi bir yazar ya da kümeler arası güçlü bağlantı bulunmamaktadır.

5. En Çok Atıf Alan Çalışmalar

Araştırma kapsamında incelenen çalışmaların küresel atıf sayılarına göre dağılımı Tablo 5'te sunulmuştur.

Tablo 5

Sıra	Çalışma	Yıl	Toplam Atıf
1	Cools Hannes	2026	96
2	Opdahl Andreas L.	2023	55
3	Lopezosa Carlos	2023	50
4	van Dalen Arjen	2026	49
5	Dijkstra Anne M.	2024	12
6	Umejei Emeka	2025	8
7	Nanz Andreas	2025	7
8	Munoriyarwa Allen	2025	6
9	Pena-Alonso Urko	2025	3
10	Sidorenko-Bautista Pavel	2024	1

Most Global Cited Documents çıktısına göre veri setinde en fazla atıf alan çalışma Cools Hannes, 2026 çalışmasıdır (n = 96). İkinci sırada Opdahl Andreas L., 2023 çalışması (n = 55), üçüncü sırada ise Lopezosa Carlos, 2023 çalışması (n = 50) yer almaktadır. Bunları van Dalen Arjen, 2026 (n = 49) ve Dijkstra Anne M., 2024 (n = 12) izlemektedir. Diğer çalışmaların atıf sayıları 8 ve altında görünmektedir. Veri setinde bazı çalışmaların ise henüz atıf almadığı görülmektedir. Grafik, en çok atıf alan ilk 10 çalışmayı göstermektedir. Buna göre atıf dağılımında ilk dört çalışmanın diğer çalışmalara göre daha yüksek atıf aldığı görülmektedir.

SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışma, gazetecilikte üretken yapay zekâ destekli haber üretimi konusundaki akademik literatürün bibliyometrik görünümünü incelemiştir. Araştırma kapsamında Web of Science Core Collection veri tabanında CHATGPT, GENERATIVE AI, LARGE LANGUAGE MODEL, NEWS PRODUCTION, NEWS GENERATION, NEWS WRITING, JOURNALISM ve NEWSROOM anahtar kavramları kullanılarak tarama yapılmış; yalnızca İngilizce, açık erişimli ve makale türündeki çalışmalar dikkate alınmıştır. Tarama sonucunda ulaşılan 21 çalışmadan, başlık ve özet incelemesi sonucunda araştırma konusu ile doğrudan ilişkili olmadığı belirlenen 2 çalışma analiz dışı bırakılmış ve nihai veri seti 19 makaleden oluşmuştur. Veriler, R ortamında çalışan bibliometrix paketi ve biblioshiny arayüzü aracılığıyla analiz edilmiştir.

Analizler sonucunda, üretken yapay zekâ destekli haber üretimi konusundaki çalışmaların 2023 yılından itibaren görünür hâle geldiği belirlenmiştir. Veri setinde 2023 yılında 2, 2024 yılında 2, 2025 yılında 9 ve 2026 yılında 6 makale yer almaktadır. En fazla yayın 2025 yılında yapılmıştır. 2026 yılında 6 makale bulunmakla birlikte, yıl henüz tamamlanmadığı için bu sayı kesin bir düşüş olarak değerlendirilmemelidir.

Dergilere göre dağılım incelendiğinde, çalışmaların toplam 14 farklı dergi/kaynakta yayımlandığı görülmüştür. En fazla yayın yapılan dergi Journalism Practice olmuştur. Bu dergide veri seti kapsamında 5 makale yer almaktadır. İkinci sırada 2 makale ile Revista de Comunicacion-Peru bulunmaktadır. Diğer dergilerde ise birer makale yayımlanmıştır. Bu sonuç, konunun belirli bir dergide yoğunlaşmakla birlikte farklı iletişim, gazetecilik, medya çalışmaları ve bilgi teknolojileri odaklı kaynaklarda da ele alındığını göstermektedir.

Ülkelere göre bilimsel üretim dağılımında Spain 4 yayınla ilk sırada yer almıştır. Bunu 2 yayınla USA izlemiştir. Austria, Brazil, Denmark, Germany, Greece, India, Italy, Kenya, Mexico, Norway, Portugal, South Africa ve Turkey ise birer yayınla veri setinde temsil edilmiştir. Buna göre araştırma konusu toplam 15 farklı ülke tarafından temsil edilmektedir. Bu durum, üretken yapay zekâ destekli haber üretimi konusunun farklı coğrafyalarda akademik ilgi gördüğünü ortaya koymaktadır.

Yazar iş birlikleri incelendiğinde, veri setinde 17 farklı iş birliği kümesi bulunduğu görülmüştür. İş birlikleri çoğunlukla küçük yazar grupları şeklinde oluşmuştur. Ağ yapısında kümeler arasında güçlü bağlantılar bulunmamakta, yazar grupları daha çok birbirinden bağımsız kümeler hâlinde görünmektedir. Betweenness değerlerinin tüm yazarlarda 0 olması, ağda farklı kümeler arasında aracı konumda bulunan belirgin bir yazar olmadığını

göstermektedir. PageRank değerlerinin tüm yazarlarda aynı düzeyde olması ise iş birliği ağında merkezi konumda öne çıkan bir yazar bulunmadığını ortaya koymaktadır.

Atıf analizine göre veri setinde en çok atıf alan çalışma Cools Hannes, 2026 çalışmasıdır ve bu çalışma 96 atıf almıştır. Bunu Opdahl Andreas L., 2023 çalışması 55 atıfla, Lopezosa Carlos, 2023 çalışması 50 atıfla ve van Dalen Arjen, 2026 çalışması 49 atıfla takip etmektedir. Diğer çalışmaların atıf sayıları daha düşük düzeydedir. Bu bulgu, literatürde belirli çalışmaların atıf etkisi bakımından daha görünür olduğunu göstermektedir.

Ay (2023), Knowherenews ve The Bipartisan Press örnekleri üzerinden yapay zekâ haberciliğinin haber üretim süreçlerini betimsel analizle ortaya koyarken; Kırık ve arkadaşları (2024), Türk haber medyasındaki meslek profesyonelleriyle yaptıkları derinlemesine görüşmelerle ChatGPT'nin gazetecilikteki potansiyelini değerlendirmiştir. Böyük (2024), insan ve yapay zekâ üretimi haber içeriklerini karşılaştırmalı içerik analiziyle incelemiş; Şayir (2022) ise yapay zekâ gazeteciliğini eşik bekçiliği açısından değerlendirmiştir.

Alandaki yayınlarda son yıllarda ciddi bir artış yaşanmıştır. Nitekim Lendvai (2025), 269 Scopus dizinindeki makaleler üzerindeki yaptığı bilimsel haritalama çalışmasında, yapay zekâ ve gazetecilik araştırmalarında keskin bir artış olduğunu tespit etmiş ve yayınların büyük çoğunluğunun Kuzey Amerika ile Batı Avrupa'da yoğunlaştığını ortaya koymuştur.

Sonuç olarak, gazetecilikte üretken yapay zekâ destekli haber üretimi konusu oldukça güncel ve gelişmekte olan bir araştırma alanı olarak görünmektedir. Çalışmalar özellikle 2025 yılında yoğunlaşmış; konu, haber üretimi, haber odası pratikleri, otomatik haber yazımı, gazetecilerin yapay zekâya yönelik algıları, doğruluk, güvenilirlik ve etik sorumluluk gibi başlıklar etrafında ele alınmıştır. Araştırma bulguları, bu alanın henüz erken gelişim aşamasında olduğunu, yayınların farklı ülke ve dergilere yayıldığını, ancak yazar iş birliklerinin daha çok küçük ve bağımsız kümeler şeklinde yapılandığını ortaya koymaktadır. Bu çalışma, üretken yapay zekâ ve gazetecilikte haber üretimi ilişkisini bibliyometrik göstergeler üzerinden görünür kılarak, ileride yapılacak araştırmalar için genel bir literatür haritası sunmaktadır.

KAYNAKÇA

Ay, A. (2023). Gazetecilik 4.0: Yapay Zekâ Haberciliğinin Güncel Örneklerine Yönelik Bir İnceleme. *Vizyoner Dergisi, 14*(38), 412-435.

Böyük, M. (2024). Dijital Çağda Haber: İnsan ve Yapay Zeka Üretimi Haber İçeriklerinin Karşılaştırmalı Analizi. *Akdeniz Üniversitesi İletişim Fakültesi Dergisi, 46* - Yapay Zekâ ve İletişim, 44-72. DOI: 10.31123/akil.1541214

Etike, Ş. (2023). Yapay Zekâ Ve Haber Üretim Süreci: Tanımlar Ve Uygulamalar. *Türkiye Medya Akademisi Dergisi, 3*(6),588-609.

Fırat, F. (2025). Yapay Zeka Çağında Yeni Medyanın Dönüşümü: Deniz Yengin ile Söyleşi. *Yeni Medya,* 18, 515-520.

Gökbel, H. (2024). Yapay Zekanın Gazetecilik Pratiklerindeki Yeri. *TAM Akademi Dergisi,*

3(2), 135-163. DOI: 10.58239/tamde.2024.02.001.x

Gül, K. (2024). Yapay Zeka Teknolojilerinin Gazetecilik Alanında Kullanımı: Avantajlar ve Dezavantajları. *İletişim ve Toplum Araştırmaları Dergisi, 4*(2), 306-331. DOI: 10.59534/jcss.1457410

Işık, U., Ölçekçi, H., & Koz, K. A. (2022). Yapay Zeka ve Algoritma Ekseninde Gazeteciliğin Geleceği ve Toplum İçin Anlamı. *Gümüşhane Üniversitesi İletişim Fakültesi Elektronik Dergisi*, *10*(2), 1248-1275. DOI: 10.19145/e-gifder.1129929

Karaburun, M. (2025). Yapay Zekânın Haber Üretim Sürecine Etkileri: Heliograf Teknolojisi ve Beyond Fake News Örnekleri Üzerine Bir Araştırma. *Current Perspectives in Social Sciences*, *29*(2), 300-313. DOI: 10.53487/atasobed.1622878

Karaman, S. Y., & Yıldırım, E. (2025). Artificial Intelligence Ethics in Journalism: A Bibliometric Analysis and Visualization. *Journal of Media Ethics*, 1–18. DOI: 10.1080/23736992.2025.2566118

Keçeli Erciyas, S. (2022). Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisinin Bibliyometrik Analizi. *Kafkas Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi KAÜİİBFD*, 13(25),497-523.

Koçak, D. (2026). Yapay Zekânın Gazetecilik Pratiklerine Etkisi: Haber Ajansı Çalışanları Üzerine Bir İnceleme. *Etkileşim*, 17, 562-586. DOI: 10.32739/etkilesim.2026.9.17.349

Lendvaı, G.F. (2025). Publication Trends in Artificial Intelligence and Journalism. *ESSACHESS*. 18(36): 193-220

Maral, T. (2026). Yapay Zekâ ve Gazetecilikte Verimliliğin İncelenmesi. *The Turkish Online Journal of Design Art and Communication, 16*(2), 1346-1358. DOI: 10.7456/tojdac.1858424

Molla, M. A. M., & Ahsan, M. M. (2025). Artificial intelligence and journalism: A systematic bibliometric and thematic analysis of global research. *Computers in Human Behavior Reports*, 20, 100830. DOI: 10.1016/j.chbr.2025.100830

Özsalih, A. (2023). Yapay Zekâ Yoluyla Oluşturulan Sahte Haberlerin Medya Gündemini Belirlemesi. *The Turkish Online Journal of Design Art and Communication, 13*(3), 533-550. DOI: 10.7456/tojdac.1285554

Sucu, İ., & Ataman, E. (2020). Dijital Evrenin Yeni Dünyası Olarak Yapay Zeka ve Her Filmi Üzerine Bir Çalışma. *Yeni Medya Elektronik Dergisi*, *4*(1), 40-52.

Şayir, O. (2022). İnternet Haberciliğinde Yapay Zeka Gazeteciliğinin Eşik Bekçiliği Açısından İncelenmesi. *İletişim Bilimi Araştırmaları Dergisi, 2*(2), 117-134.

Yıldızgörür, M.R. (2023). Yapay Zekâ Teknolojilerinin Gazetecilik Alanında Kullanımına Yönelik Sorunlar ve Riskler. *Türkiye Medya Akademisi Dergisi*, *3*(6), 564-587.

FEATURES OF RENAL AND LUMBAR HEMODYNAMICS DURING MUSCLE CONTRACTION AND AFTER COFFEE INTAKE IN STUDENTS

Ruslan SHEVERDIN
Independent researcher
rus.sheverdin@gmail.com
Belarusian State University,
Faculty of Biology, Minsk, Republic of Belarus
Victor KAZAKEVICH
PhD in Biology, Associate Professor
kazakevichvb@bsu.by
Belarusian State University,
Faculty of Biology, Human and Animal Physiology Department,
Minsk, Republic of Belarus

ABSTRACT

In recent years, there has been growing interest in the physiological mechanisms regulating blood circulation in skeletal muscles and kidneys under various functional loads. Particular attention is paid to factors influencing hemodynamics in the lumbar region, which plays a key role in maintaining posture and enabling trunk movements. Furthermore, the widespread consumption of caffeine among young people makes the study of its effect on renal blood flow highly relevant.

The aim of this study was to assess changes in blood flow in the lumbar region and kidneys during lateral trunk bends, as well as after coffee consumption, in healthy male students using rheography. To achieve this aim, a literature review was conducted and an experimental study was performed involving 15 volunteers aged 18–22 years. The following parameters were recorded: rheographic index (RI), peripheral vascular resistance index (PVRI), maximum rate of rapid blood filling (MRRBF), and diastolic index (DI).

The results showed that during left and right trunk bends, RI and MRRBF decreased bilaterally, along with asymmetric changes in PVRI, indicating mechanical compression of blood vessels and activation of compensatory vasomotor reactions. After coffee consumption, a sharp increase in RI and MRRBF was observed within the first 5 minutes, followed by a gradual return to baseline values by 15–20 minutes, reflecting the biphasic nature of caffeine's action: initial vasoconstriction and subsequent stabilization of blood flow.

In conclusion, lateral trunk bends induce complex asymmetric hemodynamic changes in the lumbar region, while coffee exerts a dynamic biphasic effect on renal blood flow. These findings expand our understanding of muscle physiology and may be used to develop recommendations for the prevention of circulatory disorders.

Keywords: lumbar region, renal blood flow, muscle contraction, coffee, rheography, hemodynamics

2. SINIF ÖĞRENCİLERİNİN HAYAT BİLGİSİNDE EMPATİ KAVRAMINA İLİŞKİN GELİŞTİRDİKLERİ ALGILARININ METAFORLARLA İNCELENMESİ

Demet ÖZTEPE
İstanbul University- Cerrahpaşa, Graduate School of Education Faculty, Department of Classroom Teaching, 34500 Büyükçekmece, İstanbul
ORCID: 0000-0001-9637-0580
Doç. Dr. Nur ÜTKÜR GÜLLÜHAN
İstanbul University- Cerrahpaşa, Hasan Ali Yücel Faculty of Education, Department of Elementary Education, 34500 Büyükçekmece, İstanbul
ORCID: 0000-0003-2062-5430

ÖZET

Bu araştırmanın amacı, yaşamda kullanılacak bilgi ve becerilerin öğrenilmesinde ışık tutan hayat bilgisi dersindeki, öğrencilerin hayat boyunca karşılıklı ilişkilerinde kullanacağı empati kavramını küçük yaşta nasıl imgelediklerini görebilmektir. Bu doğrultuda araştırma ilkokul ikinci sınıf öğrencilerinin hayat bilgisi dersinde yer alan empati kavramına yönelik geliştirdikleri metaforları incelemek amacıyla yapılmıştır. Araştırma nitel araştırma yöntemlerinden durum çalışması deseninde gerçekleştirilmiştir. Çalışma grubu 2025-2026 eğitim-öğretim yılında İstanbul ili Sultangazi ilçesindeki 158 öğrenciden oluşmaktadır. Öğrencilere ve sınıf öğretmenlerine "empati ….. gibidir; çünkü ….." cümlesi verilerek, bu cümleyi tamamlamaları istenmiştir. İkinci sınıf öğrencilerin bu ifadeyi tamamlamasıyla ulaşılan veriler içerik analizi yöntemi ile çözümlenmiştir. Araştırma analizleri sonucunda ikinci sınıf öğrencilerin empati kavramına ilişkin oluşturduğu 34 farklı metafordan, "nesne olarak algılanan empati", "canlı olarak algılanan empati" ve "soyut olarak algılanan empati" olmak üzere 3 ayrı kategoriye ulaşılmıştır. Öğrencilerin oluşturduğu metaforlarda; en fazla nesne olarak algılanan empati kategorisine yönelik *"ayna, elbise* ve *kalem"* nesnelerine ulaşılırken, canlı olarak algılanan empati kategorisinde "*arkadaş*" ve soyut olarak algılanan empati kategorisinde de "görünmez ip" olarak empatiyi zihinlerinde imgeledikleri sonucuna ulaşılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Empati, Hayat Bilgisi, metafor, ilkokul

AN EXAMİNATİON OF SECOND-GRADE STUDENTS' PERCEPTİONS OF THE CONCEPT OF EMPATHY İN SOCİAL STUDİES THROUGH METAPHORS

ABSTRACT:

The purpose of this study is to examine how second-grade elementary school students conceptualize the concept of empathy which they will use in their interpersonal relationships throughout their lives at a young age, within the context of the life skills course, which sheds light on the acquisition of knowledge and skills applicable to daily life. Accordingly, this study

was conducted to examine the metaphors developed by second-grade elementary school students regarding the concept of empathy as presented in the life skills course. The study was conducted using the case study design, one of the qualitative research methods. The study group consisted of 158 students in the 2025–2026 academic year in the Sultangazi district of Istanbul. Students and their classroom teachers were given the sentence "Empathy is like …; because …" and asked to complete it. The data obtained from second-grade students completing this statement were analyzed using content analysis. As a result of the research analysis, 34 different metaphors created by second-grade students regarding the concept of empathy were categorized into three distinct groups: "empathy perceived as an object," "empathy perceived as a living being," and "empathy perceived as abstract." In the metaphors created by the students, the objects most frequently associated with the "empathy perceived as an object" category were "mirror, clothing, and pen"; in the "empathy perceived as a living being" category, it was "friend"; and in the "empathy perceived as abstract" category, it was "invisible thread," indicating that they visualized empathy in their minds in these ways.

Keywords: Empathy, Life Skills, Metaphor, Elementary School

1. GİRİŞ

Sembollerle anlatma yöntemlerinden biri olan metaforlar, bireylerin yaşamı, çevresi ile meydana gelen olayları ve nesneleri ne şekilde görerek, farklı benzetmeler aracılığıyla betimlemeye çalıştıkları bir araç olarak tanımlanmaktadır (Cerit, 2008). Eski Yunanca' da bir kavramı ya da bir olguyu "öteye geçme, bir yerden başka bir yere taşıma, götürme" anlamına gelen metafor kavramı (Lakoff ve Johnson, 2010, s. 16), dilimizde "mecaz" sözcüğü ile tanımlanmaktadır (Türk Dil Kurumu [TDK], 2023). Ayrıca Martinez, Souleda ve Huber, (2001) metaforun yalnızca mecaz şeklinde olmadığını bunun yanı sıra temel bir düşünce sistemini ifade ettiğini belirtmiştir (akt. Cerit, 2008). Ayrıca Saban (2004) metaforları tanımlarken, olayların ortaya çıkması ile çalışmasına dair fikirlerimizi yapılandıran, yön veren ve kontrol altına alan en güçlü zihinsel araçlar olarak belirtmektedir. Metaforlar çoğunlukla söylenenleri süsleme sanatı gibi anlaşılsa da aslında önemi bu algıdan oldukça fazladır. En genel haliyle metaforların kullanımı, kişilerin yaşadıkları dünyayı idrak etmesi noktasında bir düşünme ve görme şekli olarak ifade edilebilir. Ayrıca metaforlar okuyan veya dinleyen bireylerde bilişsel bir süreci başlatarak gelişmesine yardımcı olmakla birlikte duyuşsal etkileşimi de beraberinde getirmektedir. Bu durum bilişsel ve duyuşsal süreçlerin etkileşime girerek, karşılıklı beslenmesini sağlamaktadır. Dolayısıyla bu söz konusu etkileşim metaforun kişiler üzerinde bıraktığı tesir kuvvetini göstermektedir (Girmen, 2007). Bu noktadan hareketle

metaforların eğitim öğretimde de etkili bir biçimde kullanılmasının, anlaşılması güç olan konu ve kavramların daha basit ve anlaşılabilir bir şekilde belirtilmesi açısından faydaları olduğu belirtilmektedir (Güneş ve Fırat, 2016). Özellikle ilkokul öğrencilerinin bilişsel gelişim dönemi göz önünde bulundurulduğunda Piaget (1999) 'in somut işlemler döneminde olmaları ve soyut kavramları somut kavramlarla açıklamaya çalışarak anlamlandırmaları metaforların önemini daha arttırmaktadır. Dolayısıyla soyut bir kavram olarak karşımıza çıkan empatinin ilkokul öğrencilerinin kavraması açısından zor bir kavram olduğu görülmektedir (Kabapınar, Tabak ve Yavuz, 2019). Bu noktada bir bireyin kendini karşısındaki bireyin yerine koyarak, onun duygularını ve fikirlerini doğru bir şekilde anlayabilmesi, hissedebilmesi ve söz konusu bu akışı bireye aktarması olarak tanımlanan empatinin (Dökmen, 2019), küçük yaşta ilkokula başlayan öğrencilere kazandırılabilmesi açısından oldukça önem arz etmektedir.

Çağımızın getirdiği değişimde kişilerin sahip olması gereken becerilerin eğitim yoluyla öğrencilere kazandırılmasında, yaşamda gerekli becerilerin edinimini sağlayan Hayat Bilgisi dersi oldukça kritik bir araç rolü üstlenmektedir (Erol, Okur ve Can, 2025). Bu bakımdan ülkemizde 2024 yılında son yenileme çalışmaları doğrultusunda hazırlanan Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli (TYMM) Hayat Bilgisi Dersi Öğretim Programı, kurgusu açısından öğrencilerin bütüncül gelişimini ön plana alarak tasarlanmıştır. Yenilenen TYMM Hayat Bilgisi Dersi Öğretim Programı kapsamında bir araya getirilen bileşenler arasında beceriler, okuryazarlıklar, eğilimler ve değerler bulunmaktadır (MEB, 2024b). Programda öğrencilerin sahip olması için yer alan empati kavramı, hedeflenen becerilerin kazandırılmasında rol oynayan zihinsel örüntüler biçiminde yer almaktadır (MEB, 2024a). Hayat Bilgisi Dersi Öğretim Programı'nda da yer alan empati eğiliminin sınıflar ve öğrenme alanlarına ait dağılımı Tablo 1'de sunulmuştur (MEB, 2024b).

Tablo 1. Öğrenme alanlarında yer alan empati eğilimi

Öğrenme Alanları	1. sınıf	2. sınıf	3. sınıf
Ben ve Okulum	x	x	
Sağlığım ve Güvenliğim			
Ailem ve Toplum		x	x
Yaşadığım Yer ve Ülkem		x	
Doğa ve Çevre	x		
Bilim, Teknoloji ve Sanat			

Tablo 1 incelendiğinde ikinci sınıf Hayat Bilgisi Dersi Öğretim Programında yer alan empati eğiliminin diğer sınıf seviyelerine göre daha fazla öğrenme alanında yer aldığı görülmektedir. Bu bakımdan gerçekleştirilen araştırmanın amacı ilkokul ikinci sınıf öğrencilerinin Hayat

Bilgisi dersinde yer alan empati kavramına yönelik algılarını metaforlar yoluyla tanımlamalarının incelenmesine dayanmaktadır.

Literatür incelendiğinde ilkokul öğrencileriyle yapılan metafor araştırmaları ile ilgili (Ertürk, 2021; Ertürk, 2017; Kavak ve Ekici, 2024; Kırmızı ve Çelik, 2015; Saban, 2008; Yüzbaşıoğlu vd., 2024) araştırmalar bulunmaktadır. Ayrıca öğretmen adaylarının ve öğretmenlerin farklı kavramlara ilişkin algılarının belirlenmeye çalışıldığı (Aladağ ve Kuzgun, 2015; Cerit, 2008; Çam Türkan, 2025; Güveli ve diğ., 2011; Koç Akran ve Şen, 2023; Turhan ve Yaraş, 2016; Saban, 2004) metafor çalışmaları mevcuttur.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Araştırmanın Yöntemi

Araştırma gerçekleştirilirken nitel araştırma yöntemlerinden durum çalışmasına göre yapılmıştır. Durum çalışması ile sınırları önceden tespit edilmiş bir durumun detaylandırılarak derinliğine betimlenmesinin açığa çıkarılması sağlanmaktadır (Merriam, 2013). Bu araştırmada ilkokul ikinci sınıf öğrencilerinin empati kavramına ilişkin görüşlerinin metaforlar aracılığıyla belirlenmesine çalışmıştır.

2.2. Çalışma Grubu

Araştırmanın katılımcıları 2025-2026 eğitim- öğretim yılında İstanbul ili devlet ilkokulunda öğrenim gören 158 ikinci sınıf öğrencisinden oluşmaktadır. Çalışma grubunu oluşturan öğrencilerin 90'i (%54,5) kadın, 68'i (%45,4) erkektir. Yapılan araştırmada katılımcılardan elde edilen veriler bilgisayar ortamına aktarılırken öğrencilere Ö1, Ö2, Ö3,….. Ö158 şeklinde kodlar verilmiştir. Ayrıca gerçekleştirilen çalışmada katılımcı öğrencilerin ikinci sınıf öğrencisi olması ölçüt olarak kabul edilmiştir. Dolayısıyla araştırmanın çalışma grubu oluşturulurken amaçlı örnekleme yöntemlerinden ölçüt örnekleme kullanılmıştır. Bu örnekleme yöntemi ile daha önceden belirlenmiş bir dizi ölçütü karşılayan durumların tümünün çalışılması ele alınmaktadır (Yıldırım ve Şimşek, 2021). Ayrıca katılımcıların gönüllülük esasına dayanarak katılımı esas alınmış olup, öğrencilerden çocuk onam ve aile onam formu alınmıştır.

2.3. Veri Toplama Aracı

Araştırmanın verilerini toplamak için literatür doğrultusunda araştırmacılar tarafından hazırlanan yarı yapılandırılmış form kullanılmıştır. 2. sınıf öğrencilerinden hayat bilgisi dersinde öğrendikleri empati kavramını bir metafor aracılığıyla açıklamaları ifade edilmiştir. Bu amaçla veri toplama aracı olarak hazırlanan formda yer alan "empati ….. gibidir; çünkü ….." cümlesi verilerek, bu cümleyi tamamlamaları istenmiştir.

2.4. Verilerin Toplanması

Yapılan araştırmanın verileri 2025-2026 eğitim öğretim yılının ikinci sınıf öğrencileriyle yapılan görüşmelerle elde edilmiştir. Veriler toplanırken öğrencilerin eğitim- öğretim faaliyetlerini engellemeyecek şekilde gerçekleştirilmiş olup, ortalama 15-20 dakika sürmüştür.

2.5. Verilerin Analizi

Araştırmanın ulaşılan verilerinin analizinde içerik analizi analiz yöntemi kullanılmıştır. İçerik analizi, bir veri toplama aracı ile elde edilen verilerin incelenerek, kategoriler aracılığıyla niceliksel olarak sunulmasıdır (Ekiz, 2009). Katılımcıların görüşleri doğrultusunda ulaşılan metaforlardan birbirine benzer nitelikte olanlar kategorileştirilerek kodlanmıştır. Bunun yanı sıra öğrencilerin oluşturduğu metaforlar kategorileri yansıtabilmesi açısından doğrudan alıntılarla desteklenerek sunulmuştur. Ayrıca ikinci sınıf öğrencilerinin oluşturudukları metaforların analiz aşamasında sırasıyla *"kodlama ve ayıklama, kategori geliştirme, verilerin kodlara ve kategorilere göre düzenlenmesi ve tanımlanması, bulguların yorumlanması"* (Yıldırım ve Şimşek, 2021) aşamaları takip edilmiştir.

Kodlanma ve ayıklama aşaması; araştırmacının zihinsel ve bedensel açıdan oldukça zorlanabileceği bir aşama olmasından dolayı, araştırmanın problemlerini göz önünde bulundurarak kodlamayı gerçekleştirmesi gerekmektedir (Yıldırım ve Şimşek, 2021). Buradan hareketle araştırmanın katılımcılarından elde edilen metaforlar incelenerek araştırmacılar tarafından kod listesi oluşturulmuştur. Gerçekleştirilen araştırmada ikinci sınıf öğrencilerden elde edilen metaforlar incelenmiş olup, 7 adet metaforun araştırmanın amacı kapsamında geliştirilmediği saptanmış ve bu formlar araştırmaya dahil edilmeyerek toplamda 158 metafor içeren formla araştırma gerçekleştirilmiştir. İkinci aşama olan *kategori geliştirme aşamasında;* ikinci sınıf öğrencilerinin geliştirmiş olduğu metaforları kapsayan bir tablo oluşturularak empati kavramına ilişkin üretilen metaforların birbiriyle benzerliği, bağlantıları ve empatiyi ne şekilde imgeledikleri göz önünde bulundurulmuş ve ardından kategoriler elde edilmiştir. Ayrıca empati kavramına ilişkin geliştirilen benzer metaforlar, oluşturulan kategoriler altında toplanmıştır. Yapılan kategorilerin belirlenmesi sürecinde "nesne olarak algılanan empati", "canlı olarak algılanan empati" ve "soyut olarak algılanan empati" kategorisi olmak üzere 3 farklı kategoriye ulaşılmıştır. *Verilerin Kodlara ve Kategorilere Göre Düzenlenmesi ve Tanımlanması aşamasında* kategorilere ayrılan kodlar tasnif edilerek her kategori kapsamında açıklanmıştır. *Bulguların Yorumlanması aşamasında* ise öğrencilerden elde edilen empatiye ilişkin metaforlar iligili kategoriler altında yorumlanmış ve doğrudan alıntılarla araştırmanın bulgular kısmında yer alması sağlanmıştır.

2.6. Geçerlik ve Güvenirlik

Gerçekleştirilen araştırmanın geçerliliğini sağlayabilmek için araştırma süresince uygulanan tüm aşamalar detaylı bir şekilde ifade edilmiştir. Öncelikle ikinci sınıf öğrencilerinden yarı yapılandırılmış formlar aracılığıyla toplanan metaforlar detaylı bir şekilde incelenerek araştırmanın amacı dışında olanların araştırmanın kapsamı dışında tutulması sağlanmıştır. Ardından elde edilen 158 metafordan örnek bir kod listesi oluşturulmuştur. İkinci sınıf öğrencilerinin geliştirmiş olduğu metaforların empatiye yönelik imgelediği kategoriler belirlenerek üç farklı kategori altında toplanmıştır. Bu işlem süresince ulaşılan her metafora ilgili kategori kapsamında yer verilmiştir. Daha sonra katılımcı öğrencilerden elde edilen metaforlar ile araştırmacılar tarafından geliştirilen kategori eşleşmesini teyit edilmesi amacıyla bir alan uzmanının görüşüne başvurulmuştur. Alan uzmanından metaforlar ile kategorilerin eşlemesini tekrar yapması istenmiş ve gerçekleştirilen araştırmanın güvenirliğini sağlamak için Miles ve Huberman'ın (1994) *"Görüş Birliği/(Görüş Birliği/(Görüş Birliği+ Görüş Ayrılığı)x100"* olan güvenirlik formülüne göre hesaplama yapılmıştır. Gerçekleştirilen hesaplamalar sonucunda araştırmanın güvenirliği %93 olarak tespit edilmiştir. Ayrıca araştırmanın güvenirliğini sağlamak amacıyla bulgular kapsamında, ikinci sınıf öğrencilerinin empati kavramına ilişkin oluşturduğu metaforlar hiçbir değişik yapılmadan doğrudan alıntılar şeklinde verilmiştir.

3. BULGULAR

Araştırmanın bu bölümünde ilkokul ikinci sınıf öğrencilerinin Hayat Bilgisi dersi ben ve okulum öğrenme alanında yer alan empati kavramına yönelik oluşturdukları metaforlar ile bu metaforlardan meydana getirilen 3 kategoriye yer verilmiştir. Ayrıca her kategorideki kodlar için katılımcıların oluşturduğu metaforlar bulunmaktadır. Tablo 1'de öğrencilerin empati kavramı için oluşturduğu kod listesi sunulmaktadır.

Tablo 1. İkinci sınıf öğrencilerinin empati kavramına yönelik oluşturdukları metaforlar

Sıra no	Metafor	F	Sıra no	Metafor	F
1	Ayna	25	18	Masa	2
2	Elbise	19	19	Bilezik	2
3	Arkadaş	18	20	Kazak	2
4	Kalem	9	21	Taç	1
5	Araba	8	22	Atkı	1
6	Kitap	7	23	Ateş böceği	1
7	Ev	6	24	Bağlaç	1
8	Öğretmen	6	25	Zeka	1
9	Kardeş	6	26	Sevgi	1
10	Kedi	6	27	Lamba	1
11	Anne	5	28	Telefon	1
12	Komşu	5	29	Kalp	1
13	Gözlük	5	30	Baba	1
14	Görünmez İp	4	31	Pilot	1

15	Eldiven	4	32	İlaç	1
16	Doktor	3	33	Bilgisayar	1
17	Ayakkabı	2	34	Karınca	1

Tablo 1 incelendiğinde ikinci sınıf öğrencilerinin empati kavramına yönelik toplamda 34 tane farklı metafor geliştirdikleri anlaşılmaktadır. Ayrıca Tablo 1'de katılımcı öğrencilerin en çok oluşturdukları metaforun sırasıyla "ayna (f=25), elbise (f=19), arkadaş (f=18), kalem (f=9) ve araba (f=8)" şeklinde olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra öğrencilerin geliştirdikleri metaforlarda eşit sayıda öğrencinin oluşturduğu (f=6) "ev, öğretmen, kardeş, kedi", (f=5) için "anne, komşu, gözlük", (f=4) için "görünmez ip, eldiven", (f=3) için "doktor", (f=2) için "ayakkabı, masa, bilezik, kazak" metaforlarının da olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca sadece birer öğrenci tarafından oluşturulan (f=1) "taç, atkı, ateş böceği, zekâ, bağlaç, sevgi, lamba, telefon, kalp, baba, pilot, ilaç, bilgisayar, karınca" metaforları da öğrencilerin empati kavramına yönelik geliştirdikleri metaforlar arasında yerini almıştır. Öğrencilerin geliştirdiği metaforlar doğrultusunda oluşturulan kategoriler Tablo 2' de sunulmaktadır.

Tablo 2. İkinci sınıf öğrencilerinin empati kavramına yönelik oluşturdukları metaforlardan ulaşılan kategoriler

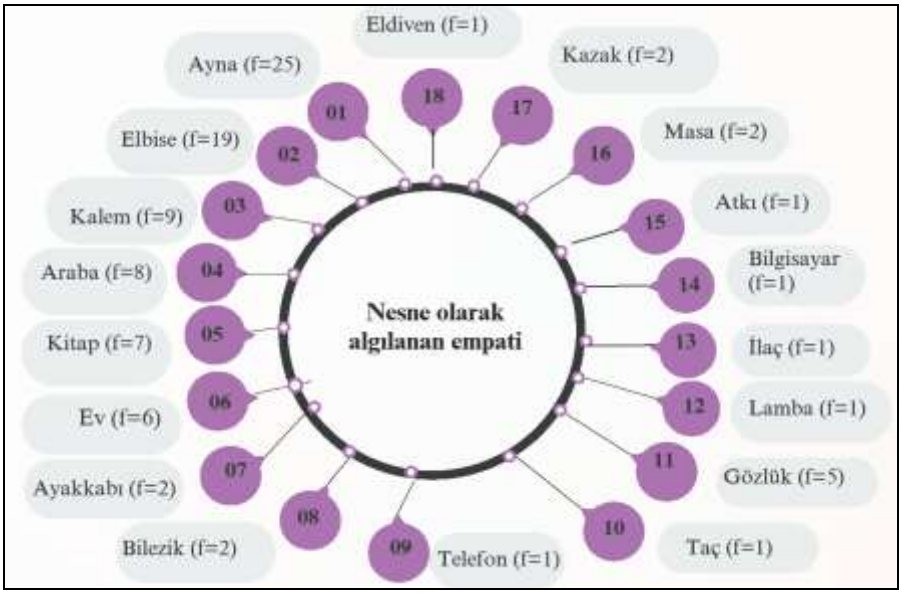
Kategori adları	F	%
Nesne olarak algılanan empati	97	61,39
Canlı olarak algılanan empati	53	33,54
Soyut olarak algılanan empati	8	5,06

Tablo 2 incelendiğinde ikinci sınıf öğrencilerinin empati kavramına yönelik geliştirdikleri metaforların ortak özellikleri dikkate alınarak 3 farklı kategoriye ayrıldığı ve metaforların bu kategoriler altında toplandığı anlaşılmaktadır. Bu açıdan bakıldığında öğrencilerin oluşturduğu metaforların sırasıyla yarıdan fazlası (f=97) "nesne olarak algılanan empati" kategorisi altında toplanırken, bunu (f=53) "canlı olarak algılanan empati" takip etmiştir. Ayrıca öğrencilerin daha az sayıda oluşturduğu metaforlar da (f=8) "soyut olarak algılanan empati" kategorisi altında yerini almıştır. Bu doğrultuda hazırlanan kategoriler şu şekildedir;

Nesne olarak algılanan empati kategorisine ait metaforlar

İkinci sınıf öğrencilerinin empatiye yönelik oluşturdukları "nesne olarak algılanan empati" kategorisinde metaforlara ilişkin dağılım Şekil 1' de sunulmaktadır.

Şekil 1. Nesne olarak algılanan empati kategorisi



Şekil 1 incelendiğinde 97 ikinci sınıf öğrencisinin 18 değişik metafor oluşturduğu anlaşılmaktadır. Öğrencilerin empati kavramını herhangi bir nesneye benzeterek oluşturdukları metaforların en sık ifade edilenleri sırasıyla *"ayna (f=25), elbise (f=19)* ve *"kalem (f=9)"* şeklindedir. Bu noktadan hareketle öğrenciler tarafından oluşturulan metaforlar şu şekilde;

Ö3 "Empati ayna gibidir; çünkü ayna gibi karşımızdakinin duygusunu aynısı görürüz."

Ö23 "Empati ayna gibidir; çünkü baktıkça karşımızdakini her şeyini görürüz."

Ö45 "Empati elbise gibidir; çünkü elbiseyi giyince sahibi gibi düşünürüz."

Ö52 "Empati elbise gibidir; çünkü elbise dikilirken kişinin duygusuna göre dikilir."

Ö12 "Empati kalem gibidir; çünkü insan kalemle karşımızdakinin her hissini yazarız ."

Ö96 "Empati kalem gibidir; çünkü kalemle istediğimiz kişi olup resmini yapabiliriz, empatideki gibi yerine geçeriz."

ifade edilmiştir. Ayrıca öğrencilerin bu kategoride geliştirdiği diğer metafor örnekleri;

Ö7 "Empati araba gibidir; çünkü araba insanları istediği yere götürür empati yapınca da insanların duygularına gitmiş oluruz."

Ö20 "Empati kitap gibidir; çünkü kitabı okuyunca anlarız, insanları empati yapınca anlarız."

Ö56 "Empati ev gibidir; çünkü evimizde empati yapınca gibi duygularımızı gösteririz."

Ö9 "Empati ayakkabı gibidir; çünkü başkasının ayakkabılarını giyince o olup düşünebiliriz."

Ö26 "Empati bilezik gibidir; çünkü bilezik takınca da empati kurunca da insanlar güzelleşir."

Ö73 "Empati telefon gibidir; çünkü telefonla konuşunca düşüncelerimizi duygularımızı paylaşırız."

Ö104 "Empati taç gibidir; çünkü empati yapınca taç takmış gibi parlarız."

Ö123 "Empati gözlük gibidir; çünkü gözlük takınca dünyaya başkasından gözünden bakabiliriz."

Ö24 "Empati lamba gibidir; çünkü lamba etrafımızı aydınlatır empati yapınca bizimde etrafımız aydınlanmış olur."

Ö19 "Empati ilaç gibidir; çünkü ilaç içince iyileşiriz ve empati kurunca da başkasının duygusu iyileşir."

Ö151 "Empati bilgisayar gibidir; çünkü ne sorarsak anlar."

Ö62"Empati atkı gibidir; çünkü bizi soğuk hissetmekten bizi korur."

Ö29 "Empati masa gibidir; çünkü ayakları empati gibi ayakta durmamızı sağlar."

Ö47 "Empati kazak gibidir; çünkü arkadaşımın kazağını giyince onun duygusunu anlarım."

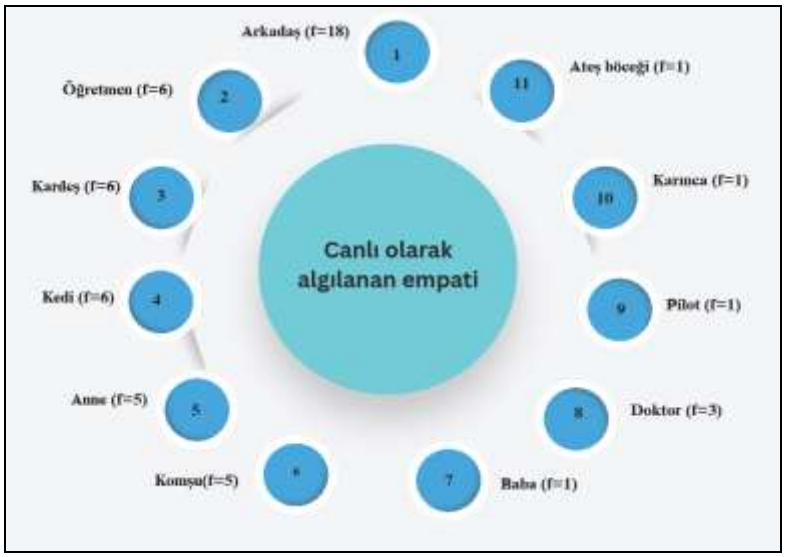
Ö5 "Empati eldiven gibidir; çünkü birinin eldivenlerini giyince onun yaraları anlaşılır."

şeklindedir. Öğrenciler bu metaforlarla kendilerini karşılarındaki kişilerin yerine koyarak duygularını ve düşüncelerini paylaşım üzerine tanımladıkları empati kavramını bir nesneye benzeterek ifade etmişlerdir.

Canlı olarak algılanan empati kategorisine ait metaforlar

İkinci sınıf öğrencilerinin empatiye yönelik oluşturdukları "canlı olarak algılanan empati" kategorisinde metaforlara ilişkin dağılım Şekil 2' de sunulmaktadır.

Şekil 2. Canlı olarak algılanan empati kategorisi



Şekil 2 incelendiğinde 53 ikinci sınıf öğrencisinin 11 değişik metafor oluşturduğu anlaşılmaktadır. Öğrencilerin empati kavramını herhangi bir canlıya benzeterek oluşturdukları metaforların en sık ifade edilenleri sırasıyla *"arkadaş (f=18), öğretmen (f=6), kardeş (f=6), kedi (f=6)* ve *"anne (f=5), komşu (f=5)"* şeklindedir. Bu noktadan hareketle öğrenciler tarafından oluşturulan metaforlar şu şekilde;

Ö114 "Empati arkadaş gibidir; çünkü arkadaşlar birbiriyle her şeyini paylaşır."

Ö35 "Empati arkadaş gibidir; çünkü arkadaşımız mutsuz olunca bizde mutsuz oluruz. Mutlu olunca mutlu oluruz."

Ö87 "Empati öğretmen gibidir; çünkü öğretmen bizi her zaman anlar ve doğruyu söyler."

Ö17 "Empati kardeş gibidir; çünkü kardeşimiz biz üzülünce üzülür."

Ö49 "Empati kedi gibidir; çünkü kediler bizi sever ve empati yapmış gibi kalbimizi rahatlatır."

Ö64 "Empati anne gibidir; çünkü annemiz her zaman iyiliğimizi düşünür ve empati yapınca birinin iyiliğini düşünürüz."

Ö109 "Empati komşu gibidir; çünkü neyimiz yoksa ondan isteyebiliriz ve bizi anlayabilir."

ifade edilmiştir. Ayrıca öğrencilerin bu kategoride geliştirdiği diğer metafor örnekleri;

Ö33 "Empati baba gibidir; çünkü babamız bizi her zaman korur ve empati yaparsak ta arkadaşımızı koruruz."

Ö48 "Empati pilot gibidir; çünkü pilot uçağın uçmasını sağlar empati yapınca arkadaşımızda mutlu olup havalara uçar."

Ö149 "Empati doktor gibidir; çünkü doktor hasta olanları iyileştirir ve empati kurunca kalbi üzülüp hasta olan herkesi iyileştirebiliriz."

Ö81 "Empati karınca gibidir; çünkü her karınca bir iş yaparken yardımlaşır. Empatide yardımlaşarak yapılır."

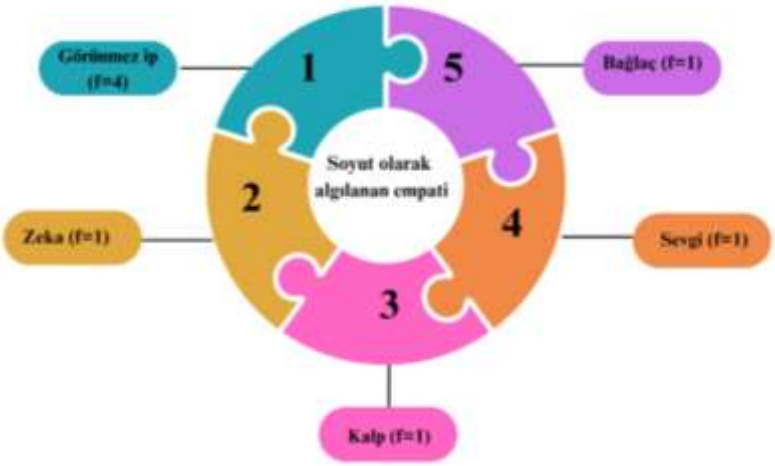
Ö25 "Empati ateş böceği gibidir; çünkü o ateş böceği uçtuğunda böcek diye uçamıyor ön yargımız biter ve empati yaptığımızda ön yargımız yıkılır."

şeklindedir. İkinci sınıf öğrencileri metaforlarla empati kavramını bireylere ve hayvanlara benzeterek, empati kurmanın empati kurulan bireyler üzerindeki olumlu etkilerini ifade etmişlerdir.

Soyut olarak algılanan empati kategorisine ait metaforlar

İkinci sınıf öğrencilerinin empatiye yönelik oluşturdukları "soyut olarak algılanan empati" kategorisinde metaforlara ilişkin dağılım Şekil 3' te sunulmaktadır.

Şekil 3. Soyut olarak algılanan empati kategorisi



Şekil 3 incelendiğinde 8 ikinci sınıf öğrencisinin 5 değişik metafor geliştirdiği görülmektedir. Öğrencilerin empati kavramını soyut bir kavrama benzeterek geliştirdikleri metaforların en sık ifade edilenin *"görünmez ip (f=4)"* olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca öğrencilerin eşit sayıda belirttiği *"zekâ (f=1), kalp (f=1), bağlaç (f=1), sevgi (f=1)"* empatiye ilişkin geliştirilen metaforlar arasında yer almaktadır. Bu noktadan hareketle öğrenciler tarafından oluşturulan metaforlar şu şekilde;

Ö55 "Empati görünmez ip gibidir; çünkü arkadaşlar birbirine görünmez iplerle bağlanıp birbirini her zaman anlarlar."

Ö136 "Empati görünmez ip gibidir; çünkü empatide ipler gibi insanları yakınlaştırır."

Ö153 "Empati zekâ gibidir; çünkü insan zekasını doğru kullanırsa insanları anlar empatide insanları anlamaktır."

Ö97 "Empati kalp gibidir; çünkü kalbi anlayış mutlu eder, empati de anlayışla olur."

Ö128 "Empati bağlaç gibidir; çünkü bağlaçlar söyleyeceklerimizi birleştirir, empati de insanları birleştirir."

Ö69 "Empati sevgi gibidir; çünkü sevgi karşındakini anlayıp değer vermektir. Empati kurunca insanlara değer veririz ve onların duygusunu anlamış oluruz."

ifade edilmiştir. İkinci sınıf öğrencileri bu kategoride geliştirdikleri metaforlarla empati kavramını soyut kavramlara benzeterek, empati kurmanın bireylerin birbirini anlamasını sağladığını belirtmiştirler.

4.TARTIŞMA ve SONUÇ

Yapılan araştırmanın sonuçlarına göre ilkokul ikinci sınıf öğrencilerinin empati kavramına ilişkin 34 farklı metafor geliştirdiği tespit edilmiştir. Öğrencilerin geliştirdiği metaforların

ortak özellikleri dikkate alınarak "nesne olarak algılanan empati", "canlı olarak algılanan empati" ve "soyut olarak algılanan empati" olmak üzere 3 ayrı kategoriye ulaşılmıştır. Elde edilen kategoriler incelendiğinde öğrencilerin oluşturduğu metaforlarda empati kavramını en fazla bir nesneye benzettiği, bunun yanı sıra en az ise empati kavramını soyut bir kavrama benzettiği saptanmıştır. Ayrıca nesne olarak algılanan empati kategorisine katılımcı öğrencilerden 97'sinin 18 farklı metafor geliştirdiği ulaşılan sonuçlar arasındadır. Bu kategoride öğrencilerin empati kavramını en sık olarak *"ayna (f=25), elbise (f=19)* ve *"kalem (f=9)"* nesnelerine benzettiğine ulaşılmıştır. Bunun yanında öğrencilerin bu kategoride en fazla ifade ettikleri metaforların, öğrencilerin kendini karşısındaki kişilerin yerine koyarak duygularını ve düşüncelerini anlamaları şeklinde olduğuna ulaşılmıştır. Uymaz ve Çalışkan (2019) tarafından sosyal bilgiler öğretmen adaylarıyla yapılan araştırmada en çok ulaşılan ayna ve elbise metaforları, gerçekleştirilen araştırmanın sonuçlarıyla benzerlik göstermektedir. Ayrıca yapılan araştırmanın sonuçlarında ulaşılan ayna metaforu Eraslan (2011) tarafından yapılan çalışmada ulaşılan araştırmanın sonuçlarıyla paralellik göstermektedir. Araştırmanın ulaşılan diğer bir sonucu olan canlı olarak algılanan empati kategorisine yönelik 53 ikinci sınıf öğrencisinin 11 değişik metafor oluşturduğuna ulaşılmıştır. Öğrencilerin empati kavramını herhangi bir canlıya benzeterek oluşturdukları metaforların en sık ifade edilenleri sırasıyla *"arkadaş (f=18), öğretmen (f=6), kardeş (f=6), kedi (f=6)* ve *"anne (f=5), komşu (f=5)"* olduğu saptanmıştır. Katılımcı öğrenciler metaforlarla empati kavramını canlılara benzeterek, empati kurmanın empati kurulan bireyler üzerindeki olumlu etkilerini ifade etmişlerdir. Literatürde Susar Kırmızı ve Çelik (2015) tarafından okuma yazma süreci ile ilgili falan metafor çalışmasında "kişileştirme" temasında ulaşılan "öğretmen" sonucu yapılan araştırma ile benzemektedir. Araştırmanın soyut olarak algılanan empati kategorisine ilişkin elde edilen sonuçlardan 8 öğrencinin 5 farklı metafor geliştirdiği saptanmıştır. İkinci sınıf öğrencilerinin empati kavramını soyut kavramlara benzeterek yaptıkları metaforlarda bireylerin birbirini anlamasını kolaylaştırdığı belirttikleri tespit edilmiştir. Bu kategoride öğrencilerin geliştirdiği metaforlardan en sık ifade edilenin "görünmez ip (f=4) olduğu ve eşit sayıda öğrencinin de *"zekâ (f=1), kalp (f=1), bağlaç (f=1), sevgi (f=1)"* metaforlarını ifade ettiği sonucuna ulaşılmıştır. Literatürde Çam Türkan (2025) tarafından üniversite öğrencileri ile gerçekleştirilen çalışmada sevgi kavramına ilişkin ulaşılan ip metaforu yapılan çalışmayı destekler niteliktedir. Ayrıca Uymaz ve Çalışkan (2019) tarafından empatinin metaforlarla belirlenmesinin amaçlandığı çalışmada ulaşılan "sevgi" sonucu ile paralellik göstermektedir. Araştırmada ulaşılan sonuçlar ilkokul öğrencilerinin empati kavramını ne şekilde

anlamlandırdığını görebilmeleri açısından fayda sağlayabilir. Daha sonra yapılacak araştırmalar farklı sınıf seviyesindeki öğrencilerle yapılarak, onların empati algılarının incelenmesi önerilebilir.

KAYNAKÇA

Aladağ, S., & Kuzgun, M. (2015). Sınıf Öğretmeni Adaylarının 'Değer' Kavramına İlişkin Metaforik Algıları. *Sakarya Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi,* 29, 163-193. https://izlik.org/JA67AY28CS

Cerit, Y. (2008). Öğretmen kavramı ile ilgili metaforlara ilişkin öğrenci, öğretmen ve yöneticilerin görüşleri. *Türk Eğitim Bilimleri Dergisi,* 6(4), 693-712.

Çam Türkan, Ö. (2025). Çocuk Gelişimi Öğrencilerinin Sevgi Kavramına Yönelik Metafor Algıları. *Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi,* 13(162), 117-126 http://dx.doi.org/10.29228/ASOS.80176

Dökmen, Ü. (2019). *İletişim Çatışmaları ve Empati* (61. Baskı). İstanbul: Remzi Kitabevi.

Eraslan, L.(2011). Sosyolojik Metaforlar. *Uluslararası Sosyal Bilimler Akademik Bakış Dergisi.* ISSN:1694-528X. S:27

Erol, M., Okur, C., & Can, G. (2025). Sınıf öğretmenlerine göre hayat bilgisi dersinde ilkokul öğrencilerine kazandırılması gereken yaşam becerileri. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi,* 15(2), 1198-1214. https://doi.org/10.30783/nevsosbilen.1613649

Ertürk, R. (2017). İlkokul Öğrencilerinin Öğretmen Kavramına İlişkin Metaforik Algıları. *E-Uluslararası Eğitim Araştırmaları Dergisi,* Cilt: 8, Sayı: 3, 2017, ss. 1-15, DOI: 10.19160/ijer.285232

Ertürk, R. (2021). İlkokul Öğrencilerinin Okul Kavramına Yönelik Algıları: Metafor Çalışması. *Karadeniz Sosyal Bilimler Dergisi*, *13*(25), 774-788. https://doi.org/10.38155/ksbd.971828

Girmen, P. (2007). İlköğretim Öğrencilerinin Konuşma ve Yazma Sürecinde Metaforlardan Yararlanma Durumları. (Doktora Tezi). Anadolu Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.

Güneş, A. ve Fırat, M. (2016). Açık ve uzaktan öğrenmede metafor analizi araştırmaları. *Açıköğretim Uygulamaları ve Araştırmaları Dergisi,* 2(3), 115-129.

Güveli, E., Atasoy, E., İpek, A., & Güveli, H., (2011). Sınıf Öğretmeni Adaylarının Matematik Kavramına yönelik Metafor Algıları. *Turkish Journal of Mathematics Education*, 2(2), 159-140.

Kabapınar, Y., Tabak, E., & Yavuz, B. (2019). Öğrencilerde empati becerisini geliştirme temelli bir teknik olarak görsel öykü: örnek uygulamalar. *Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 6(2), 58-80. https://izlik.org/JA28UL38RU*

Kavak, M. ve Ekici, G. (2024). İlkokul 4. sınıf öğrencilerinin "arkadaş" kavramına ilişkin algıları: Bir metafor çalışması. *Kesit Akademi Dergisi, 10* (40), 505-542.

Kırmızı, F. S., ve Çelik, D. (2015). İlkokul öğrencilerinin ilkokuma yazma öğrenme sürecine ilişkin metafor algıları. *Turkish Studies, 10*(10), 793-816.

Koç Akran, S. ve Şen, G. (2023). Öğretmen Adaylarının Z Kuşağı Kavramına İlişkin Algılarının Belirlenmesi: Bir Metaforik Analiz Çalışması. Anadolu Eğitim Liderliği ve Öğretim Dergisi , 11 (1), 103-129. https://izlik.org/JA72ZY55DT

Lakoff, G., & Johnson, M. (2010). Metaforlar Hayat, Anlam ve Dil. (Gökhan Yavuz Demir, çev.) 2. bs. Paradigma Yayıncılık.

MEB, (2024a). *Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli, Öğretim Programları Ortak Metni.* MEB Yayınları.

MEB, (2024b). *Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli, Hayat Bilgisi Dersi Öğretim Programları (1, 2 Ve 3. Sınıflar).* MEB Yayınları.

Merriam, S. B. (2013). *Nitel araştırma: Desen ve uygulama için bir rehber* (3. Baskıdan Çeviri, Çeviri Editörü: S. Turan). Ankara: Nobel Yayın Dağıtım.

Miles, M. B., & Huberman, A.M. (1994). *Qualitative data analysis : an expanded sourcebook*. (2nd Edition). Calif. : SAGE Publications.

Saban, A. (2004). Giriş düzeyindeki sınıf öğretmeni adaylarının "öğretmen" kavramına ilişkin ileri sürdükleri metaforlar. *Türk Eğitim Bilimleri Dergisi,* 2(2), 131-155.

TDK (2023). Türk Dil Kurumu Sözlükleri. https://sozluk.gov.tr/ Erişim tarihi: 25.04.2026.

Turhan, M., & Yaraş, Z. (2016). Öğretmen ve Öğrencilerin Öğretmen, Disiplin, Müdür, Sınıf Kuralları, Ödül Ve Ceza Kavramlarına İlişkin Metafor Algıları. *Fırat University Journal of Social Sciences*, 23(1), 129-145. https://izlik.org/JA53AC99GD

Uymaz, M., & Çalışkan, H. (2019). Sosyal bilgiler öğretmen adaylarının "empati" kavramına ilişkin algılarının metaforlar aracılığı ile belirlenmesi. *Journal of Multidisciplinary Studies in Education, 2*(4), 80-91.
Yıldırım, A. & Şimşek, H. (2021). *Sosyal Bilimlerde Nitel Araştırma Yöntemleri* (12. baskı). Ankara: Seçkin Yayıncılık.
Yüzbaşıoğlu, Y., Ayten, M., Özkan, O., Kıroğlu, M. ve Doğru, H. Ş. (2024). İlkokul 4. sınıf öğrencilerinin "matematik" kavramına ilişkin metaforik algıları. *Uluslararası Eğitim Bilimleri Dergisi,* 11 (38), 190-210.

İLKOKUL ÖĞRENCİLERİNİN HİKAYELERİNİN TYMM HAYAT BİLGİSİ ÖĞRETİM PROGRAMINDAKİ EĞİLİMLER KAPSAMINDA İNCELENMESİ

Demet ÖZTEPE
İstanbul University- Cerrahpaşa, Graduate School of Education Faculty, Department of Classroom Teaching, 34500 Büyükçekmece, İstanbul
ORCID: 0000-0001-9637-0580
Doç. Dr. Nur ÜTKÜR GÜLLÜHAN
İstanbul University- Cerrahpaşa, Hasan Ali Yücel Faculty of Education, Department of Elementary Education, 34500 Büyükçekmece, İstanbul
ORCID: 0000-0003-2062-5430

ÖZET

Ülkemizde 2024 yılında kademeli bir geçişle uygulanmaya başlanan Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli öğretim programlarının temel bileşenlerinden biri de eğilimlerdir. Öğrenciler tarafından eğilimlerin edinilmesinde ve yaşamlarında kullanmalarında çocuk kitapları önemli bir rol oynamaktadır. Bu doğrultuda gerçekleştirilen çalışmanın amacı 2023-2024 eğitim öğretim yılında İstanbul İl Millî Eğitim Müdürlüğü'nün başlatmış olduğu "Geleceğin Yazarları Projesi" kapsamında ilkokul öğrencilerinin kaleme aldığı *"Satır arasındaki çocuklar"* adlı çocuk kitabındaki hikayelerin TYMM Hayat Bilgisi Dersi Öğretim Programındaki eğilimler yönünden incelenmesidir. Yapılan araştırma nitel araştırma yöntemlerinden biri olan doküman incelemesi kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen veriler betimsel analiz yöntemi kullanılarak analiz edilmiş olup, tekrar edilme sıklıklarına göre tema ve kodlar oluşturulmuştur. Araştırmanın sonucunda, incelenen hikayelerden sadece bir tanesinin herhangi bir eğilimi kapsamadığı görülmektedir. Ayrıca incelenen hikayelerin 2024 TYMM Hayat Bilgisi Dersi Öğretim Programında yer alan eğilimlerinden empati, oyunseverlik, soru sorma, kendine inanma ve sorumluluk eğilimlerini içerdiği anlaşılmaktadır. Ayrıca eserlerde en az sayıda kendine güvenme ve merak eğilimleri bulunduğu tespit edilmektedir. Dolayısıyla öğrenciler tarafından kaleme alınan çocuk kitabının öğrencilerin bu eğilimleri kazanmasına yardımcı olabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: İlkokul, eğilim, geleceğin yazarları, TYMM

AN ANALYSIS OF PRIMARY SCHOOL PUPILS' STORIES WITHIN THE FRAMEWORK OF TRENDS IN THE TYMM LIFE SKILLS CURRICULUM

ABSTRACT

One of the key components of the 'Turkey's Century Education Model' curricula, which began to be implemented in our country in 2024 through a phased transition, is values. Children's books play a significant role in students' acquisition of these values and their application in their daily lives. In this context, the aim of this study is to examine the stories in the children's

book titled ‘Children Between the Lines’—written by primary school pupils as part of the ‘Writers of the Future Project’ launched by the Istanbul Provincial Directorate of National Education during the 2023–2024 academic year—in terms of the competencies outlined in the TYMM Life Skills Course Curriculum. The research was conducted using document analysis, one of the qualitative research methods. The data obtained were analysed using a descriptive analysis method, and themes and codes were established based on their frequency of occurrence. The results of the research revealed that only one of the stories examined did not encompass any of the trends. Furthermore, it was found that the stories examined incorporated the trends of empathy, a love of play, asking questions, self-belief and responsibility, as set out in the 2024 TYMM Life Skills Course Curriculum. It was also noted that the trends of self-confidence and curiosity were present in the fewest number of works. Consequently, it is considered that the children’s book written by the pupils could help them acquire these trends.
Keywords: Primary School, talent, writers of the future, TYMM

1. GİRİŞ

Dünyada durmaksızın meydana gelen değişim ve yenilenmeler her alana yansıdığı gibi eğitimde de kendini göstermektedir. Özellikle teknolojide meydana gelen gelişmelerin hız kazanması ve bilgiye erişimde olanakların artması eğitim sistemlerine yansıyarak, çağın gereksinimlerine uygun hale getirilmesi ve değişmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu doğrultuda eğitim sistemlerinde yaşanan değişimler rehber rolü oynayan öğretim programlarının da değişmesine neden olmaktadır (Susam ve Demir, 2020). Öğretim programlarında gerçekleştirilen değişim ve güncellenme çalışmaları cumhuriyetten itibaren günümüze değin farklı zamanlarda kendini göstermiştir (Alak ve Nalçacı, 2012). Milli Eğitim Bakanlığının 2024-2025 eğitim öğretim yılında adım adım bir geçiş sağladığı Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli, öğretim programlarında yaşanan son değişim olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu doğrultuda TYMM ilkokulların 1. sınıf, ortaokulların 5. sınıf ve liselerin 9. sınıf seviyelerinden itibaren ülkemizde uygulanmaya başlanmıştır. Ayrıca MEB tarafından revizyonu gerçekleştirilen TYMM öğretim programlarının ortak metninde ifadesini bulduğu gibi geçmişini bilerek bağ kuran öğrencilerin değer, eğilim ve çeşitli becerilerle donatılarak geleceğe hazırlanması amaç edinilmiştir (MEB, 2024a). Bu amaçtan hareketle öğrencilerin kendilerini ve etraflarında olan bitenleri tanımalarına yardım eden, bireysel gelişimlerini destekleyen ve çevreye uyum sağlamasında rol oynayarak, öğrencilerin problem çözme, yaratıcı ve çok yönlü düşünme becerilerinin alt yapısının oluşturulduğu Hayat Bilgisi dersi (Çilenti, 1988) oldukça önem kazanmaktadır.

İlkokulda varlığını sürdüren Hayat Bilgisi dersi öğretim programı da zaman içinde değişiklikler göstermiştir. Yenilenen öğretim programında; *"öğrencilerin kendilerini daha iyi anlamaları, arkadaşlık ilişkilerini düzenlemeleri, sınıf ve okul ortamına uyum sağlamaları, sağlıklı yaşam becerilerini geliştirmeleri, ailenin önemini fark etmeleri, aile yaşamında nezaket kurallarına uymaları, ailede üzerine düşen görev ve sorumlulukları çözümlemeleri, millî bilince ve manevi değerlere sahip olmaları, bilinçli tüketici davranışları sergilemeleri, doğal çevre ile etkileşimde bulunmaları, doğayı anlama ve koruma bilincini kazanmaları, gök cisimlerinin temel özelliklerini anlayabilmeleri, afetlerle ilgili temel bilgilere sahip olmaları, geri dönüştürülebilen atıkları sınıflandırmaları gibi konular üzerinde kurgulanmıştır."*(MEB, 2024b) şeklinde belirtilen Hayat Bilgisi dersi öğretim programı geniş konu yelpazesi, gündelik yaşama uygunluğu ve programa dahil edilen bileşenlerle zenginleştirilmiştir. Çok yönlü bütüncül bir model olan TYMM Hayat Bilgisi dersi öğretim programı incelendiğinde programdaki bileşenlerden birinin de eğilimler olduğu görülmektedir. *"Eğilim; bireyin sahip olduğu becerileri, niyet, duyarlılık, isteklilik ve değerlendirme ögeleri doğrultusunda gerekli durumlarda nasıl işe koştuğu ile ilgili zihinsel örüntüleri ifade eder."* şeklinde MEB (2023)' te ifade edilen eğilim kavramı, programların ortak metninde de becerilerin gelişmesi ve tetikleyicisi olarak etkin rol oynayan temel bileşenler olarak belirtilmiştir. Öğretim programlarında *"benlik eğilimleri, sosyal eğilimler ve entelektüel eğilimler"* olarak yer alan eğilim türleri (MEB, 2024a), Hayat Bilgisi dersi öğretim programına da dahil edilmiştir. Bu doğrultuda Hayat Bilgisi dersi öğretim programına yansıtılmış eğilim türlerine ait görsel Şekil 1'de sunulmuştur (MEB, 2024b).

Şekil 1. Hayat Bilgisi dersi öğretim programında yer alan eğilim türleri

Şekil 1 incelendiğinde üç eğilim türünün de öğretim programında yer aldığı görülmektedir. Bu doğrultuda TYMM Hayat Bilgisi Dersi Öğretim Programında yer alan eğilimler öğrenme alanlarına ve sınıflara göre Tablo 1.'de sunulmuştur (MEB, 2024b).

Tablo 1. Öğrenme alanlarına göre eğilimler

Öğrenme Alanları	1. Sınıf	2. Sınıf	3. Sınıf
Ben ve Okulum	Kendine İnanma (Öz Yeterlilik), Kendine Güvenme (Öz Güven), Empati, Sorumluluk, Oyunseverlik, Açık Fikirlilik	Kendine İnanma (Öz Yeterlilik), Kendine Güvenme (Öz Güven), Empati, Sorumluluk, Gerçeği Arama, Açık Fikirlilik, Soru Sorma	Kendine İnanma (Öz Yeterlilik), Sorumluluk, Açık Fikirlilik, Soru Sorma
Sağlığım ve Güvenliğim	Merak, Kendine Güvenme (Öz Güven), Güven, Soru Sorma	Sistematik Olma, Eleştirel Bakma	Kendine İnanma (Öz Yeterlilik), Eleştirel Bakma
Ailem ve Toplum	Kendine İnanma (Öz Yeterlilik)	Empati	Merak, Empati, Sorumluluk, Açık Fikirlilik
Yaşadığım Yer ve Ülkem	Kendine Güvenme (Öz Güven)	Kendine Güvenme (Öz Güven), Empati, Soru Sorma	Merak, Azim ve Kararlılık, Analitik Düşünme, Soru Sorma
Doğa ve Çevre	Merak, Azim ve Kararlılık, Empati, Soru Sorma	Merak, Kendine Güvenme (Öz Güven), Sorumluluk, Oyunseverlik, Soru Sorma	Merak, Kendine İnanma (Öz Yeterlilik), Soru Sorma
Bilim, Teknoloji ve Sanat	Merak, Soru Sorma	Kendine Güvenme (Öz Güven)	Soru Sorma

Tablo 1 incelendiğinde 2024 TYMM Hayat Bilgisi Dersi Öğretim Programında kapsamında 14 farklı eğilimin *"Kendine İnanma (Öz Yeterlilik) (f=6), Kendine Güvenme (Öz Güven) (f=7), Empati (f=6), Sorumluluk (f=4), Oyunseverlik (f=2), Açık Fikirlilik (f=4), Merak (f=7), Güven (f=1), Soru Sorma (f=10), Azim ve Kararlılık (f=1), Gerçeği Arama (f=1), Sistematiklik (f=1), Eleştirel Bakma (f=2), Analitiklik (f=1)"* yer aldığı görülmektedir (MEB, 2024b). Tablo 1'e öğretim programında en fazla yer verilen eğilimlerin "*Kendine Güvenme (Öz Güven)", "Kendine İnanma (Öz Yeterlilik)"* ve *"Empati"* olduğu tespit edilmektedir.

Bu araştırmada 2023-2024 eğitim öğretim yılında İstanbul İl Millî Eğitim Müdürlüğü'nün hayata geçirdiği "Geleceğin Yazarları Projesi" için ilkokul öğrencileri tarafından yazılan hikayelerin TYMM Hayat Bilgisi Dersi Öğretim Programındaki eğilimler yönünden incelenmesine dayanmaktadır. "Geleceğin Yazarları Projesi" ile öğrencilerin kendilerini tanımalarına ve birçok açıdan geliştirmelerine olanak sağlanmaktadır. Özellikle öğrenciler tarafından yazılan eserlerin kitaplar halinde yayımlanması ile öğrencilerin kendilerine olan güven ve başarı açısından teşvik edilmesine destek olmaktadır (URL_1). Ayrıca öğrencilerin kelime dağarcığının artması ve yazarlığa ait bilgi hazinesinin genişlemesi de projenin hedefleri arasında yer almaktadır.

Literatür incelendiğinde TYMM öğretim programları ile ilgili gerçekleştirilen birçok araştırma mevcuttur. Gerçekleştirilen çalışmalarda programlar farklı açılardan ele alınmıştır. Bu bağlamda, dijital okuryazarlık bakımından (Banaz, 2024), kültür okuryazarlığı bakımından (Köçer, 2025), sistem düşüncesi ve okuryazarlık bakımından (Karacaoğlu ve Ökten, 2025), ölçme değerlendirme bakımından (Aşiret ve Su Özenir, 2025), sosyal-duygusal öğrenme becerileri bakımından (Ateş ve Gürdağ, 2025), öğrenci profili açısından (Aydın, 2025), değerler eğitimi bakımından (Doğan ve Aşlamacı, 2025) öğretim programlarının incelenmesi doğrultusunda öğretim programları (Kuzu vd., 2024; Ceylan, 2025), programa yönelik incelenme (Berk ve Özer, 2024) ve öğretmen görüşleri bakımından (Uludağ Kırçıl ve Uluçınar Sağır, 2025) şeklinde sıralanabilir. Ayrıca alan yazında TYMM Hayat Bilgisi dersi öğretim programı özelinde yapılan araştırmalar (Arslan, 2025; Çakır, 2025; Öztepe ve Ütkür Güllühan, 2024; Uğraş, 2025; Ünay, 2025) şeklinde olduğu görülmektedir. Ayrıca yapılan alan yazın araştırmasında öğrencilerin ürünlerinin yer aldığı ve öğrencilere yazarlığın tanıtılmaya çalışıldığı "Geleceğin Yazarları Projesi" ile ilgili çalışmaların TYMM Hayat Bilgisi dersi öğretim programında yer alan temel bileşenler bağlamında incelenmesine rastlanılmamıştır. Bu anlamdaki boşluğu doldurmak adına yapılan bu çalışma ile öğrencilerin eserleri eğilimler bakımından incelenmiştir.

2. ÇALIŞMA ALANI

Araştırmanın Amacı

Bu çalışmanın amacı 2023-2024 eğitim öğretim yılında İstanbul İl Millî Eğitim Müdürlüğü'nün başlatmış olduğu "Geleceğin Yazarları Projesi" kapsamında ilkokul 3. ve 4. sınıf öğrencileri tarafından yazılan hikayelerin TYMM Hayat Bilgisi Dersi Öğretim Programındaki eğilimler yönünden incelenmesidir.

3.1. Araştırmanın Yöntemi

Bu araştırmanın yöntemini nitel araştırma yöntemlerinden doküman incelemesi oluşturmaktadır. Doküman incelemesi, araştırma sürecinde incelenmesi amaçlanan olgu ya da olgulara ait bilgileri kapsayan yazılı materyallerin analizini ifade etmektedir (Yıldırım ve Şimşek, 2021).

3.2. Veri Toplama Araçları ve Süreçleri

Araştırmanın veri toplama aracını *"Geleceğin Yazarları Projesi"* kapsamında İstanbul ilinde bir devlet ilkokulunda 3. ve 4. sınıfa devam eden öğrenciler tarafından kaleme alınmış eserler oluşturmaktadır. Öğrencilerin yazı ve şiirlerinin proje kapsamında bir araya getirilerek kitaplaştırılması sonucu oluşturulan *"Satır arasındaki çocuklar"* eseri araştırmada veri

toplama aracı olarak kullanılmıştır. Şekil 2' de araştırmada kullanılan çocuk kitabı sunulmuştur.

Şekil 2. Satır arasındaki çocuklar kitabının ön ve arka yüzü

Araştırmada öğrencilerin hikaye ve şiirlerinden oluşturulan çocuk kitabının ön ve arka kapağı öğrenciler tarafından proje koordinatörü öğretmenleri eşliğinde tasarlanmış olup, 27 sayfadan oluşmaktadır. Kitabın önsözünde okul müdürü ile proje okul koordinatörü - editör olan sınıf öğretmeninin projeye ve öğrencilerin emeklerine dair açıklamaları bulunmaktadır. Kitapta bulunan 14 eserin sekiz tanesi hikayelerden, altı tanesi ise şiirlerden oluşmaktadır. Tablo 2'de *"Satır arasındaki çocuklar"* adlı çocuk kitabında yer alan hikaye ve şiirlerin hangi sınıf seviyesindeki öğrenciler tarafından kaleme alındığı sunulmuştur.

Tablo 2. Satır arasındaki çocuklar kitabında yer alan eserler

Eserlerin isimleri	**Türü**	**Öğrencinin sınıf seviyesi**	**Sayfa numarası**
Orman Haftası	Hikaye*	3. sınıf	3
Canımızsın Öğretmenim	Şiir	4. sınıf	4
Gelecekteki Hayalim	Hikaye*	4. sınıf	5
Minik Merhamet Işığı	Hikaye*	4. sınıf	6
Hayvanlar	Şiir	4. sınıf	8
Kalbimdeki Fotoğraf	Hikaye*	3. sınıf	9
Kırmızı Pabuçlar	Hikaye*	4. sınıf	10
Ey Atalarımız	Şiir	3. sınıf	15
Doğanın Sessiz Şairleri	Şiir	4. sınıf	16
23 Nisan	Şiir	3. sınıf	17
Tozlu Kitap	Hikaye*	3. sınıf	18
Yeşil Ormanın Güzel Dünyası	Şiir	4. sınıf	20
Kalpleri Birleştiren En Güzel Bağ: Arkadaşlık	Hikaye*	4. sınıf	21
Ay Taşı	Hikaye*	3. sınıf	26

Tablo 2 incelendiğinde projede yer alan öğrencilere ait çocuk kitabında ilkokul üçüncü sınıfa devam eden 6 öğrenci, dördüncü sınıfa devam eden ise 8 öğrencinin eseri bulunmaktadır. Bu

araştırmada veri toplama aracı olarak yalnızca öğrenciler tarafından oluşturulan hikayelere yer verildiğinden toplam 8 öğrencinin hikayesi incelenmiştir.

3.3. Verilerin Analizi

Bu araştırmada verilerin analizi gerçekleştirilirken betimsel analiz yönteminden faydanılmıştır. Betimsel analiz yönteminde ulaşılan veriler araştırma sorularına göre saptanmış temalara göre analiz edilirek özetlenir ve yorumlanır. Doğrudan alıntılara sık sık yer verilen betimsel analizde, veriler sistemli bir biçimde tasnif edilerek sunulmaktadır (Yıldırım ve Şimşek, 2021). Buradan hareketle öğrencilerin kaleme aldığı eserlerin analizinde doğrudan alıntılara bulgular kısmında sıklıkla yer verilmiştir.

4.1. Bulgular

Araştırma sürecinde doküman incelemesi yapılan *"Satır arasındaki çocuklar"* adlı öğrencilerin hikayelerden oluşan çocuk kitabında TYMM Hayat Bilgisi dersi öğretim programı çerçevesinde yer alan eğilimler Tablo 3' te gösterilmiştir.

Tablo 3. Eserlerde yer alan eğilimler

Hikayeler	**Kendine İnanma (f)**	**Kendine Güvenme (f)**	**Empati (f)**	**Soru Sorma (f)**	**Merak (f)**	**Oyun severlik (f)**	**Sorumluluk (f)**
Orman Haftası							1
Gelecekteki Hayalim		1					1
Minik Merhamet Işığı			1				
Kalbimdeki Fotoğraf							
Kırmızı Pabuçlar	2			1	1		
Tozlu Kitap			1				
Kalpleri Birleştiren En Güzel Bağ: Arkadaşlık			3			3	
Ay Taşı				2			

Tablo 3 incelendiğinde *"Satır arasındaki çocuklar"* adlı öğrenciler tarafından proje kapsamında tasarlanan çocuk kitabında 2024 TYMM Hayat Bilgisi öğretim programında yer alan 7 farklı eğilim olduğu anlaşılmaktadır. Tablo 3'e göre en fazla ulaşılan eğilimlerin sırasıyla "empati (f=5), oyunseverlik (f=3), soru sorma (f=3) ve kendine inanma (f=2), sorumluluk (f=2) olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca eserlerde en az sayıda "kendine güvenme

(f=1) ve merak (f=1) eğilimleri bulunduğu tespit edilmektedir. Tabloda ulaşılan eğilimlere örnek olabilmesi öğrencilerin hikayelerinden doğrudan alıntılara yer verilmiştir.

- **Merak**

Araştırmada ulaşılan doğrudan ya da dolaylı olarak en az ulaşılan bulgulardan biri olan merak eğilimine sadece *"Kırmızı Pabuçlar"* (f=1) adlı hikayede rastlanmıştır. Merak eğilimle ilgili alıntı şu şekildedir:

"…Tam o sırada Elisa'nın gözü köşedeki küçük mağazaya takıldı. Sanki mağazada onu çeken bir şey vardı…"(Kırmızı Pabuçlar, s. 11)

- **Kendine Güvenme (Öz Güven)**

Çalışmada incelenen *"Satır arasındaki çocuklar"* çocuk kitabında en az ulaşılan diğer eğilimin kendine güvenme (öz güven) olduğu görülmüştür. Bu eğilime sadece *"Gelecekteki Hayalim"* (f=1) hikayesinde rastlanmıştır. Söz konusu eğilimle ilgili alıntılar şu şekildedir:

"Ben de gelecekte çok çalışıp kendimi geliştireceğim ve herkesin güvendiği bir polis olacağım." (Gelecekteki Hayalim, s. 5)

- **Kendine İnanma (Öz Yeterlilik)**

Araştırmada incelenen 3. ve 4. sınıf öğrencilerinin eserlerinden kendine inanma (öz yeterlilik) eğilimine yalnızca *"Kırmızı Pabuçlar"* (f=2) isimli öyküde yer verildiği tespit edilmiştir. Hikayede yer alan kendine inanma eğilimi ile ilgili alıntılar şu şekildedir:

"…Dans yarışmasının kazananı Elisaaaaa" cümlesinden sonra söylenenleri duymadı Elisa. Kendine inanmış ve başarmıştı. Hayallerinden asla vazgeçmemişti…" (Kırmızı Pabuçlar, s. 13)

"Bir kez daha Elisa ile gurur duydu. "İnanmaktan vazgeçmedğin sürece daima başarırsın" dedi sessizce, Sofia'ya göz kırparak…"(Kırmızı Pabuçlar, s. 14)

- **Sorumluluk**

Araştırmada incelenen eserlerde *"Orman Haftası"* (f=1) ve *"Gelecekteki Hayalim"* (f=1) adlı hikayede sorumluluk eğilimi tespit edilmiştir. Bu eğilim ile ilgili doğrudan alıntılar şu şekildedir:

"…artık şunu anlamıştım doğamızı ve ormanımızı korumak artık bize bir görevdir ve bu görevi her doğada olan canlı gibi kendimize borç bilmiştik." (Orman Haftası, s.3)

"Sokaklarımızın güvenli, hayatımızın huzurlu olması için polis amcaların ve teyzelerin ne kadar önemli bir görev üstlendiğini görebiliyorum." (Gelecekti Hayalim, s. 5)

- **Oyunseverlik**

Araştırmaya konu olan eserlerde doğrudan ya da dolaylı olarak en sık ikinci tekrarlanan eğilimin oyunseverlik eğilimi olduğu görülmüştür. Öğrencilerin eserlerinde *"Kalpleri Birleştiren En Güzel Bağ: Arkadaşlık"* (f=3) adlı kitapta oyunseverlik eğilimine yer verilmiştir. Eserde yer alan oyunseverlik eğilimi ile ilgili alıntılar şu şekildedir

"Parkta koşmayı, yeni oyunlar bulmayı ve arkadaşlarını maceralara süreklemeyi çok severdi." (Kalpleri Birleştiren En Güzel Bağ: Arkadaşlık, s. 23)

"Okul çıkışında parkta buluşuyor, bazen ağaçların alttında sohbet ediyor, bazen de Mira'nın bulduğu oyunları oynuyorlardı." Kalpleri Birleştiren En Güzel Bağ: Arkadaşlık, s. 24)

- **Soru Sorma**

Çalışmaya konu olan çocuk kitabındaki hikayeler incelendiğinde doğrudan ya da dolaylı olarak ikinci sırada yer verilen soru sorma eğilimine *"Ay taşı"* (f=2) ve *"Kırmızı Pabuçlar"* (f=1) adlı hikayelerde değinilmiştir. Bu eğilim ile ilgili alıntı şu şekildedir:

"Ay taşı da kafamı karıştırmıştı. Ay taşı ne demekti? Ne renkti? Şekli nasıldı?..." (Ay taşı, s.26)

"Elisa neden sadece o ayakkabının kırmızı olduğu sordu." (Kırmızı Pabuçlar, s. 11)

- **Empati**

Araştırmaya konu olan hikayelerden doğrudan ya da dolaylı olarak en fazla sayıda yer verilen eğilimin empati olduğu anlaşılmıştır. Empati eğilimi, "Minik Merhamet Işığı" (f=1), "Tozlu Kitap" (f=1) ve "*Kalpleri Birleştiren En Güzel Bağ: Arkadaşlık"* (f=3) isimli eserlerde tespit edilmiştir. Empati eğilimi ile ilgili doğrudan alıntılar şu şekildedir:

"Mavili'nin içi sızladı, canı yanıyordu. Biri dokunsa oracıkta ağlayacaktı. Bir an bile düşünmeden Kartopu'nun yanına gitti…" (Minik Merhamet Işığı, s.7)

"Kitapları tek tek sevdim ve onlara yalnız olmadıklarını söyledim…" (Tozlu Kitap, s.19)

"Bir arkadaşının üzgün olduğunu fark ederse hemen yanına gider, sessizce dinler ve küçük bir gülümsemeyle onu mutlu etmeye çalışırdı." (Kalpleri Birleştiren En Güzel Bağ: Arkadaşlık, s.21)

"Biri yalnız kaldığında hemen yanına gider, onu oyuna davet ederdi…" (Kalpleri Birleştiren En Güzel Bağ: Arkadaşlık, s. 23)

4.2.Tartışma ve Sonuçlar

İstanbul İl Milli Eğitim Müdürlüğü tarafından başlatılan "Geleceğin Yazarları Projesi" kapsamında incelenmiş olan *"Satır arasındaki çocuklar"* adlı öğrencilerin eserlerinden oluşan çocuk kitabında yer alan öykülerin, 2024 TYMM Hayat Bilgisi dersi öğretim programında bulunan eğilimleri yansıtma durumları incelenmiştir. İncelenen çocuk kitabında toplam 8 adet hikaye bulunduğu tespit edilmiştir. İncelenen hikayelerin TYMM Hayat Bilgisi dersi öğretim programında yer alan 14 farklı eğilimden 7'sini yansıttığı sonucuna ulaşılmıştır. Söz konusu

eğilimleri empati, oyunseverlik, soru sorma, kendine inanma, sorumluluk, kendine güvenme ve merak oluşturmaktadır. İncelenen hikayelerden "Kalbimdeki Fotoğraf" adlı eserde herhangi bir eğilime değinilmediği tespit edilmiştir. Ayrıca ormanları korumanın önemine vurgu yapılan "Orman Haftası" adlı hikayede sadece sorumluluk eğilimine değinilirken, hayvanlar arası empatinin konu edinildiği "Minik Merhamet Işığı" ve kitap okumanın öneminin vurgulandığı "Tozlu Kitap" adlı hikayelerde de yalnızca empati eğilimine rastlanılmıştır. Bu hikayelere ek olarak hayali kurulan mesleğin satırlara döküldüğü "Gelecekteki Hayalim" adlı hikayede kendine güvenme ve sorumluluk eğilimleri mevcutken, bilim kurgu öğelerinin yer aldığı "Ay Taşı" adlı hikayede soru sorma eğilimine yer verildiği saptanmıştır. Araştırmada ulaşılan sonuçlar arasında en fazla eğilime ikinci sırada sahip olan eser "Kırmızı Pabuçlar" adıyla yazılmış olan bir başarı hikayesidir. Eserde kendine inanma, soru sorma ve merak eğilimlerine yer verilmiştir. Araştırmanın elde edilen sonuçlarında en fazla eğilimi içeren "Kalpleri Birleştiren En Güzel Bağ: Arkadaşlık" adlı hikaye 4. sınıf öğrencisi tarafından kaleme alınmış olup, arkadaşlık ilişkisini konu almaktadır.Hikayenin konusu itibariyle empati ve oyunseverlik eğiliminin sık sık tekrar ettiği ulaşılan sonuçlar arasında yer almaktadır. Bu sonuçlar ışığında eserlerde en fazla empati, oyunseverlik ve soru sorma eğilimlerine yer verildiği, buna karşılık Hayat Bilgisi dersi öğretim programında yer alan azim ve kararlılık, açık fikirlilik, gerçeği arama, sistematiklik, eleştirel bakma, analitiklik, güven eğilimlerine yer verilmediği görülmektedir. Dursun ve Eyüp (2021) tarafından mülteci çocuk kitaplarına yönelik incelemede kitaplarda empatiye yer verildiği görülmüştür. Ayrıca Yardımcıel (2025) tarafından incelenen çocuk kitaplarında yaşam becerileri açısından empatiye sıklıkla yer verildiği sonucu yapılan araştırmayla benzerlik göstermektedir. Kaya ve Eser (2025) tarafından gerçekleştirilen araştırmada 5. sınıf Türkçe kitabında dinleme/izleme ve okuma metinleri TYMM eğilimler bağlamında incelenmiş olup, araştırma sonucunda empati, merak, sorumluluk, soru sorma gibi eğilimlerin var olduğuna ulaşılmıştır. Bu sonuç yapılan çalışmayla parelelik göstermektedir. Literatür incelendiğinde öğretim programının bileşenlerinden biri olan eğilim kavramına yer verilen araştırmaların olduğu (Berk, & Özer, 2024; Taş, Şentürk, & Şiraz, 2024; Yıldırım & Çalışkan, 2024; Eren, 2026) görülmektedir. Sonuç itibariyle 2024 TYMM öğretim programlarının kapsadığı bir farklılık olan eğilimler *"ilgili becerileri hem birbirinden bağımsız olarak hem de yapının bütününde destekleyici bir rol alır. Bu rol aracılığıyla beceriler arası bağlar güçlenir ve dolayısıyla bireyin bütünsel gelişimi desteklenir."* şeklinde belirtilmektedir (MEB, 2023). Dolayısıyla yenilenen öğretim programlarında yer bulan eğilim kavramının, öğrencilerin kazanması planlanan beceriler

açısından katkısı oldukça fazladır. Bu duruma ek olarak eserlerde eğilimlerin yanı sıra öğretim programının kapsadığı değerlerde mevcuttur. Bu bakımdan öğrencilerin yazar olarak ortaya koyduğu bir ürün olan *"Satır arasındaki çocuklar"* adlı çocuk kitabı, çarpıcı kapak ve renkli sayfa tasarımı ile kullanılan dilin öğrenciye uygunluğu açısından öğrencilerin yararlanabileceği yazılı bir kaynak olarak görülebilmektedir. Gelecekte yapılacak araştırmalar için "Geleceğin Yazarları Projesi" kapsamında ilkokul öğrencileri tarafından yazılan çocuk kitapları TYMM Hayat Bilgisi dersi öğretim programında yer alan değerler bakımından incelenmesi önerilebilir.

KAYNAKÇA

Alak, G. ve Nalçacı, A. (2012). Hayat Bilgisi Öğretim Programı Öğelerinin Öğretmen Görüşlerine Göre Değerlendirilmesi. *Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Dergisi,* 33 , 36-51. https://izlik.org/JA43MJ89SG

Arslan, A. (2025). Tymm Hayat Bilgisi Dersi Öğretim Programının Birinci Sınıf Öğretmen Görüşlerine Göre Değerlendirilmesi. *The Journal Of Academic Social Science*, *162*(162), 202-220.

Arslan, A., & Polat, M. S. (2025). İlkokul Öğrencilerinin Okuma Alışkanlıkları ile Eleştirel Düşünme Eğilimleri Arasındaki İlişki. Milli Eğitim Dergisi, 54(245), 321-354. https://doi.org/10.37669/milliegitim.1506770

Aşiret, S., & Su Özenir, Ö. (2025). Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli 2024 Öğretim Programlarında Ölçme ve Değerlendirme Yaklaşımının Çeşitli Değişkenler Açısından İncelenmesi. Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi, 26(3), 895-931. https://doi.org/10.29299/kefad.1659146

Ateş, H., & Gürdağ, K. (2025). Türkiye yüzyılı maarif modelinde yer alan programlar arası bileşenlerden sosyal-duygusal öğrenme becerilerinin incelenmesi. The Journal of Social Sciences, 12(75), 17–34. http://dx.doi.org/10.29228/SOBIDER.81446

Aydın, Z. N. (2025). Oz Büyücüsü'nün maarif modeli öğretim programları ortak metni'nde belirtilen 'yetkin ve erdemli insan' öğrenci profili açısından incelenmesi. *Bezgek Yabancılara Türkçe Öğretimi Dergisi,* 4(1),11-21, http://dx.doi.org/10.56987/bezgek.1638870

Banaz, E. (2024). 2024 Türkiye yüzyılı maarif modeli ortaokul Türkçe dersi öğretim programı'nın dijital okuryazarlık açısından incelenmesi. *Kuram ve Uygulamada Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(1), 279–290. https://doi.org/10.48066/kusob.1483671

Berk, Ş., & Özer, B. (2024). "Türkiye Yüzyılı" Maarif Modeli (Tymm) Öğretim Programlarına İlişkin Düşünceler. *Journal of History School,* 73, 3241-3256.

Ceylan, T. (2025). Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli DKAB Öğretim Programlarının Öğretmen Görüşlerine Göre Değerlendirilmesi. *İlahiyat Tetkikleri Dergisi*, (63), 55-70.

Çakır, O. (2025). 2024 Hayat Bilgisi Dersi Öğretim Programı Öğrenme Çıktılarının 21. Yüzyıl Becerileri Bağlamında Değerlendirilmesi. *Milli Eğitim Dergisi*, *54*(246), 837-878. https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/4282387

Doğan, S., & Aşlamacı, İ. (2025). Türkiye yüzyılı maarif modelinin değer eğitimi açısından analizi. *Çukurova Araştırmaları,* 11(1), 72–90. https://doi.org/10.29228/cukar.80525

Çilenti, K. (1988). Eğitim Teknolojisi. Ankara: Kadıoğlu Matbaası.

Dursun, E., & Eyüp, B. (2021). Mülteci konulu Türkçe ve çeviri çocuk kitaplarında yer alan empati ögelerinin incelenmesi. RumeliDE Dil Ve Edebiyat Araştırmaları Dergisi, Ö9, 1-18. https://doi.org/10.29000/rumelide.981488

Eren, M. (2026). Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli'nde değerler: 1. ve 4. sınıf müzik dersi öğretim programlarının incelenmesi. *Journal of Multidisciplinary Studies in Education, 10*(1), 1-19.

Karacaoğlu, M. Ö., & Ökten, C. (2025). Sistem Düşüncesi ve Okuryazarlık Becerileri Açısından Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Ortaokul Türkçe Dersi Öğretim Programı. *Milli Eğitim Dergisi,* 54(1), 579-624. https://doi.org/10.37669/milliegitim.1709520

Kaya, M. N., & Eser, R. S. (2025). Maarif Modelinde Benimsenen Eğilimlerin Dinleme ve Okuma Metinlerinde Görünümü. *Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi,* 16(3), 4241-4262. https://doi.org/10.51460/baebd.1757689

Milli Eğitim Bakanlığı [MEB]. (2023). *K12 beceriler çerçevesi Türkiye bütüncül modeli.* MEB.

MEB, (2024a). *Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli, Öğretim Programları Ortak Metni.* MEB Yayınları.

MEB, (2024b). *Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli, Hayat Bilgisi Dersi Öğretim Programları (1, 2 Ve 3. Sınıflar).*MEB Yayınları.

Köçer, N. (2025). Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Türkçe dersi öğretim programı ve 5. sınıf Türkçe ders kitabının kültür okuryazarlığı bağlamında incelenmesi. *Uluslararası Türkçe Edebiyat Kültür Eğitim (TEKE) Dergisi*, *14*(1), 161-171.

Kuzu, O., Göçer, V., ve Akçay, A. O. (2024). Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Kapsamında İlkokul Matematik Dersi Öğretim Programı'nın İncelenmesi. RumeliDE Dil ve Edebiyat Araştırmaları Dergisi, (41), 640-667. https://10.5281/zenodo.13337757.

Öztepe, D., & Ütkür Güllühan, N. (2024). Maarif Modeli Hayat Bilgisi Öğretim Programının İlkokul Müdürleri ve Sınıf Öğretmenlerinin Görüşlerine Göre İncelenmesi. *2.International Europe Scientific Research And Innovation Congress 19-20 July 2025 Podgorica-Montenegro*

Susam, B., & Demir, M. K. (2020). Öğretim programlarının değişimi üzerine sınıf öğretmenlerinin görüşlerinin değerlendirilmesi. *Eğitim Kuram ve Uygulama Araştırmaları Dergisi*, *6*(2), 245-267.

Taş, Ş., Şentürk, Ş., & Şiraz, F. (2024). Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli (TYMM) okul öncesi eğitim programının, program ögeleri açısından incelenmesi. *Uluslararası Eğitimde Nitel Araştırmalarda Mükemmellik Arayışı Dergisi*, *3*(2), 85-99.

Uğraş H. (2025). Türkiye yüzyılı maarif modeli hayat bilgisi dersi öğretim programındaki öğrenme çıktılarının, yenilenmiş Bloom taksonomisi ve sürdürülebilir kalkınma hedeflerine göre değerlendirilmesi. *Turkish Studies,* 20(Ö1), 999-1032. https://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies.86722

Uludağ Kırçıl, R., ve Uluçınar Sağır, Ş. (2025). Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli'nin sınıf içi yansımaları: Öğretmen görüşleri. *Erciyes Eğitim Dergisi,* 9(1), 1-23. https://doi.org/10.32433/eje.1673094

Ünay, E. (2025). Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli ve Hayat Bilgisi Öğretim Programında Farklılaştırılmış Öğretimin Kapsayıcı Eğitim Açısından İncelenmesi. *Milli Eğitim Dergisi*, *54*(1), 311-340.

Yardımcıel, F. (2025). Yaşam beceri bileşenleri bağlamında çocuk kitaplarının incelenmesi. *Mehmet Akif Ersoy University Journal of Education Faculty*, 74, 16-37. https://doi.org/10.21764/maeuefd.1529550

Yıldırım, Y., & Çalışkan, A. (2024). Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli'nin 21. Yüzyıl İnsan Profili Açısından Değerlendirilmesi. *Elektronik Eğitim Bilimleri Dergisi,* 13(26), 204-220. https://doi.org/10.55605/ejedus.1548121

Yıldırım, A. & Şimşek, H. (2021). Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri (12. Baskı). Ankara: Seçkin.

URL-1: https://istanbul.meb.gov.tr/www/gelecegin-yazarlari/icerik/5881 Erişim Tarihi: 15.06.2026.

A STUDY ON THE CRITICAL THINKING SKILLS OF GENERATION Z

Assoc. Prof. Dr. Semra TETİK
Manisa Celal Bayar University, Salihli Vocational School, Department of Marketing and Advertising, 45300 Salihli, Manisa
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-6266-8178

ABSTRACT

Critical thinking, in a general sense, encompasses actions such as the capacity for reasoning, higher-order thinking, logical reasoning, inquiry, and acting intelligently. In other words, critical thinking is a thought process that involves skills such as getting to the root of problems, examining them from different perspectives, striving to understand them, and developing new solutions rather than being a random mental activity. It is a fact that the rapid and constant change taking place in our increasingly digital world is increasing both the speed and volume of information. The continuous and rapid growth of information is also bringing about changes in people's lives. As digitalization advances, while accessing information has become easier, it has also become increasingly difficult to think deeply about the accuracy and authenticity of that information. It is critically important for Generation Z often referred to as the "digital generation" due to their high level of technological proficiency to develop their critical thinking skills. Because in today's world, the business community prefers individuals who possess 21st-century skills. One of the skills that stands out in this context is critical thinking. With this in mind, the purpose of this study is to determine the levels of critical thinking skills among Generation Z. With this aim in mind, the study sought to answer the following questions: What is the level of critical thinking skills among Generation Z? And do Generation Z's critical thinking skills vary according to their demographic characteristics? The study group for this survey-based research consists of a total of 85 students enrolled at the vocational school of a public university during the 2025–2026 academic year. The "Marmara Critical Thinking Dispositions Scale" was used to collect data for the study. The data obtained within the scope of the study were analyzed and interpreted.

Keywords: Generation Z, Thinking, Critical thinking, Reasoning, Open-mindedness

INTRODUCTION

The act of thinking—a fundamental characteristic that distinguishes humans from other living beings—plays a critical role in enhancing individual well-being, optimizing problem-solving processes, and shaping developmental dynamics at both the micro and macro levels (Semerci, 2003). Although thinking has various dimensions—such as creative, reflective, and critical—this study focuses solely on the dimension of critical thinking, in line with its objective. The

cornerstone of democratic societies is a mindset that is free from prejudice and characterized by inquiry and critical thinking (Facione, 1990). Critical thinking is a skill that requires individuals to question information rather than passively accept it, to engage in analytical processes, and to develop rational perspectives (Yalçın and Doğan, 2025). Critical thinking is valued by many scientists and thinkers because it determines how we find and process information. In studies conducted to date, critical thinking has been examined by researchers using various definitions and approaches (Kürüm, 2003).

According to Cüceloğlu (1995), critical thinking is a systematic and conscious effort that enables an individual to be aware of their own mental processes, take others' perspectives into account, and make sense of both themselves and the world by applying the knowledge they have acquired. In the model developed by Paul and Elder (2000), which structures critical thinking into three dimensions—correct thinking, the elements of thinking, and domains of thinking—a rational, consistent, and evidence-based form of thinking is emphasized (Bakır and Eğmir, 2022). According to Grant (1988), critical thinking is a general concept that encompasses reasoning, logical and higher-order thinking skills, as well as behaviors such as rational behavior and creativity. According to Ennis (1962), critical thinking is the process of grasping the essence of a statement and deciding whether to accept or reject its validity (Erdem and Genç, 2015). Scriven and Paul (2013) define critical thinking as follows: rather than blindly believing information, it involves reaching the correct decision and taking decisive action by actively analyzing and evaluating data obtained through observation, experience, and logic (Papathanasiou et al., 2014). In this context, critical thinking shields the individual from the confusion caused by unverified arguments. Cognitive development is possible only through a culture of inquiry and criticism that serves the pursuit of truth (Seferoğlu and Akbıyık, 2006).

Viewed from a broad perspective, critical thinking refers to an individual's ability to test the validity of any given information, to apply specific criteria in decision-making processes, and to investigate the evidence supporting the information they have obtained. This approach, which enables a person to request supporting evidence before accepting the views put forward by others, reflects foundational cognitive competencies such as openness, honesty, consistency, and accuracy (Bağcı and Şahbaz, 2012). Critical thinking—which encompasses the full range of cognitive processes such as identification, analysis, synthesis, and evaluation—is one of the cornerstones of individual autonomy and social responsibility. A person's ability to find rational solutions to problems they encounter and make sound decisions is directly related to

the level of development of this competency. Rather than being an innate talent, this skill has a learnable structure and can be developed throughout one's life (Mete, 2021).

The fundamental critical thinking skills identified by Beyer (1988) can be listed as follows:

- Distinguishing between verifiable objective data and personal opinions and interpretations.
- Distinguishing between information that serves a purpose and unnecessary details.
- Determining the extent to which a presented view reflects reality.
- Assessing the reliability of information sources.
- To be able to identify ambiguous statements and debates,
- To be able to identify well-defined assumptions,
- To be able to detect biases,
- To recognize logical fallacies,
- To be able to identify inconsistencies in the reasoning process,
- To be able to assess the logical weight and evidential strength of a statement.

Critical thinking skills are a fundamental mechanism that enables individuals to make rational decisions in democratic processes, fosters the development of an informed public that interprets social dynamics from a holistic perspective, and allows them to access accurate information by breaking free from dogmatic patterns. This competency facilitates the impartial analysis of facts, the adoption of lifelong learning, and the identification and filtering out of manipulative propaganda. As a result, it guides the individual toward a realistic and objective worldview, free from information pollution (Hotaman, 2020).

As a result, the dizzying advancements in science and technology are reshaping our living and working conditions. In an age like this, critical thinking skills are now an absolute necessity for succeeding, devising lasting solutions to problems, and accurately predicting the future (Özgenel and Çetin, 2018). In today's globalized world, the need for individuals who generate and manage knowledge and embrace lifelong learning as a principle is growing day by day. Accordingly, equipping students with higher-order skills—such as solving complex problems and critical thinking—has become the fundamental vision of modern education (Alkan and Seferoğlu, 2023).

METHOD

Purpose of the Study

This study was conducted to determine the levels of critical thinking skills among Generation Z college students and to identify whether there are significant differences in their critical

thinking skills based on their demographic characteristics. To achieve this objective, the following research questions were addressed:

1. What is the level of critical thinking skills among Generation Z?
2. Do the critical thinking skills of Generation Z vary according to their demographic characteristics?

Population and Sample

The population of the study consists of students enrolled at a vocational school of a public university during the 2025–2026 academic year, while the sample consists of 85 students who voluntarily participated in the study.

Data Collection Tool

The questionnaire used to collect research data consists of two sections: the "Personal Information Form" and the "Marmara Critical Thinking Tendencies Scale." Developed by Özgenel and Çetin (2018), the scale consists of 6 subdimensions (reasoning, reaching a judgment, seeking evidence, seeking the truth, open-mindedness, and systematic thinking) and 28 items. High scores on each subdimension of the scale and on the scale as a whole indicate that the individual possesses critical thinking skills. The scale is scored by calculating the average of the subdimensions and the total score. The scale's reliability coefficient is Cronbach's $\alpha = 0.91$. The results of the reliability analysis for the scale in this study are presented in Table 1.

Tablo 1. Reliability statistics for the scale

Cronbach's Alpha	N of Items
,901	28

FINDINGS

Descriptive Statistics for Demographic

Table 2. Frequency and Percentage Distributions by Gender

Variables		f	(%)
Gender	Female	45	52,9
	Male	40	47,1
	Total	85	100,0

As shown in Table 2, 52.9% of the participants are female, and 47.1% are male.

Table 3. Frequency and Percentage Distributions by Age

Variables		f	(%)
Age	18-21 years old	66	77,6
	22-23 years old	15	17,6
	24 years old and above	4	4,7
	Total	85	100,0

As shown in Table 3, 77.6% of the participants are between the ages of 18 and 21, 17.6% are between the ages of 22 and 23, and 4.7% are 24 or older.

Table 4. Frequency and Percentage Distributions by Grade Level

Variables		**f**	**(%)**
Grade Level	1st Grade	34	40,0
	2nd Grade	51	60,0
	Total	85	100,0

As shown in Table 4, 40% of the participants are first-year students, while 60% are second-year students.

Table 5. Frequency and Percentage Distributions of Family Income Levels

Variables		**f**	**(%)**
Family Income	Low	21	24,7
	Medium	60	70,6
	High	4	4,7
	Total	85	100,0

Table 5 shows that, based on participants' family income levels, 24.7% have low income, 70.6% have moderate income, and 4.7% have high income.

Table 6. Frequency and Percentage Distributions of the Number of Siblings

Variables		**f**	**(%)**
Number of Siblings	1 (Only child)	9	10,6
	2 siblings	39	45,9
	3 siblings	24	28,2
	4 siblings	9	10,6
	5 or more siblings	4	4,7
	Total	85	100,0

As shown in Table 6, 10.6% of the participants are only children, 45.9% have two siblings, 28.2% have three siblings, 10.6% have four siblings, and 4.7% have five or more siblings.

Table 7. Frequency and Percentage Distributions Regarding Mothers' Educational Status

Variables		**f**	**(%)**
The Mother's Education	Primary School	29	34,1
	Secondary School	27	31,8
	High School	23	27,1
	University	6	7,1
	Total	85	100,0

Table 7 shows that, in terms of the participants' mothers' educational attainment, 34.1% had completed elementary school, 31.8% had completed middle school, 27.1% had completed high school, and 7.1% were college graduates.

Table 8. Frequency and Percentage Distributions Regarding the Father's Educational Status

Variables		f	(%)
The Father's Education	Primary School	20	23,5
	Middle School	22	25,9
	High School	30	35,3
	University	13	15,3
	Total	85	100,0

Table 8 shows that, when considering the participants' fathers' educational backgrounds, 23.5% have a primary school education, 25.9% have a middle school education, 35.3% have a high school education, and 15.3% have a college degree.

Table 9. Frequency and Percentage Distributions Regarding Academic Achievement Levels

Variables		f	(%)
Academic Achievement	Low	1	1,2
	Medium	59	69,4
	High	25	29,4
	Total	85	100,0

Table 9 shows that, in terms of participants' academic achievement levels, 1.2% had low achievement, 69.4% had moderate achievement, and 29.4% had high achievement.

Descriptive Statistics for the Scale

Table 10. Descriptive statistical analyses of the critical thinking skills scale

Scale	n	Min	Max	X	SD
Reasoning	85	1,00	5,00	4,03	,758
Decision Making	85	1,00	5,00	3,99	,789
Seeking Evidence	85	1,00	5,00	4,03	,767
Truth-seeking	85	1,00	5,00	3,94	,831
Open-mindedness	85	1,00	5,00	4,02	,768
Systematicity	85	1,00	5,00	4,07	,785
Critical Thinking Skills (Total)	85	1,00	5,82	4,04	,716

An examination of Table 10 reveals that participants' overall critical thinking tendencies and their subscale scores are at a fairly high level. The highest score among the dimensions was achieved in the area of systematicity, with an average of 4.07. This dimension is followed, in order, by reasoning (4.03), evidence-seeking (4.03), and open-mindedness (4.02). On the other hand, it was found that participants scored the lowest on the truth-seeking dimension, with an average of 3.94, followed by the judgment-forming dimension (3.99).

Analyses of Differences Between Demographic Characteristics and Critical Thinking Skills

Table 11. Results of the t-test for critical thinking skills by gender

Scale	Gender	n	X	SD	t	p
Reasoning	Female	45	4,14	,617	,310	,145
	Male	40	3,90	,881		
Decision Making	Female	45	4,01	,780	-,456	,800
	Male	40	3,97	,809		
Seeking Evidence	Female	45	4,08	,723	-,618	,430
	Male	40	3,95	,818		
Truth-seeking	Female	45	3,98	,809	-,958	,647
	Male	40	3,90	,863		
Open-mindedness	Female	45	4,06	,717	-,086	,586
	Male	40	3,97	,827		
Systematicity	Female	45	4,16	,713	-,702	,249
	Male	40	3,96	,857		
Critical Thinking Skills (Total)	Female	45	4,11	,670	-,083	,269
	Male	40	3,94	,762		

The findings presented in Table 11 indicate that there is no significant difference between the gender of the Generation Z college students who participated in the study and their critical thinking skills ($p > 0.05$).

Table 12. Comparison of critical thinking skills by age group (ANOVA)

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Reasoning	Between Groups	,977	2	,489	,846	,433
	Within Groups	47,347	82	,577		
	Total	48,325	84			
Decision Making	Between Groups	1,207	2	,604	,966	,385
	Within Groups	51,207	82	,624		
	Total	52,414	84			
Seeking Evidence	Between Groups	,661	2	,331	,555	,576
	Within Groups	48,841	82	,596		
	Total	49,503	84			
Truth-seeking	Between Groups	1,471	2	,735	1,066	,349
	Within Groups	56,576	82	,690		
	Total	58,047	84			
Open-mindedness	Between Groups	1,177	2	,588	,997	,373
	Within Groups	48,401	82	,590		
	Total	49,578	84			
Systematicity	Between Groups	1,178	2	,589	,953	,390

	Within Groups	50,675	82	,618		
	Total	51,853	84			
Critical Thinking Skills (Total)	Between Groups	,834	2	,417	,809	,449
	Within Groups	42,244	82	,515		
	Total	43,078	84			

The findings presented in Table 12 indicate that there is no significant difference between the ages of the Generation Z college students who participated in the study and their critical thinking skills ($p > 0.05$).

Table 13. Results of the t-test for critical thinking skills by grade level

Scale	**Grade**	**n**	**X**	**SD**	**t**	**p**
Reasoning	1st grade	34	4,06	,640	,310	,702
	2nd grade	51	4,01	,833		
Decision Making	1st grade	34	3,95	,610	-,456	,199
	2nd grade	51	4,03	,894		
Seeking Evidence	1st grade	34	3,96	,634	-,618	,155
	2nd grade	51	4,07	,848		
Truth-seeking	1st grade	34	3,84	,839	-,958	,987
	2nd grade	51	4,02	,826		
Open-mindedness	1st grade	34	4,02	,690	-,086	,388
	2nd grade	51	4,03	,822		
Systematicity	1st grade	34	4,00	,712	-,702	,202
	2nd grade	51	4,12	,834		
Critical Thinking Skills (Total)	1st grade	34	4,03	,668	-,083	,876
	2nd grade	51	4,04	,752		

The findings presented in Table 13 indicate that there is no significant difference between the grade levels and critical thinking skills of the Generation Z college students who participated in the study ($p > 0.05$).

Table 14. Comparison of critical thinking skills by family income level (ANOVA)

		Sum of Squares	**df**	**Mean Square**	**F**	**p**
Reasoning	Between Groups	,665	2	,333	,572	,566
	Within Groups	47,660	82	,581		
	Total	48,325	84			
Decision Making	Between Groups	,951	2	,476	,758	,472
	Within Groups	51,463	82	,628		
	Total	52,414	84			
Seeking Evidence	Between Groups	,833	2	,416	,702	,499
	Within Groups	48,670	82	,594		
	Total	49,503	84			
Truth-seeking	Between Groups	,117	2	,059	,083	,920

	Within Groups	57,930	82	,706		
	Total	58,047	84			
Open-mindedness	Between Groups	,567	2	,284	,475	,624
	Within Groups	49,011	82	,598		
	Total	49,578	84			
Systematicity	Between Groups	,210	2	,105	,167	,847
	Within Groups	51,643	82	,630		
	Total	51,853	84			
Critical Thinking Skills (Total)	Between Groups	,636	2	,318	,614	,544
	Within Groups	42,442	82	,518		
	Total	43,078	84			

The findings presented in Table 14 indicate that there is no significant difference between the family income levels and critical thinking skills of the Generation Z college students who participated in the study ($p > 0.05$).

Table 15. Comparison of Critical Thinking Skills by Number of Siblings (ANOVA)

		Sum of Squares	**df**	**Mean Square**	**F**	**p**
Reasoning	Between Groups	7,661	4	1,915	3,768	,007
	Within Groups	40,664	80	,508		
	Total	48,325	84			
Decision Making	Between Groups	6,016	4	1,504	2,593	,043
	Within Groups	46,398	80	,580		
	Total	52,414	84			
Seeking Evidence	Between Groups	6,879	4	1,720	3,228	,017
	Within Groups	42,624	80	,533		
	Total	49,503	84			
Truth-seeking	Between Groups	4,872	4	1,218	1,832	,131
	Within Groups	53,175	80	,665		
	Total	58,047	84			
Open-mindedness	Between Groups	4,470	4	1,117	1,982	,105
	Within Groups	45,108	80	,564		
	Total	49,578	84			
Systematicity	Between Groups	8,148	4	2,037	3,729	,008
	Within Groups	43,705	80	,546		
	Total	51,853	84			
Critical Thinking Skills (Total)	Between Groups	5,848	4	1,462	3,142	,019
	Within Groups	37,229	80	,465		
	Total	43,078	84			

According to Table 15, there is a significant difference in the critical thinking skills—specifically in the sub-dimensions of reasoning, reaching a judgment, seeking evidence, and systematic thinking—of Generation Z college students participating in the study, based on the

number of siblings they have. An analysis of the cause of this significant difference revealed that it stems from the fact that participants with two siblings had higher average scores than others, while those with five or more siblings had lower average scores than others. However, no significant difference was found between the number of siblings and the sub-dimensions of critical thinking skills—namely, seeking the truth and open-mindedness.

Table 16. Comparison of critical thinking skills by mothers' educational status (ANOVA)

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Reasoning	Between Groups	2,101	3	,700	1,227	,305
	Within Groups	46,224	81	,571		
	Total	48,325	84			
Decision Making	Between Groups	,764	3	,255	,399	,754
	Within Groups	51,650	81	,638		
	Total	52,414	84			
Seeking Evidence	Between Groups	1,487	3	,496	,836	,478
	Within Groups	48,016	81	,593		
	Total	49,503	84			
Truth-seeking	Between Groups	2,313	3	,771	1,121	,346
	Within Groups	55,734	81	,688		
	Total	58,047	84			
Open-mindedness	Between Groups	5,713	3	1,904	3,516	**,019**
	Within Groups	43,865	81	,542		
	Total	49,578	84			
Systematicity	Between Groups	2,367	3	,789	1,292	,283
	Within Groups	49,486	81	,611		
	Total	51,853	84			
Critical Thinking Skills (Total)	Between Groups	1,886	3	,629	1,237	,302
	Within Groups	41,191	81	,509		
	Total	43,078	84			

According to Table 16, there is a significant difference between the educational levels of the mothers of Generation Z college students participating in the study and their scores on the "open-mindedness" subscale of critical thinking skills. Upon examining the cause of this significant difference, it was found that the higher scores were attributed to students whose mothers had completed only elementary school. This was followed by students whose mothers had completed middle school, high school, and college. Based on this result, as the mothers' educational level increases, the students' tendency toward critical thinking decreases.

Table 17. Comparison of critical thinking skills by father's educational level (ANOVA)

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Reasoning	Between Groups	1,412	3	,471	,813	,491
	Within Groups	46,913	81	,579		
	Total	48,325	84			
Decision Making	Between Groups	1,015	3	,338	,533	,661
	Within Groups	51,399	81	,635		
	Total	52,414	84			
Seeking Evidence	Between Groups	2,982	3	,994	1,731	,167
	Within Groups	46,521	81	,574		
	Total	49,503	84			
Truth-seeking	Between Groups	4,138	3	1,379	2,072	,110
	Within Groups	53,909	81	,666		
	Total	58,047	84			
Open-mindedness	Between Groups	3,096	3	1,032	1,798	,154
	Within Groups	46,482	81	,574		
	Total	49,578	84			
Systematicity	Between Groups	1,284	3	,428	,685	,564
	Within Groups	50,569	81	,624		
	Total	51,853	84			
Critical Thinking Skills (Total)	Between Groups	1,286	3	,429	,831	,481
	Within Groups	41,792	81	,516		
	Total	43,078	84			

The findings presented in Table 17 indicate that there is no significant difference between the fathers' educational status and the critical thinking skills of the Generation Z college students who participated in the study ($p > 0.05$).

Table 18. Comparison of Critical Thinking Skills by Academic Achievement Level (ANOVA)

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	p
Reasoning	Between Groups	1,531	2	,766	1,342	,267
	Within Groups	46,793	82	,571		
	Total	48,325	84			
Decision Making	Between Groups	1,378	2	,689	1,107	,335
	Within Groups	51,036	82	,622		
	Total	52,414	84			
Seeking Evidence	Between Groups	,531	2	,266	,445	,643
	Within Groups	48,972	82	,597		
	Total	49,503	84			
Truth-seeking	Between Groups	2,160	2	1,080	1,585	,211

	Within Groups	55,887	82	,682		
	Total	58,047	84			
Open-mindedness	Between Groups	2,164	2	1,082	1,871	,160
	Within Groups	47,414	82	,578		
	Total	49,578	84			
Systematicity	Between Groups	,532	2	,266	,425	,655
	Within Groups	51,321	82	,626		
	Total	51,853	84			
Critical Thinking Skills (Total)	Between Groups	,927	2	,463	,902	,410
	Within Groups	42,151	82	,514		
	Total	43,078	84			

The findings presented in Table 18 indicate that there is no significant difference between the academic achievement and critical thinking skills of the Generation Z college students who participated in the study ($p > 0.05$).

CONCLUSION

The study found that Generation Z possesses a high level of critical thinking skills overall. This finding indicates that Generation Z—which was born into the digital age, has rapid access to information, and must manage a multi-source flow of data—possesses an analytical and inquisitive mindset, contrary to traditional stereotypes. Given the dynamic nature of the 21st-century business world, this high level is a positive indicator for the labor market.

One of the most striking findings of the study is the variable of the number of siblings. A significant difference was found between participants' total critical thinking tendencies and the subdimensions of reasoning, judgment, evidence-seeking, and systematic thinking, based on the number of siblings they had. This finding demonstrates that the level of intra-family interaction, as well as communication and conflict-resolution processes among siblings, plays a decisive role in an individual's ability to develop logical arguments and think systematically.

A significant difference was found in the "open-mindedness" subdimension of critical thinking based on the mother's educational level. This finding indicates that having an educated mother is a critical environmental factor in a child's adoption of a more flexible, tolerant, and unbiased approach toward different ideas and innovations (open-mindedness). No significant differences in critical thinking skills were found based on the participants' gender, age, grade level, family income, father's educational level, or academic achievement.

In conclusion, Generation Z possesses more than enough critical thinking potential to meet the demands of the workplace. However, it has been observed that this skill is not homogeneous; rather, it is influenced by micro-environmental factors such as the number of siblings (family size) and the mother's educational level. It is recommended that strategies be developed to

integrate Generation Z's high potential into the business world while taking into account differences in individual and family backgrounds. This study is exploratory in nature, and its findings cannot be generalized. Therefore, expanding the sample size could increase the generalizability of the results.

REFERENCES

Alkan, B.T., & Seferoğlu, S. S.(2023). Eğitsel süreçlerin üniversite öğrencilerinin eleştirel düşünme becerileri üzerine etkisinin incelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 32 (2), 821-834.

Bağcı, H., & Şahbaz, N. K. (2012). Türkçe öğretmeni adaylarının eleştirel düşünme becerileri üzerine bir değerlendirme. *Mersin Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi/ Mersin University Journal of the Faculty of Education,* 8(1), 1-12.

Bakır, T., & Eğmir, E. (2022). Ortaokul öğrencilerinin eleştirel düşünme eğilimleri ile üstbilişsel farkındalıkları arasındaki ilişkinin incelenmesi. *E-Uluslararası Eğitim Araştırmaları Dergisi*, 13(5), 21–40.

Beyer, B. K. (1988). DeveIoping a scope and sequence for thinking skiIls instruction. *Educational Leadership,* 7, 26-30.

Cüceloğlu, D. (1995). *İyi düşün doğru karar ver*. İstanbul: Sistem Yayıncılık.

Erdem, A. R., & Genç, G. (2015). Lise öğrencilerinin eleştirel düşünme becerilerinin bazi değişkenler açisindan incelenmesi. *Uluslararası Eğitim Bilimleri Dergisi / The Journal of International Education Science*, 2(5), 58-69.

Facione, P. A. (1990). Critical thinking: A statement of expert consensus for purposes of educational assessment and instruction. Researchfindings and recommendations. Millbrae, CA: The Califomia Academic Press. (ERIC Document Reproduction Service No: ED3I5423), httD://www.eric.ed.lzov/, Erişim Tarihi: 02.09.2026.

Grant, G. E. (1988). *Teaching critical thinking*. New York: Praeger Publishers.

Güntaş, S., & Çetin, E. (2019). Üniversite Öğrencilerinin Eleştirel Düşünme Becerilerinin İncelenmesi: KKTC Örneği. *International Journal of Arts & Social Studies Dergisi*, 2(2), 32 – 42.

Hotaman, D. (2020). Eleştirel düşünme becerisi açisindan öğrenme kuramlari, öğrenme ortamlari ve öğretmen davranişlarinin incelenmesi. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi / The Journal of International Social Research*, 13(72), 637-647.

Papathanasiou, I. V., Kleisiaris, C. F., Fradelos, E. C., Kakou, K., & Kourkouta, L. (2014). Critical thinking: The development of an essential skill for nursing students. *Acta Informatica Medica*, 22(4), 283-286.

Paul, R., & Elder, L. (2000). *Critical thinking: Tools for taking charge of your learning and your life*. Upper Saddle River. NJ: Prentice Hall Health.

Kürüm, D. (2003). Eleştirel düşünme ve öğretimi. *Anadolu Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi,* 13(2), 141-158.

Mete, G. (2021). Ortaokul öğrencilerinin eleştirel düşünme becerilerinin incelenmesi/ Examining The Secondary School Students' Critical Thinking Skills. *Ana Dili Eğitimi Dergisi*, 9(2), 492-509.

Özgenel, M., & Çetin, M. (2018). Development of the Marmara Critical Thinking Dispositions Scale: Validity and reliability analysis. *International Journal of Eurasia Social Sciences, 9*(32), 991-1015.

Scriven, M., & Paul, R. (n.d.) Defining critical thinking. Retrieved February 23, 2013, from //www.criticalthinking.org/University/univclass/Defining.Html

Seferoğlu, S. S., & Akbıyık, C. (2006). Eleştirel düşünme ve öğretimi/Teaching critical thinking. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi (H.U. Journal of Education),* 30, 193-200.

Semerci, Ç. (2003). Developing critical thinking skills. *Educaüon and Science*, 28(127), 64-70.

Yalçın, G., & Doğan, A. (2025). İlkokul 4. sınıf öğrencilerinin eleştirel düşünme eğilimleri üzerine bir inceleme: Karaman ili örneği. *Uluslararası Psiko-Sosyal Eğitim Araştırmaları Dergisi*, 5(9), 281-294.

AN EXAMINATION OF THE RELATIONSHIP BETWEEN UNIVERSITY STUDENTS' EMPATHY SKILLS AND THEIR ENVIRONMENTAL AWARENESS

Doç. Dr. Semra TETİK
Manisa Celal Bayar University, Salihli Vocational School, Department of Marketing and Advertising
45300 Salihli, Manisa
ORCID ID: 0000-0001-6266-8178

ABSTRACT

Empathy is the ability to put oneself in another person's shoes, understand their feelings and thoughts, and make them feel understood. Establishing empathy with others contributes to managing emotions effectively and to learning. The ability to empathize enables us to internalize not only interpersonal relationships but also ecological destruction and the hardships faced by other living beings. Consequently, practicing empathy also fosters environmental awareness. Environmental awareness refers to people's awareness of the need to protect nature, use resources efficiently, and combat ecological damage, as well as their sense of responsibility in these matters. As with all other issues, universities serve as role models for society in terms of an empathetic approach and environmental awareness. One of the most important responsibilities expected of university students, in particular, is to apply the knowledge and skills they have acquired about the environment, the attitudes they have developed, and the values they have internalized during their education to both their personal and social lives as they enter the workforce. The purpose of this study is to examine the relationship between university students' empathy skills and environmental awareness. The study sample consists of 78 students enrolled in the Faculty of Economics and Administrative Sciences at a public university during the 2025–2026 academic year. Research data were collected using a survey. The results of the study revealed a statistically significant and positive correlation between university students' empathy skills and their environmental awareness. This means that individuals with high empathy skills also exhibit high environmental awareness and are more likely to engage in environmentally friendly behaviors.

Keywords: Empathy, Empathetic tendency, Environmental awareness, University students

INTRODUCTION

Empathy is the art of seeing the world through another person's eyes, feeling with their heart, and making them feel that way in return (Dökmen, 2003). Demonstrating an empathetic approach in daily life is a fundamental element that optimizes interpersonal relationships. Across all segments of society, empathy brings people closer together and facilitates

communication processes. Individuals who are shown empathy feel valued and understood. This awareness facilitates the beginning of quality communication based on mutual understanding (Dinçyürek, 2004). According to Hoffman, empathy is the ability to perceive what another person is feeling from their perspective. In this sense, empathy is an indirect emotional reaction that a person develops toward the situation experienced by the other person, rather than from their own perspective (Çiftçi and Yüksel, 2010).

Empathy is the process by which an individual cognitively grasps another person's perspective, accurately interprets their feelings and thoughts, and communicates them to the other person. The capacity for empathy, on the other hand, constitutes the emotional dimension of this process and encompasses an individual's motivation to establish emotional connection, be moved by others, and offer help (Sert, 2026). Individuals with a high capacity for empathy are those who can see others' perspectives, listen effectively, sense emotions between the lines, and know when and how to speak. These individuals, who develop a deep understanding by putting themselves in others' shoes, demonstrate exceptionally high levels of communication in both their professional and social lives (Çiftçi et al., 2015). Empathy takes shape in three dimensions: cognitive, emotional, and behavioral. Cognitive empathy involves understanding the other person's thoughts and perspective; emotional empathy involves showing sensitivity by sharing their feelings; and behavioral empathy involves transforming all these internal processes into supportive social relationships and concrete actions (Kervan, 2026).

Empathy is of vital importance for human social life. The benefits of this skill extend beyond the personal level; it also makes a significant contribution to the environment and society (Küçük, 2025). Individuals with a high level of empathy also tend to exhibit greater environmental awareness. Academic research in the fields of psychology, sociology, and environmental sciences has demonstrated a direct and positive relationship between the ability to empathize and environmentally friendly attitudes (Güngör et al., 2022).

The environment, defined as the setting in which human life and all forms of socioeconomic activity take place, is, by its very nature, in constant and dynamic interaction with humans (Koçarslan et al., 2017). Environmental awareness can only be fostered through comprehensive environmental education. This education—which facilitates the development of knowledge, skills, attitudes, and values aimed at protecting nature, while also enabling the adoption of environmentally friendly behaviors and the observation of their outcomes—is the most fundamental way to cultivate environmental sensitivity in individuals (Kipper et al., 2017). To prevent environmental problems, we must develop values, attitudes, and skills that are sensitive

to nature. To this end, it is essential to develop strategies and policies that will raise individuals' environmental awareness and transform their behavior in a positive direction. One of the most fundamental elements that triggers and builds this environmental sensitivity is empathy (Zehiroğlu and Dineri, 2025).

METHOD

Purpose of the Study

The purpose of this study is to examine the relationship between university students' empathy skills and environmental awareness. In line with this purpose, the following hypotheses have been formulated:

H1: There is a positive and significant relationship between university students' empathy skills and environmental awareness.

Population and Sample

The sample for this study, which employs a correlational survey model, consists of 78 students enrolled in the Faculty of Economics and Administrative Sciences at a public university during the 2025–2026 academic year. Data were collected using a survey.

Data Collection Tool

The survey used to collect research data consists of three sections: the "Personal Information Form," the "Empathic Tendencies Scale—Form B," and the "Environmental Sensitivity Scale."

Empathy Tendency Scale (Form B): In this study, the Empathy Tendency Scale—Form B, developed by Dökmen (1988), was used. The purpose of the scale is to measure individuals' tendency to empathize in their daily lives. The scale consists of 20 items on a five-point Likert scale; a high score indicates a high level of empathic tendency, while a low score indicates a low level of empathic tendency. The minimum score on the scale is 20, and the maximum score is 100. The validity and reliability study of the Empathy Tendency Scale was conducted by Dökmen (1988). The test-retest reliability coefficient of the test is .82, and the correlation coefficient obtained using the split-half method is 81. The Cronbach's alpha coefficient calculated in this study is .88. The scale's reference ranges have been defined as 1.8 (very low), 1.9–2.6 (low), 2.7–3.4 (moderate), 3.5–4.2 (high), and 4.3–5 (very high).

Environmental Awareness Scale: The "Environmental Awareness Scale," developed by Açar (2010) to assess students' environmental awareness, was used in this study. The scale is a unifactorial measure consisting of 31 items on a 3-point Likert scale. As a result of the exploratory factor analysis conducted, it was determined that the factor loadings of the scale

ranged from .41 to .76. In the reliability analysis conducted for the scale, the Cronbach's alpha coefficient was determined to be .82. The reliability values of the scale were recalculated for this study. The scale's overall Cronbach's alpha coefficient was determined to be 0.87. The scale's reference ranges were determined as follows: 1–1.66 (low); 1.67–2.33 (moderate); and 2.34–3 (high).

FINDINGS

Table 1. Distribution of participants by gender

Variable	Groups	Frequency	Percentage (%)
Gender	Female	34	43,6
	Male	44	56,4
	Total	78	100,0

A review of Table 1 shows that 43.6% of the participants were female and 56.4% were male.

Table 2. Distribution of participants by age group

Variable	Groups	Frequency	Percentage (%)
Age	18-21 years old	38	48,7
	22-23 years old	29	37,2
	24 years old and above	11	14,1
	Total	78	100,0

As shown in Table 2, 48.7% of the participants are between the ages of 18 and 21, 37.2% are between the ages of 22 and 23, and 14.7% are 24 years of age or older.

Table 3. Distribution of participants by grade level

Variable	Groups	Frequency	Percentage (%)
Grade Level	1st Grade	20	25,6
	2nd Grade	23	29,5
	3rd Grade	18	23,1
	4th Grade	17	21,8
	Total	78	100,0

As shown in Table 3, 25.6% of the participants are first-grade students, 29.5% are second-grade students, 23.1% are third-grade students, and 21.8% are fourth-grade students.

Table 4. Distribution of Participants by Family Income Level

Variable	Groups	Frequency	Percentage (%)
Family Monthly Income	Low	7	9,0
	Average	46	59,0
	Good	23	29,5
	Very good	2	2,6
	Total	78	100,0

Table 4 shows that, based on participants' family income levels, 9% have a low income, 50% have a moderate income, 29.5% have a good income, and 2.6% have a very good income.

Table 5. Distribution of participants by place of residence

Variable	Groups	Frequency	Percentage (%)
Place of Residence	Village/Town	5	6,4
	District	21	26,9
	Province	10	12,8
	Metropolitan	42	53,8
	Toplam	78	100,0

Table 5 shows that, when looking at where participants spent most of their lives, 6.4% lived in a village or small town, 26.9% in a district, 12.8% in a province, and 53.8% in a metropolitan city.

Tablo 6. Distribution of participants by mothers' educational level

Variable	Groups	Frequency	Percentage (%)
Mother's Education Level	Primary School	42	53,8
	Secondary School	21	26,9
	High School	8	10,3
	University	7	9,0
	Total	78	100,0

Table 6 shows that, in terms of the participants' mothers' educational backgrounds, 53.8% had completed primary school, 26.9% had completed secondary school, 10.3% had completed high school, and 9% were college graduates.

Tablo 7. Distribution of participants by fathers' educational level

Variable	Groups	Frequency	Percentage (%)
Father's Education Level	Primary School	28	35,9
	Secondary School	17	21,8
	High School	21	26,9
	University	12	15,4
	Total	78	100,0

Table 7 shows that, when considering the participants' fathers' educational backgrounds, 35.9% have a primary school education, 21.8% have a secondary school education, 26.9% have a high school education, and 15.4% are college graduates.

Descriptive Statistics for the Scales

Tablo 8. Descriptive statistical analyses of the scales

Scales	N	Min	Max	$\bar{X}$	SD
Empathic Tendency Scale (Form B)	78	1,35	4,20	3,38	,496
Environmental Sensitivity Scale	78	1,17	3,00	2,07	,383

According to the data in Table 8, the average score for participants' empathetic tendencies was 3.38, while the average score for environmental awareness was 2.07. Based on these findings, it can be concluded that university students exhibit moderate levels of both empathetic tendencies and environmental awareness.

Correlation Analysis of the Scales

Tablo 9. The relationship between empathy level and environmental awareness

Scales		Empathic Tendency	Environmental Sensitivity
Empathic Tendency	Pearson Correlation	1	,551**
	Sig. (2-tailed)		,000
	N	78	78
Environmental Sensitivity	Pearson Correlation	,551**	1
	Sig. (2-tailed)	,000	
	N	78	78
**. Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).			

According to Table 9, a positive and moderate correlation was found between the level of empathy and environmental awareness ($r = 0.551$; $p < 0.01$). This indicates that as individuals' empathy skills increase, their environmental awareness also tends to increase linearly.

CONCLUSION

This study examined the relationship between university students' empathy skills and their environmental awareness, and significant conclusions were drawn based on the findings. The research, conducted on 78 students enrolled in the Faculty of Economics and Administrative Sciences at a public university during the 2025–2026 academic year, highlights the role of individual psychological characteristics in shaping environmental attitudes.

The most fundamental finding of the study is that there is a statistically significant and positive correlation between university students' empathy skills and their environmental awareness. This result indicates that as individuals' ability to understand and connect with the circumstances of other living beings or future generations (empathy) increases, their sensitivity toward nature and environmental issues (environmental awareness) also rises simultaneously.

In summary, college students with high levels of empathy also tend to have high levels of environmental awareness, and this directly increases their tendency to engage in environmentally friendly behaviors. In this regard, to foster a sustainable environmental consciousness and nature-conservation-focused actions among younger generations, it may be beneficial to focus not only on theoretical environmental education but also on psychosocial programs that strengthen individuals' emotional intelligence and empathy skills

REFERENCES

Açar, S. (2010). *İlköğretim sosyal bilgiler dersinde gözlem gezisi uygulamasının öğrencilerin eleştirel düşünme becerisine ve çevre duyarlılığına etkisi* (Yüksek lisans tezi). Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Çanakkale.

Çiftçi, N. A., & Yüksel A. (2010) Üniversite öğrencilerinin ahlaki yargı yetenekleri ile empati becerileri arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Kuram ve Uygulamada Eğitim Bilimleri/Educational Sciences: Theory & Practice*, 10(2), 683-727.

Çiftçi, H. D., Koçak, N., & Duman, G. (2015). Sağlık ve sosyal alan lisans birinci sınıf öğrencilerinin iletişim ve empatik becerileri arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Cumhuriyet International Journal of Education-CIJE*, 4 (1), 50 – 64.

Dinçyürek, S. (2004). Üniversite öğrencilerinin empatik becerilerinin çeşitli değişkenler açisindan incelenmesi/The Study of the empathic skills of university students from different variables. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 10, 95-116.

Dökmen, Ü. (1988), Empatinin yeni bir modele dayanılarak ölçülmesi ve psikodrama ile geliştirilmesi. *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Dergisi, 2*(1-2); 155-190.

Güngör, H., Göktaş, İ., & Ogelman, G. (2022). Investigation of the envıronmental friendly behaviors, environmental identity and empathy levels of pre-service teachers. *Journal of Research in Education and Teaching*, 11 (3), 104-113

Kervan, Y. (2026). Spor eğitimcilerinin empati kurmadüzeyleri ile elştirel düşünme becerilerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Adıyaman.

Kiper, T., Korkut, A., & Üstün Topal, T. (2017). A research on environmental sensitivity of university students: In the example of Namık Kemal University. *Inonu University Journal of Arts and Design*, 7(16). 112-124.

Koçarslan, H., Kılınç, E., Gedik, A., & Paksoy, M. (2017). Üniversite Öğrencilerinin Çevre Duyarlılıkları Üzerine Bir Araştırma. *Journal of Social And HumanitiesSciences Research (JSHSR)*, 4(5), 1910-1916.

Küçük, B. (2025). Üniversite öğrencilerinin kaygı düzeylerinin empatik beceriyle olan ilişkisinde yapay zekanın rolü. Üsküdar Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Sert, A. (2026). Hemşirelik öğrencilerinin empatik eğilimlerinin kültürlerarası duyarlılık ve beceriye etkisi. Yüksek Lisan Tezi, Gaziantep Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Gaziantep.

Sezgin, E., Yağcı, F. ve Arıcı-Doğan, D. (2021). Üniversite öğrencilerinin empati becerileri, affetme eğilimleri ve aile bütünlük duygusu arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Toplum ve Sosyal Hizmet*, 32(4), 1305-1324.

Zehiroğlu, İ. H. ve Dineri, E. (2025). Üniversite öğrencilerinin çevre bilinci farkındalık düzeylerinin belirlenmesi. *Türk Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 10(1), 16-33.

TÜRKIYE'DE ÖĞRENCILERIN SÖZ VARLIĞININ BELIRLENMESINE YÖNELIK ARAŞTIRMALAR: 2000–2025 DÖNEMININ SISTEMATIK İNCELEMESI

Dr. Mehmet TÜRKYILMAZ
Milli Eğitim Bakanlığı, Cumhuriyet Ortaokulu, 40200, Kırşehir
ORCID ID: 0009-0004-7284-5077

ÖZET

Bu araştırmanın amacı, Türkiye'de öğrencilerin söz varlığını belirlemeye yönelik 2000–2025 döneminde gerçekleştirilen çalışmaları sistematik olarak incelemek ve alandaki araştırma ile yöntem eğilimlerini ortaya koymaktır. Belirlenen dâhil etme ve dışlama ölçütleri sonucunda 76 bağımsız çalışma incelemeye alınmıştır. Bunların 60'ında söz varlığının belirlenmesi araştırmanın temel amacı olup bu çalışmalar 'ana amaç' olarak sınıflandırılmış; 14 çalışma 'ikincil doğrudan ölçüm' 2 çalışma ise 'ölçme aracı geliştirme' kapsamında değerlendirilmiştir. Genel araştırma görünümü 76 bağımsız çalışma üzerinden; örneklem, veri kaynağı, ölçme yaklaşımı, söz varlığı göstergeleri ve çözümleme yöntemlerine ilişkin ayrıntılı analizler ise 60 ana amaç çalışma üzerinden yürütülmüştür. Bulgular, çalışmaların en fazla 2005–2009 döneminde yoğunlaştığını, yüksek lisans tezlerinin ve ortaokul düzeyindeki araştırmaların ağırlıkta olduğunu göstermiştir. Ana amaç çalışmaların %85'i aktif/üretici söz varlığını birincil yönelim olarak benimsemiş; %66,7'sinde temel veri kaynağı yazılı üretim, %78,3'ünde temel ölçme biçimi üretim görevi olmuştur. En sık raporlanan göstergeler toplam kelime (%60,0) ve farklı kelime (%58,3) sayılarıdır. Çalışmaların yalnızca %20'sinde metin/derlem yazılımı, %10'unda ise kelime sayım kuralları açıkça raporlanmıştır. Sonuçlar, Türkiye'de öğrenci söz varlığı araştırmalarının önemli bir birikim oluşturduğunu; ancak aktif/üretici söz varlığına ve yazılı üretime yoğunlaşma ve veri çözümleme süreçlerindeki raporlama farklılıklarının çalışmalar arasındaki karşılaştırılabilirliği sınırladığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: söz varlığı, kelime hazinesi, öğrenci söz varlığı, sistematik inceleme, kelime sıklığı, sözcüksel çeşitlilik

RESEARCH ON DETERMINING STUDENTS' VOCABULARY IN TÜRKİYE: A SYSTEMATIC REVIEW OF THE 2000–2025 PERIOD

ABSTRACT

This study aimed to systematically review research conducted between 2000 and 2025 on the determination of students' vocabulary in Türkiye and to identify the major research and methodological trends in the field. Following the predefined inclusion and exclusion criteria, 76 independent studies were included in the review. In 60 of these studies, determining students' vocabulary constituted the primary research objective; these were classified as primary-focus studies. Fourteen studies were categorized as secondary direct-measurement

studies, while two were classified as measurement-instrument development studies. The overall profile of the literature was examined across all 76 independent studies, whereas detailed analyses of sample characteristics, data sources, measurement approaches, vocabulary indicators, and analytical procedures were conducted using the 60 primary-focus studies. The findings showed that research activity was most concentrated during the 2005–2009 period and that master's theses and studies involving middle school students constituted the largest groups. Among the primary-focus studies, 85% primarily addressed active/productive vocabulary, while written production served as the main data source in 66.7% and production tasks were used as the principal measurement method in 78.3%. The most frequently reported indicators were total word count (60.0%) and the number of distinct words (58.3%). Only 20% of the studies explicitly reported the use of text- or corpus-analysis software, and only 10% clearly described their word-counting rules. Overall, the findings indicate that research on students' vocabulary in Türkiye has generated a substantial body of knowledge. However, the strong emphasis on active/productive vocabulary and written production, together with inconsistencies in reporting data-analysis procedures, limits the comparability of findings across studies.

Keywords: vocabulary, vocabulary knowledge, student vocabulary, systematic review, word frequency, lexical diversity

GİRİŞ

Söz varlığı, bireyin dili anlama ve üretme kapasitesinin temel bileşenlerinden biridir. Öğrencinin sahip olduğu söz varlığının kapsamı ve niteliği; okuma ve dinleme yoluyla anlam kurma, konuşma ve yazma yoluyla düşünceleri ifade etme süreçleriyle yakından ilişkilidir (Baş ve Karadağ, 2012; Özbay ve Melanlıoğlu, 2008). Bu nedenle öğrencilerin farklı eğitim kademelerinde sahip oldukları söz varlığının belirlenmesi, ana dili eğitimi açısından hem dil gelişiminin izlenmesi hem de öğrenci düzeyine uygun eğitimsel içeriklerin geliştirilmesi bakımından önem taşımaktadır.

Söz varlığı yalnızca bireyin bildiği tek tek kelimelerin toplamı değildir. Türkçe literatüründe söz varlığı; kelimelerin yanı sıra deyim, atasözü, ikileme, kalıp söz ve benzeri birimleri kapsayan daha geniş bir yapı olarak ele alınmaktadır (Baş, 2011; Onan, 2016). Formülsel ve çok sözcüklü birimlerin sözcüksel repertuvarın önemli bir parçası olduğu uluslararası literatürde de vurgulanmaktadır (Wray, 2002). Sözcük bilgisinin ise genişlik, derinlik ve kullanım boyutları ile alıcı ve üretici yönleri bulunmaktadır (Henriksen, 1999; Nation, 2001; Webb, 2005).

Öğrenci söz varlığının belirlenmesinde kullanılan yöntem, araştırmanın hangi söz varlığı boyutunu ölçmeyi amaçladığına göre değişmektedir. Yazılı ve sözlü üretim görevleri üretici söz varlığına ilişkin veri sağlarken; standartlaştırılmış veya araştırmacı geliştirmeli testler alıcı kelime bilgisi, kelime bilgisi genişliği ya da belirli sözcüklerin bilinirliği gibi farklı yapıları ölçebilmektedir (Read, 2000; Schmitt, 2010). Alıcı ve üretici kelime bilgisinin aynı yapıymış gibi değerlendirilmemesi gerektiği, bu boyutların gelişim ve ölçüm bakımından farklılaşabildiği gösterilmiştir (Laufer, 1998; Webb, 2005). Bu uluslararası ölçme kaynaklarının önemli bir bölümü ikinci/yabancı dil bağlamında geliştirilmiş olmakla birlikte, alıcı ve üretici ayrımının ve ölçülen yapının açık tanımlanması bakımından bu çalışma için yöntemsel bir çerçeve sunmaktadır.

Türkiye'de öğrenci söz varlığı üzerine yapılan araştırmalarda ortak yöntem sorunu uzun süredir tartışılmaktadır. Kurudayıoğlu ve Karadağ (2005), özellikle 'kelime' kavramının sınırlarının ve sayım biriminin belirlenmesini temel bir yöntemsel gereklilik olarak ele almıştır. Baş (2010, 2011), örneklem, kelime kavramı, sıklık/yaygınlık ve söz varlığı unsurlarının sınıflandırılması bakımından araştırmalar arasında farklılıklar bulunduğunu belirtmiş ve ortak ölçütler önermiştir. Keklik (2016), öğrencilerin yazılı anlatımlarındaki söz varlığını belirlemeye yönelik çalışmalarda öğrenci ve metin sayısı ile özel ad, sayı, deyim, atasözü ve ikilemelerin sayımında önemli farklılıklar bulunduğunu göstermiştir. Göçen ve Okur (2015) ise ortaokula yönelik tezlerde araştırma konusu ve yöntemlerin çeşitlendiğini ortaya koymuştur.

Bu yöntemsel farklılıklar, özellikle toplam kelime ve farklı kelime sayılarının araştırmalar arasında doğrudan karşılaştırılmasını güçleştirmektedir. Tür-birim oranının ve farklı kelime sayısının metin uzunluğuna duyarlı olduğu uzun süredir bilinmektedir (Richards, 1987). Bu sorunu azaltmak amacıyla eğri uyumuna ve örneklemeye dayalı farklı sözcüksel çeşitlilik ölçütleri geliştirilmiş; D/vocd-D, MTLD ve HD-D gibi göstergelerin farklı metin uzunluklarında daha kararlı ölçüm sağlama potansiyeli araştırılmıştır (Jarvis, 2002; Malvern vd., 2004; McCarthy ve Jarvis, 2010). Bestgen (2024) de metin uzunluğu etkisinin sözcüksel çeşitlilik ölçümlerinde güncelliğini koruyan temel bir yöntemsel mesele olduğunu göstermektedir.

Türkçe açısından kelime sayımının bir başka güçlüğü dilin biçimbilimsel yapısından kaynaklanmaktadır. Türkçe, kök ve gövdelere üretim ve çekim eklerinin art arda eklenebildiği eklemeli bir dildir (Oflazer, 1993). Dolayısıyla yüzey biçimi, kök, gövde veya lemma düzeyinde yapılan sayımlar aynı metinden farklı 'farklı kelime' değerleri üretebilir. Kelime sınırlarının, çekimli biçimlerin, özel adların, sayıların, yazım yanlışlarının ve çok sözcüklü

birimlerin nasıl işlendiğinin açık biçimde raporlanması bu nedenle özel önem taşımaktadır (Baş, 2011; Keklik, 2016; Kurudayıoğlu ve Karadağ, 2005).

Türkiye'de söz varlığı çalışmalarını bir araya getiren önceki incelemeler farklı kapsamlarla önemli bir temel oluşturmuştur. Baş ve Karadağ (2012), Türkiye'de ve yurt dışında yapılmış temel söz varlığı araştırmalarını genel özellikleriyle değerlendirmiş; Özbek (2015), Türk Dili ve Edebiyatı alanındaki söz varlığı çalışmalarını içerik ve yöntem bakımından sınıflandıran geniş bir bibliyografik değerlendirme sunmuştur. Göçen ve Okur (2015) ortaokula yönelik lisansüstü tezlere, Keklik (2016) ise öğrencilerin yazılı anlatımlarındaki söz varlığını belirleyen çalışmaların yöntem sorunlarına odaklanmıştır. Türkben (2018), eğitim alanında söz varlığını belirlemeye ve geliştirmeye yönelik lisansüstü çalışmaları ve ders kitabı araştırmalarını birlikte değerlendirerek yazılı anlatım ağırlığı, dar örneklemler, sınıf düzeylerindeki dengesizlikler ve ortak yöntem gereksinimi gibi sorunları ortaya koymuştur. Mevcut çalışma bu birikimi; 2000–2025 dönemini kapsaması, lisansüstü tezlerle birlikte makaleleri de değerlendirmesi, aynı veri/örneklemden üretilen çıktıları bağımsız çalışma düzeyinde tekilleştirmesi ve doğrudan öğrenci söz varlığı ölçümlerini örneklem, veri kaynağı, aktif/üretici ve alıcı yönelim, göstergeler, yazılım ve kelime sayım kuralları bakımından ayrıntılı biçimde kodlaması yönleriyle genişletmektedir.

Bu araştırmanın amacı, Türkiye'de öğrencilerin söz varlığını belirlemeye yönelik 2000–2025 yılları arasında gerçekleştirilen araştırmaları sistematik olarak incelemek ve bu araştırmaların genel ve yöntemsel eğilimlerini ortaya koymaktır.

Araştırma soruları:

Türkiye'de öğrencilerin söz varlığını belirlemeye yönelik çalışmaların yıllara/dönemlere, yayın türlerine ve eğitim kademelerine göre dağılımı nasıldır?

Bu çalışmalarda kullanılan örneklem büyüklükleri, veri kaynakları ve söz varlığını belirleme/ölçme yaklaşımları nelerdir?

Çalışmalarda söz varlığının hangi göstergeleri incelenmiştir?

Çalışmalarda kullanılan kelime çözümleme yöntemleri, yazılımlar ve kelime sayım kuralları bakımından hangi yöntemsel eğilimler ve eksiklikler bulunmaktadır?

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Yöntem

Araştırma Deseni

Bu çalışma, belirli bir araştırma alanındaki mevcut bilgi birikimini açık ölçütlerle belirlemeyi, sınıflandırmayı ve sentezlemeyi amaçlayan sistematik inceleme yaklaşımıyla yürütülmüştür.

Sistematik incelemelerde araştırma sorularının, arama ve seçim ölçütlerinin, veri çıkarma sürecinin ve analiz kararlarının açık biçimde raporlanması şeffaflık ve yinelenebilirlik açısından önemlidir (Newman ve Gough, 2020; Snyder, 2019). Bu çalışmada etki büyüklüklerinin birleştirilmesine yönelik meta-analiz yapılmamış; çalışmaların betimsel ve yöntemsel özellikleri sistematik biçimde haritalanmıştır.

Kapsam, Dâhil Etme ve Dışlama Ölçütleri

İncelemenin zaman aralığı 2000–2025 olarak belirlenmiştir. Türkiye'de ana dili Türkçe olan ilkokul, ortaokul, lise ve üniversite öğrencilerinin mevcut söz varlığını doğrudan belirleyen veya ölçen lisansüstü tezler ve makaleler çalışma kapsamına alınmıştır. Tarama dönemi 2000–2025 olmakla birlikte nihai veri setindeki çalışmalar 2001–2024 yılları arasında yer almaktadır; 2000 ve 2025 yıllarında ölçütleri karşılayan bir çalışma belirlenmemiştir.

Aktif/üretici yazılı ve sözlü söz varlığı, alıcı söz varlığı, kelime bilgisi, toplam ve farklı kelime sayıları, sıklık/yaygınlık, kelime hazinesi katsayısı ile deyim, atasözü, ikileme ve kalıp söz gibi söz varlığı unsurlarının doğrudan öğrenci verisi üzerinden belirlenmesi dâhil etme ölçütü olarak kabul edilmiştir. Dâhil edilen çalışmalar ayrıca üç grupta kodlanmıştır: söz varlığının belirlenmesini temel araştırma amacı olarak ele alanlar 'ana amaç' söz varlığını doğrudan ölçmekle birlikte başka bir değişken veya beceriyle ilişkisi içinde kullananlar 'ikincil doğrudan ölçüm' söz varlığını ölçmeye yönelik araç geliştirenler ise 'ölçme aracı geliştirme' olarak sınıflandırılmıştır.

Kelime öğretimi veya söz varlığını artırmaya yönelik müdahale çalışmaları; yalnızca ders kitabı, çocuk kitabı, medya ya da sınav materyallerini inceleyen çalışmalar; öğrencilerin görüş, tutum, motivasyon veya sözlük kullanma alışkanlıklarına odaklanan araştırmalar; Türkçeyi yabancı/ikinci dil olarak öğrenen gruplar ve sonuçları tipik gelişim gösteren öğrencilerden ayrıştırılamayan özel/klinik örneklemler dışlanmıştır. Materyal ve öğrenci verisini birlikte içeren çalışmalar ise öğrencinin mevcut söz varlığını doğrudan ve ayrıştırılabilir biçimde ölçmesi hâlinde dâhil edilmiştir.

Tarama ve Çalışmaların Seçimi

Çalışmalar YÖK Ulusal Tez Merkezi, DergiPark, TR Dizin, üniversitelerin açık erişim arşivleri/kurumsal sayfaları ve ilgili bibliyografik kaynaklar üzerinden taranmıştır. 'Söz varlığı' 'kelime hazinesi' 'sözcük dağarcığı' 'kelime serveti' 'aktif kelime' 'pasif kelime' 'alıcı söz varlığı' 'üretici söz varlığı' 'kelime sıklığı' 'kelime bilgisi' 'deyim' 'atasözü' 'ikileme' ve 'kalıp söz' başta olmak üzere ilgili terim kombinasyonları kullanılmıştır. Google Scholar ve

ikincil bibliyografik çalışmalar, ana tarama kaynaklarında bulunan kayıtların çapraz kontrolü için kullanılmıştır.

Tarama 2000–2004, 2005–2009, 2010–2014, 2015–2019 ve 2020–2025 dönemleri hâlinde yürütülmüş; uygunluğu kesin olmayan kayıtlar tam metin düzeyinde değerlendirilmiştir. Aynı örneklem veya veri setinden üretilen tez ve makaleler ayrı akademik çıktılar olarak kaydedilmiş, ancak bağımsız araştırma sayısında yalnızca bir kez sayılmıştır. Sekiz bağımsız çalışmada birden fazla akademik çıktı bulunduğundan yayın türü dağılımında temsilci yayın türü kullanılmış; lisansüstü tez mevcutsa tez temsilci çıktı olarak kabul edilmiş ve çoklu akademik çıktı durumu ayrıca kodlanmıştır.

Nihai veri seti 76 bağımsız çalışmadan oluşmaktadır: 60 ana amaç çalışma, 14 ikincil doğrudan ölçüm çalışması ve 2 ölçme aracı geliştirme çalışması. İlk taramada elde edilen toplam kayıt ile başlık/özet aşamasında elenen kayıt sayıları mevcut çalışma kayıtlarından güvenilir biçimde geriye dönük oluşturulamadığı için bu sayılar tahmin edilmemiştir. PRISMA 2020, seçim ve raporlama sürecinin şeffaf sunumuna ilişkin bir raporlama referansı olarak dikkate alınmış; ancak başlangıç kayıt sayılarının eksikliği nedeniyle çalışma için tam PRISMA uyumu veya eksiksiz bir PRISMA akış şeması iddiasında bulunulmamıştır (Page vd., 2021).

Veri Çıkarma ve Kodlama

İncelemeye alınan çalışmalar için standart bir veri çıkarma formu hazırlanmıştır. Formda yıl, yayın türü, eğitim kademesi, sınıf düzeyi, örneklem büyüklüğü, veri türü, söz varlığı türü, toplam kelime, farklı kelime, kelime hazinesi katsayısı, sıklık/yaygınlık, deyim, atasözü, ikileme, kalıp söz, kullanılan yazılım ve kelime sayım kuralları kaydedilmiştir. Ayrıca veri kaynakları, ölçme biçimleri ve ölçüm yönelimleri ortak kategorilere dönüştürülmüştür. Birden fazla eğitim kademesini kapsayan çalışmalar hem ‘kademeler arası’ tekil kategorisinde hem de çoklu yanıt analizinde kapsadıkları her kademede kodlanmıştır. Kaynakta açık biçimde belirtilmeyen bilgiler tahmin edilmemiş ve ‘raporlanmadı’ olarak korunmuştur.

Verilerin Analizi

Genel araştırma görünümüne ilişkin analizler 76 bağımsız çalışma üzerinden yapılmıştır. Örneklem, veri kaynağı, ölçme yaklaşımı, söz varlığı göstergeleri, yazılım ve kelime sayım prosedürlerine ilişkin ayrıntılı analizlerde söz varlığını belirlemeyi temel amaç olarak ele alan 60 çalışma esas alınmıştır. Kategorik değişkenler frekans ve yüzde değerleriyle; örneklem büyüklüğü ise uygun olduğu durumlarda medyan, minimum ve maksimum değerlerle özetlenmiştir. Çoklu yanıt analizlerinde aynı çalışma birden fazla kategoriye girebildiğinden yüzdelerin toplamı %100’ü aşabilmektedir. Farklı örneklem, görev, metin uzunluğu ve kelime

sayım ilkeleri nedeniyle çalışmaların mutlak toplam/farklı kelime değerleri birleştirilmemiş ve çalışmalar arası başarı sıralaması amacıyla kullanılmamıştır (Bestgen, 2024; Jarvis, 2002; McCarthy ve Jarvis, 2010; Richards, 1987).

Bulgular

Araştırmaların Genel Görünümü

Birinci araştırma sorusu kapsamında çalışmaların dönemlere, temsilci yayın türlerine ve eğitim kademelerine göre dağılımı ayrı tablolar hâlinde incelenmiştir.

Tablo 1. Çalışmaların dönemlere göre dağılımı

Dönem	Tüm çalışmalar n	Tüm %	Ana amaç n	Ana amaç %
2000–2004	1	1,3	1	1,7
2005–2009	23	30,3	22	36,7
2010–2014	17	22,4	16	26,7
2015–2019	21	27,6	14	23,3
2020–2025	14	18,4	7	11,7

Tablo 1'e göre çalışmaların en yoğun olduğu dönem 2005–2009'dur. Ana amaç çalışmalar bakımından da aynı dönem ilk sıradadır. 2020–2025 döneminde ise ana amaç çalışma sayısının önceki üç döneme göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu dağılım, araştırma üretiminin dönemler arasında dengeli bir seyir izlemediğini göstermektedir.

Tablo 2. Çalışmaların temsilci yayın türüne göre dağılımı

Yayın türü	Tüm çalışmalar n	Tüm %	Ana amaç n	Ana amaç %
Doktora	10	13,2	6	10,0
Makale	30	39,5	20	33,3
Yüksek lisans	36	47,4	34	56,7

Yayın türleri bakımından yüksek lisans tezleri hem genel inceleme evreninde hem de ana amaç çalışmalar arasında en büyük grubu oluşturmaktadır. Bu görünüm, incelenen dönemde alan yazındaki araştırma üretiminin önemli bir bölümünün lisansüstü tezler üzerinden şekillendiğini göstermektedir.

Tablo 3. Ana amaç çalışmaların eğitim kademesine göre tekil sınıflaması

Eğitim kademesi	n	%
İlkokul	18	30,0
Ortaokul	28	46,7
Lise	4	6,7
Üniversite	5	8,3

Eğitim kademesi	n	%
Kademeler arası	5	8,3

Tekil sınıflamada ortaokul düzeyi %46,7 ile en fazla incelenen eğitim kademesidir. Lise ve üniversite düzeyindeki çalışmalar daha sınırlıdır.

Tablo 4. Ana amaç çalışmaların eğitim kademesi kapsamı (çoklu yanıt)

Eğitim kademesi	n	%
İlkokul	23	38,3
Ortaokul	33	55,0
Lise	9	15,0
Üniversite	8	13,3

Not: *Bir çalışma birden fazla eğitim kademesini kapsayabildiği için yüzdelerin toplamı %100'ü aşabilir.*

Çoklu yanıt analizi de ortaokul düzeyindeki yoğunlaşmayı doğrulamaktadır; ana amaç çalışmaların %55'i ortaokul öğrencilerini kapsamaktadır.

Örneklem, Veri Kaynakları ve Ölçme Yaklaşımları

Tablo 5. Ana amaç çalışmaların örneklem büyüklüğüne ilişkin özellikleri

Örneklem göstergesi	n / değer	% / açıklama
Örneklem n raporlanan çalışma	39	65,0
Örneklem n raporlanmayan çalışma	21	35,0
Medyan örneklem büyüklüğü	90	n raporlananlar
En küçük örneklem	19	n raporlananlar
En büyük örneklem	3135	n raporlananlar
<50 öğrenci	8	20,5
50–99 öğrenci	14	35,9
100–199 öğrenci	7	17,9
200–499 öğrenci	7	17,9
≥500 öğrenci	3	7,7

Not: *Örneklem büyüklüğü bantlarına ait yüzdeler n değeri raporlanan 39 çalışma üzerinden hesaplanmıştır.*

Ana amaç çalışmaların %65'inde örneklem büyüklüğü standardize edilebilir biçimde belirlenebilmiştir. Raporlanan çalışmalarda medyan örneklem 90'dır ve örneklemlerin çoğu 50–99 öğrenci aralığında toplanmaktadır. En küçük ve en büyük örneklem değerleri arasındaki geniş aralık, çalışmaların örneklem ölçeği bakımından belirgin bir çeşitlilik gösterdiğine işaret etmektedir.

Tablo 6. Ana amaç çalışmalarda kullanılan veri kaynakları

Veri kaynağı	n	%
Yazılı üretim	40	66,7
Sözlü üretim	6	10,0
Yazılı + sözlü üretim	1	1,7
Görüşme temelli sözlü üretim	1	1,7
Dijital doğal yazılı üretim	1	1,7
Standartlaştırılmış kelime testi	2	3,3
Araştırmacı geliştirmeli test/ölçüm	4	6,7
Karma: anket + yazılı üretim	1	1,7
Karma: test + yazılı kullanım	1	1,7
Karma: anlam + cümlede kullanım	1	1,7
Boylamsal kelime ölçümü/kontrol listesi	1	1,7
Doğrudan kelime kullanım sıklığı verisi	1	1,7

Veri kaynağı bakımından belirgin bir yazılı üretim ağırlığı vardır. Çalışmaların üçte ikisi öğrencilerin yazılı ürünlerini temel veri kaynağı olarak kullanmıştır. Bu örüntü, söz varlığı verisinin çoğunlukla öğrencinin üretim performansı üzerinden elde edildiğini göstermektedir.

Tablo 7. Ana amaç çalışmalarda kullanılan ölçme biçimleri

Ölçme biçimi	n	%
Üretim görevi	47	78,3
Standartlaştırılmış test	2	3,3
Araştırmacı geliştirmeli test/ölçüm	4	6,7
Karma ölçüm	3	5,0
Boylamsal doğrudan ölçüm	1	1,7
Doğrudan kullanım verisi	1	1,7
Yapılandırılmış görüşme	1	1,7
Doğal dil verisi	1	1,7

Ölçme biçiminde üretim görevleri %78,3 ile açık biçimde baskındır. Standartlaştırılmış test ve doğal dil verisi gibi alternatif ölçüm biçimleri daha sınırlı kullanılmıştır. Bu dağılım, ölçme yaklaşımındaki üretim ağırlığının veri kaynaklarındaki genel yönelimle paralel olduğunu göstermektedir.

Tablo 8. Ana amaç çalışmaların birincil ölçüm yönelimi

Birincil ölçüm yönelimi	n	%
Aktif/üretici	51	85,0
Alıcı	2	3,3
Kelime bilgisi/kazanım	2	3,3
Kelime/deyim bilgisi-kazanım	1	1,7
Karma: bilgi + kullanım	3	5,0
Kelime dağarcığı gelişimi/ölçümü	1	1,7

Birincil ölçüm yöneliminde aktif/üretici söz varlığı %85 ile belirgin biçimde öne çıkmaktadır. Alıcı söz varlığını birincil olarak ele alan çalışma sayısı yalnızca ikidir. Bu dağılım, öğrenci söz varlığının üretimde gözlenebilen boyutunun diğer ölçüm yönelimlerine göre belirgin biçimde daha fazla incelendiğini göstermektedir.

İncelenen Söz Varlığı Göstergeleri

Tablo 9. Ana amaç çalışmalarda raporlanan nicel söz varlığı göstergeleri

Nicel gösterge	n	%
Toplam kelime	36	60,0
Farklı kelime	35	58,3
Kelime hazinesi katsayısı	8	13,3
Sıklık/yaygınlık	10	16,7

Nicel göstergeler içinde toplam kelime ve farklı kelime sayıları en sık kullanılan iki ölçüttür. Kelime hazinesi katsayısı ile sıklık/yaygınlık daha az sayıda çalışmada raporlanmıştır. Böylece nicel ölçümlerde kelime miktarı ve çeşitliliğine ilişkin temel göstergelerin öne çıktığı, diğer nicel boyutların ise daha sınırlı temsil edildiği görülmektedir.

Tablo 10. Ana amaç çalışmalarda incelenen kalıplaşmış söz varlığı unsurları

Söz varlığı unsuru	n	%
Deyim	16	26,7
Atasözü	11	18,3
İkileme	10	16,7
Kalıp söz	2	3,3

Kalıplaşmış söz varlığı unsurları içinde en fazla deyimler incelenmiş, kalıp sözler ise yalnızca iki çalışmada ele alınmıştır.

Yazılım Kullanımı ve Kelime Sayım Kuralları

Tablo 11. Ana amaç çalışmalarda açıkça raporlanan yazılım ve araçlar

Yazılım / araç	n	%
Herhangi bir metin/derlem yazılımı	12	20,0
Simple Concordance 4.07	7	11,7
CİBAKAYA 2.2/2.3	3	5,0
ConcApp	1	1,7
MAXQDA 12	1	1,7
SPSS	8	13,3
Microsoft Excel	4	6,7

Not. Yazılım kategorileri çoklu yanıt niteliğindedir; aynı çalışmada birden fazla araç raporlanmış olabilir.

Metin/derlem çözümlemesine yönelik bir yazılım yalnızca 12 çalışmada açıkça raporlanmıştır. Simple Concordance 4.07 bu grupta en sık belirtilen araçtır.

Tablo 12. Kelime sayım kurallarının raporlanma durumu

Raporlama durumu	n	%
Açıkça raporlandı	6	10,0
Raporlanmadı	54	90,0

Kelime sayım kurallarının açıkça raporlandığı çalışmalar yalnızca %10'dur. Bu bulgu, kelime birimi (token) tanımı, kök/gövde tercihi, özel ad ve sayılar, normalizasyon ve çok sözcüklü birimlerin işlenmesi gibi kararların çoğu çalışmada yeterince görünür olmadığını göstermektedir. Yazılım raporlamasının da sınırlı olmasıyla birlikte değerlendirildiğinde, veri işleme süreçlerinin izlenebilirliğine ilişkin açıklığın genel olarak düşük kaldığı görülmektedir.

Tartışma

Bu bölümde araştırma bulguları, araştırma soruları ve inceleme sonucunda ortaya çıkan temel eğilimler doğrultusunda dört ana tema altında tartışılmıştır. Bu temalar; araştırma üretiminin dönemsel ve eğitim kademelerine göre dağılımı, ölçüm yönelimi ve veri kaynakları, kullanılan söz varlığı göstergeleri ve çalışmalar arası karşılaştırılabilirlik ile kelime sayım kuralları, Türkçenin biçimbilimsel özellikleri ve yazılım kullanımındaki yöntemsel şeffaflık olarak belirlenmiştir. Böylece bulguların yalnızca betimsel olarak sunulması değil, önceki araştırmalar ve yöntemsel tartışmalar bağlamında bütüncül biçimde değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Araştırma Üretimi ve Eğitim Kademelerindeki Dağılım

Bu sistematik inceleme, Türkiye'de öğrenci söz varlığı araştırmalarının önemli bir birikime ulaştığını; ancak araştırma yoğunluğunun dönem, eğitim kademesi ve yöntemsel tercih bakımından dengeli olmadığını göstermektedir. Önceki değerlendirmelerde de veri ve yöntem farklılıklarının çalışmaların karşılaştırılabilirliğini sınırladığı vurgulanmıştır (Baş, 2010, 2011; Baş ve Karadağ, 2012; Keklik, 2016; Türkben, 2018). Mevcut çalışma, bu tartışmayı 2000–2025 dönemindeki 76 bağımsız çalışmayı kapsayan güncellenmiş ve tekilleştirilmiş bir veri seti üzerinden sürdürmektedir.

Çalışma üretiminin en yüksek olduğu dönem 2005–2009'dur; 2020–2025 döneminde ise ana amaç çalışma sayısı daha düşüktür. Yayın türü bakımından yüksek lisans tezlerinin belirgin ağırlığı da dikkat çekmektedir. Bu sonuç, kapsamı yalnızca ortaokula yönelik lisansüstü tezlerle sınırlı olmakla birlikte, Göçen ve Okur'un (2015) inceledikleri tezlerin büyük bölümünün yüksek lisans düzeyinde olduğunu, doktora tezlerinin yetersiz kaldığını ve 2007 sonrasında tez sayısında azalma görüldüğünü bildiren bulgularıyla benzer bir örüntü göstermektedir. Ancak iki çalışmanın dönem ve kapsamları farklı olduğundan bu benzerlik doğrudan zaman eğilimi eşdeğerliği olarak değil, lisansüstü araştırma yapısına ilişkin destekleyici bir karşılaştırma olarak değerlendirilmelidir.

Eğitim kademeleri bakımından bu incelemenin özgün bulgularından biri ortaokul düzeyindeki yoğunlaşmadır. Ana amaç çalışmaların tekil sınıflamada %46,7'si, çoklu yanıt analizinde ise %55,0'ı ortaokul öğrencilerini kapsamaktadır. Göçen ve Okur'un (2015) çalışması yalnızca ortaokula yönelik tezleri incelediği için eğitim kademeleri arasında dağılım hakkında doğrudan kanıt sunmamaktadır; buna karşılık ortaokul söz varlığı literatürünün kendi başına kapsamlı bir lisansüstü çalışma alanı oluşturduğunu göstermektedir. Türkben (2018) ise söz varlığını belirlemeye yönelik lisansüstü çalışmalarda genel olarak ikinci kademe öğrencilerinin öne çıktığını; okul öncesi, ilkokul ve ortaöğretim düzeyindeki çalışmaların daha sınırlı kaldığını bildirmiştir. Mevcut incelemede lise ve üniversite düzeylerinin daha sınırlı temsil edilmesi de söz varlığındaki gelişimsel değişimin ilkokuldan yükseköğretime ortak ölçütlerle izlenmesini güçleştirmektedir.

Örneklem büyüklüğü de bulguların genellenebilirliği bakımından dikkate alınması gereken bir başka noktadır. Örneklem büyüklüğü açık biçimde belirlenebilen 39 ana amaç çalışmanın 22'si (%56,4) 100'den az öğrenciyle yürütülmüş; medyan örneklem büyüklüğü 90 olarak hesaplanmıştır. Türkben (2018) de öğrencilerin söz varlığını belirlemeye yönelik önceki lisansüstü çalışmalarda genellikle dar örneklemlerin tercih edildiğini ve Türkiye'yi temsil

edecek daha geniş örneklemli araştırmalara ihtiyaç bulunduğunu belirtmiştir. Bu durum, özellikle ulusal düzeyde genelleme yapılması hedeflenen araştırmalarda çok bölgeli ve daha geniş örneklem tasarımlarının önemini göstermektedir.

Ölçüm Yönelimi ve Veri Kaynakları

İncelemenin en belirgin yöntemsel sonucu aktif/üretici söz varlığı ile yazılı üretimin baskınlığıdır. Alıcı ve üretici kelime bilgisinin birbirinin özdeş ölçümleri olmadığına ilişkin ayrım, büyük ölçüde ikinci/yabancı dil ölçme literatüründe geliştirilmiş olmakla birlikte, ölçülen yapının açık tanımlanması açısından önemli bir yöntemsel çerçeve sunmaktadır (Henriksen, 1999; Laufer, 1998; Nation, 2001; Read, 2000; Webb, 2005). Bu çerçeveden bakıldığında ana amaç çalışmaların %85'inin aktif/üretici söz varlığına yönelmesi, buna karşılık yalnızca %3,3'ünün alıcı söz varlığını birincil olarak ele alması, Türkiye'de öğrenci söz varlığı araştırmalarının sözlüksel repertuvarın üretimde görünür olan bölümüne daha fazla odaklandığını göstermektedir.

Yazılı üretim ağırlığı, Türkçe söz varlığı literatüründeki önceki değerlendirmelerle de örtüşmektedir. Baş ve Karadağ (2012), inceledikleri temel çalışmaların büyük çoğunluğunun yazılı kelime sıklığı üzerine olduğunu ve konuşma diline yönelik çalışmaların yazılı dile göre çok sınırlı kaldığını belirtmiştir. Göçen ve Okur (2015) ortaokul tezlerinde verilerin çoğunlukla doküman analizi ve öğrencilerin yazılı anlatımlarından elde edildiğini, konuşma diline yönelik yalnızca bir çalışmaya rastladıklarını bildirmiştir. Türkben (2018) de söz varlığını belirlemeye yönelik çalışmaların büyük bölümünün yazılı anlatım üzerine gerçekleştirildiğini ve sözlü anlatım araştırmalarının sınırlı kaldığını vurgulamıştır. Esgin (2016) ise yurt dışındaki söz varlığı araştırmalarında farklı veri kaynakları, derlemler ve ölçme yaklaşımlarının kullanıldığını göstermektedir. Bu karşılaştırma, yazılı ve sözlü üretimi birlikte ele alan ve uygun durumlarda doğal/dijital dil verilerinden yararlanan tasarımların Türkiye'deki yöntem çeşitliliğini artırabileceğine işaret etmektedir.

Söz Varlığı Göstergeleri ve Karşılaştırılabilirlik

Toplam kelime ve farklı kelime sayılarının en sık kullanılan göstergeler olması, çalışmalar arası karşılaştırılabilirlik açısından dikkatle ele alınmalıdır. Tür-birim oranı ve farklı kelime sayısının metin uzunluğuna duyarlı olduğu; bu nedenle farklı uzunluktaki metinlerin doğrudan karşılaştırılmasının yanıltıcı olabileceği ölçme literatüründe uzun süredir tartışılmaktadır (Jarvis, 2002; Richards, 1987). Bu sorunu azaltmak amacıyla D/vocd-D, MTLD ve HD-D gibi alternatif sözcüksel çeşitlilik ölçütleri geliştirilmiş ve farklı veri setlerinde değerlendirilmiştir (Bestgen, 2024; Malvern vd., 2004; McCarthy ve Jarvis, 2010). Bu kaynaklar doğrudan Türkçe

ana dili verisine ilişkin normlar sunmamakla birlikte, ölçümün metin uzunluğu ve hesaplama yönteminden etkilenebileceğini gösteren genel bir yöntemsel uyarı sağlamaktadır. Bu nedenle mevcut incelemede farklı görev ve uzunluklarda üretilen metinlerin mutlak toplam/farklı kelime değerleri birleştirilmemiştir.

Deyim, atasözü, ikileme ve kalıp söz gibi çok sözcüklü birimlerin dağılımı, söz varlığının yalnızca tek kelime düzeyinde ele alınmaması gerektiğini göstermektedir. Formülsel ve kalıplaşmış dil birimlerinin sözcüksel repertuvarın önemli bir parçası olduğu genel dil edinimi ve sözcük işleme literatüründe vurgulanmaktadır (Wray, 2002). Bununla birlikte bu kaynak doğrudan Türkçe öğrenci söz varlığına ilişkin bir sıklık ölçütü sunmamaktadır; burada çok sözcüklü birimlerin kavramsal önemini desteklemek amacıyla kullanılmaktadır. Mevcut veri setinde deyimler görece daha sık incelenirken kalıp sözlerin yalnızca iki çalışmada ele alınması, çok sözcüklü söz varlığı unsurlarının araştırma gündeminde eşit ölçüde temsil edilmediğini göstermektedir.

Kelime Sayım Kuralları, Biçimbilim ve Yazılım Şeffaflığı

Kelime sayım kurallarının yalnızca %10 oranında açıkça raporlanması, mevcut incelemenin en önemli yöntemsel bulgularından biridir. Bu sonuç, Türkiye'de söz varlığı araştırmalarında ortak ölçüt ihtiyacını vurgulayan önceki çalışmalarla doğrudan ilişkilidir. Kurudayıoğlu ve Karadağ (2005) kelime kavramının sınırlarının ve sayım biriminin belirlenmesini; Baş (2011) hedef kitle, kelime, sıklık/yaygınlık ve söz varlığı unsurlarına ilişkin ortak ölçütlerin geliştirilmesini; Keklik (2016) ise öğrenci yazılarındaki özel ad, sayı ve kalıplaşmış birimlerin işlenmesi dâhil veri analizi kararlarının açıklığa kavuşturulmasını tartışmıştır. Türkben (2018) de söz varlığını belirleme çalışmalarında ortak yöntem sorununun sürdüğünü ve sonuçların sağlıklı karşılaştırılabilmesi için ortak ölçütlere ihtiyaç bulunduğunu belirtmiştir. Dolayısıyla düşük raporlama oranı yalnızca biçimsel bir yazım eksikliği değil, önceki literatürde tanımlanan karşılaştırılabilirlik sorununun güncel bir görünümüdür.

Bu sorun Türkçenin eklemeli biçimbilimsel yapısı nedeniyle ayrıca önemlidir. Oflazer (1993), Türkçede kök ve gövdelere üretim ve çekim eklerinin sistematik biçimde eklenerek çok sayıda yüzey biçiminin üretilebildiğini göstermektedir. Bu nedenle yüzey biçimi, kök, gövde veya lemma düzeyinde yapılacak sayımlar aynı veri üzerinde farklı sonuçlar üretebilir. Bir çalışmada "farklı kelime" sayısının neyi temsil ettiğinin anlaşılabilmesi için kelime birimi (token) tanımı ile kök/gövde/lemma kararının açık biçimde belirtilmesi gerekir. Bu gereklilik, Türkçe söz varlığı araştırmalarında kelime kavramının sınırlandırılmasını temel bir yöntem sorunu olarak ele alan Kurudayıoğlu ve Karadağ'ın (2005) yaklaşımıyla da uyumludur.

Metin veya derlem çözümleme yazılımının yalnızca çalışmaların %20'sinde açıkça raporlanmış olması da yöntemsel şeffaflık açısından dikkate değerdir. Türkben (2018), daha önceki lisansüstü çalışmalarda Microsoft Word/Excel, CİBAKAYA, Simple Concordance ve ConcApp gibi farklı araçların kullanıldığını; buna karşın bazı çalışmalarda verilerin nasıl toplandığı ve incelendiğine ilişkin yeterli bilgi verilmediğini belirtmiştir. Mevcut bulgular bu sorunun daha güncel ve daha geniş bir çalışma havuzunda da sürdüğünü göstermektedir. Bununla birlikte yeniden üretilebilirlik yalnızca program adının verilmesine indirgenemez. Metnin nasıl temizlendiği, yazım yanlışlarının düzeltilip düzeltilmediği, özel ad ve sayıların nasıl işlendiği, çekimli biçimlerin nasıl birleştirildiği ve deyim/kalıp söz gibi çok sözcüklü birimlerin hangi kuralla kodlandığı da açıklanmalıdır (Baş, 2011; Keklik, 2016; Türkben, 2018).

Tartışma bulguları birlikte değerlendirildiğinde, Türkiye'de öğrenci söz varlığı araştırmalarında temel sorun yalnızca belirli kademelerin veya ölçüm yönelimlerinin az incelenmesi değildir. Daha temel sorun, farklı örneklem, görev, kelime birimi ve veri işleme kararlarının yeterince standartlaştırılmaması ve raporlanmamasıdır. Bu nedenle gelecekteki araştırma gündeminin iki paralel hedef taşıması gerekmektedir: araştırma boşluklarını yeni verilerle doldurmak ve üretilen veriyi ortak, açık ve yeniden uygulanabilir çözümleme ilkeleriyle raporlamak.

Sınırlılıklar

Bu inceleme bazı sınırlılıklar çerçevesinde değerlendirilmelidir. İlk olarak, 2000–2025 döneminde yürütülen taramanın nihai dâhil edilen çalışma sayısı güvenilir biçimde doğrulanmış olsa da ilk aramada ulaşılan toplam kayıt ve başlık/özet aşamasında elenen kayıtların sayısı geriye dönük olarak eksiksiz biçimde yeniden oluşturulamamıştır. Sistematik incelemelerde kayıtların tanımlanması ve seçim sürecinin ayrıntılı raporlanması önemli olduğundan (Page vd., 2021), bu eksiklik açık biçimde belirtilmiş ve eksik sayılar tahmin yoluyla tamamlanmamıştır.

İkinci olarak, bazı eski tez ve çalışmaların tam metinlerine erişim sınırlı olduğundan örneklem, kelime sayım kuralı veya kullanılan yazılım gibi bazı değişkenler erişilebilir kaynaklarda raporlanmadığı ölçüde "raporlanmadı" olarak kodlanmıştır. Dolayısıyla bir yöntemin raporlanmamış olması, o yöntemin kesinlikle uygulanmadığı anlamına gelmemektedir.

Üçüncü olarak bu çalışma araştırmaların betimsel ve yöntemsel özelliklerini sistematik biçimde haritalamış, ancak çalışmalar için ayrı bir risk-of-bias ya da metodolojik kalite puanı

üretmemiştir. Bu nedenle frekansların yüksek olması belirli bir yöntemin daha yüksek kaliteli veya daha geçerli olduğu şeklinde yorumlanmamalıdır.

Son olarak, örneklem, görev, metin uzunluğu ve kelime sayım kuralları arasındaki farklılıklar nedeniyle çalışmalardaki mutlak toplam ve farklı kelime sayıları birleştirilmemiş veya öğrenci grupları arasında doğrudan başarı karşılaştırması yapmak amacıyla kullanılmamıştır. Bu karar, sözcüksel çeşitlilik ölçümlerinin metin uzunluğuna ve hesaplama yöntemine duyarlı olduğuna ilişkin literatürle uyumludur (Bestgen, 2024; Jarvis, 2002; McCarthy ve Jarvis, 2010; Richards, 1987).

SONUÇ

Bu sistematik inceleme, Türkiye'de öğrencilerin söz varlığını belirlemeye yönelik araştırmaların 2000–2025 döneminde önemli bir birikim oluşturduğunu, ancak bu birikimin eğitim kademesi, söz varlığı boyutu ve yöntemsel raporlama bakımından dengesiz olduğunu göstermiştir.

Araştırmaların ortaokul, aktif/üretici söz varlığı ve yazılı üretim üzerinde yoğunlaşması; lise ve üniversite düzeyi, alıcı söz varlığı, sözlü üretim ve doğal/dijital dil verilerinin daha sınırlı incelendiğini göstermektedir. Bu nedenle gelecek araştırmalarda farklı bölgeleri ve eğitim kademelerini kapsayan daha geniş örneklemli, çok merkezli ve uygun durumlarda boylamsal tasarımlara öncelik verilmesi; aynı ölçme ve çözümleme protokollerinin farklı kademelerde uygulanarak gelişimsel eğilimlerin karşılaştırılabilir biçimde izlenmesi yararlı olacaktır.

Söz varlığı göstergelerinde toplam ve farklı kelime sayılarının baskınlığına karşılık sıklık/yaygınlık, daha gelişmiş sözcüksel çeşitlilik ölçütleri ve kalıplaşmış söz varlığı unsurlarının daha sınırlı kullanıldığı görülmektedir. Gelecek araştırmalarda tek bir gösterge yerine birden fazla tamamlayıcı ölçütün birlikte kullanılması daha kapsamlı bir öğrenci söz varlığı profili sağlayabilir. Ayrıca metin uzunluğu etkisini azaltmayı amaçlayan sözcüksel çeşitlilik ölçütlerinin Türkçe öğrenci verileri üzerinde sınanması ve Türkçenin biçimbilimsel özelliklerine uygun kullanım ilkelerinin belirlenmesi önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır.

En belirgin yöntemsel gereksinim ortak kelime çözümleme ve raporlama standartlarının geliştirilmesidir. Araştırmalarda kelime biriminin (token) nasıl tanımlandığı, kök/gövde veya lemma tercihi, çekimli biçimler, özel adlar, sayılar, yazım hatalarının normalizasyonu, tekrarlar ve çok sözcüklü birimlerin hangi kurallarla işlendiği açık biçimde belirtilmelidir. Bunun yanında veri temizleme ve dönüştürme adımları ile kullanılan yazılımın adı ve sürümü yeniden uygulanabilirliği destekleyecek ayrıntıda raporlanmalıdır.

Bu doğrultuda, Türkçe öğrenci söz varlığı araştırmaları için ortak bir veri işleme ve raporlama çerçevesinin geliştirilmesi alan açısından öncelikli bir gereksinim olarak değerlendirilebilir. Böyle bir çerçevede veri toplama görevinin özellikleri ve metin uzunluğunun yanı sıra kelime sınırı, lemmatizasyon/kökleştirme, normalizasyon ve kalıplaşmış birimlerin kodlanmasına ilişkin kararların standart biçimde belgelenmesi önerilmektedir. Bu yaklaşım, farklı araştırma gruplarınca üretilen verilerin daha sağlıklı karşılaştırılmasına ve çözümleme süreçlerinin yeniden uygulanabilirliğine katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak, alanın bundan sonraki gelişiminde yalnızca yeni öğrenci söz varlığı verilerinin üretilmesi değil; eğitim kademeleri ve ölçüm yönelimleri arasındaki araştırma boşluklarının azaltılması, kullanılan göstergelerin çeşitlendirilmesi ve çalışmaların karşılaştırılabilir, yinelenebilir ve yöntemsel açıdan şeffaf hâle getirilmesi de temel hedefler olmalıdır.

KAYNAKÇA

Baş, B. (2010). Söz varlığı araştırmalarında veri çarpıklığı ve eğitime yansımaları. *Erzincan Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 12*(2), 115–129.

Baş, B. (2011). Söz varlığı ile ilgili çalışmalarda kullanılacak ölçütler. *Türklük Bilimi Araştırmaları, 29*, 27–61.

Baş, B. ve Karadağ, Ö. (2012). Söz varlığı üzerine yurt dışında ve Türkiye'de yapılan temel araştırmalar. *Millî Eğitim Dergisi, 41*(193), 81–105.

Bestgen, Y. (2024). Back to basics in measuring lexical diversity: Too simple to be true. *Applied Linguistics*, *45*(5), 926–932. https://doi.org/10.1093/applin/amae053

Esgin, A. (2016). Yurt dışında yapılmış söz varlığı çalışmalarının yöntemleri üzerine bir değerlendirme. *Millî Eğitim Dergisi, 45*(210), 55–83.

Göçen, G. ve Okur, A. (2015). Ortaokula yönelik söz varlığı araştırmalarının incelenmesi: Tezler. *Ana Dili Eğitimi Dergisi, 3*(1), 64–79. https://doi.org/10.16916/aded.66746

Henriksen, B. (1999). Three dimensions of vocabulary development. *Studies in Second Language Acquisition, 21*(2), 303–317. https://doi.org/10.1017/S0272263199002089

Jarvis, S. (2002). Short texts, best-fitting curves and new measures of lexical diversity. *Language Testing*, *19*(1), 57–84. https://doi.org/10.1191/0265532202lt220oa

Keklik, S. (2016). Öğrencilerin yazılı anlatımlarındaki söz varlığını belirlemeye yönelik çalışmalarda yöntem sorunu. *Millî Eğitim Dergisi, 45*(210), 31–54.

Kurudayıoğlu, M. ve Karadağ, Ö. (2005). Kelime hazinesi çalışmaları açısından kelime kavramı üzerine bir değerlendirme. *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 25*(2), 293–307.

Laufer, B. (1998). The development of passive and active vocabulary in a second language: Same or different? *Applied Linguistics*, *19*(2), 255–271. https://doi.org/10.1093/applin/19.2.255

Malvern, D., Richards, B., Chipere, N. ve Durán, P. (2004). *Lexical diversity and language development: Quantification and assessment*. Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1057/9780230511804

McCarthy, P. M. ve Jarvis, S. (2010). MTLD, vocd-D, and HD-D: A validation study of sophisticated approaches to lexical diversity assessment. *Behavior Research Methods*, *42*(2), 381–392. https://doi.org/10.3758/BRM.42.2.381

Nation, I. S. P. (2001). *Learning vocabulary in another language*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139524759

Newman, M. ve Gough, D. (2020). Systematic reviews in educational research: Methodology, perspectives and application. In O. Zawacki-Richter, M. Kerres, S. Bedenlier, M. Bond ve K. Buntins (Eds.), *Systematic reviews in educational research* (pp. 3–22). Springer VS. https://doi.org/10.1007/978-3-658-27602-7_1

Oflazer, K. (1993). Two-level description of Turkish morphology. In *Sixth Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics*. Association for Computational Linguistics. https://aclanthology.org/E93-1066/

Onan, B. (2016). Söz varlığı terminolojisi üzerine bir analiz çalışması. *Millî Eğitim Dergisi, 45*(210), 11–29.

Özbay, M. ve Melanlıoğlu, D. (2008). Türkçe eğitiminde kelime hazinesinin önemi. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 5*(1), 30–45.

Özbek, E. (2015). Türkiye'de "söz varlığı" çalışmaları ve bunlar üzerine genel bir değerlendirme. *Akademik Kaynak, 3*(5), 23–38.

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., … Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ, 372*, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Read, J. (2000). *Assessing vocabulary*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511732942

Richards, B. (1987). Type/token ratios: What do they really tell us? *Journal of Child Language, 14*(2), 201–209. https://doi.org/10.1017/S0305000900012885

Schmitt, N. (2010). *Researching vocabulary: A vocabulary research manual*. Palgrave Macmillan. https://doi.org/10.1057/9780230293977

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research, 104*, 333–339. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039

Türkben, T. (2018). Söz varlığını belirlemeye ve geliştirmeye yönelik araştırmaların değerlendirilmesi. *Türkiye Sosyal Araştırmalar Dergisi, 22*(3), 993–1032.

Webb, S. (2005). Receptive and productive vocabulary learning: The effects of reading and writing on word knowledge. *Studies in Second Language Acquisition, 27*(1), 33–52. https://doi.org/10.1017/S0272263105050023

Wray, A. (2002). *Formulaic language and the lexicon*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511519772

KATMANLI SÜRTÜNMEKARIŞTIRMALI İMALAT YÖNTEMİ İÇİN LABORATUVAR ÖLÇEKLİ DÖNER HAMMADDE BESLEME SİSTEMİNİN SONLU ELEMANLAR ANALİZİ VE YAPISAL DOĞRULAMASI

Ege ERTEK
Eskişehir Technical University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 26170 Eskibağlar, Eskisehir
ORCID ID: 0009-0000-1780-189X
Çağrı TAVŞANCI
Eskişehir Technical University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 26170 Eskibağlar, Eskisehir
ORCID ID: 0009-0003-1947-6789
Dr. Öğr. Üyesi Özgür POYRAZ
Eskişehir Technical University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 26010 Odunpazarı, Eskisehir
ORCID ID: 0000-0001-9892-5738

ÖZET

Katmanlı sürtünme karıştırmalı imalat (ing. Additive Friction Stir Deposition - AFSD), malzemeleri erime sıcaklıklarının altında plastik deformasyona uğratarak biriktiren ve ince taneli, kusursuz mikroyapılar sağlayan öne çıkan bir katı hal eklemeli imalat teknolojisidir. Ergime gerçekleşmediğinden porozite, sıcak çatlak ve yüksek artık gerilme gibi ergitme esaslı proseslerde sık karşılaşılan kusurlar önemli ölçüde azaltılabilmektedir. Laboratuvar ölçekli AFSD uygulamalarındaki en kritik zorluklardan biri, yüksek dönme hızlarına, şiddetli eksenel besleme kuvvetlerine ve burulma momentlerine eş zamanlı olarak maruz kalan döner besleme sisteminin yapısal güvenilirliğini sağlamaktır. Bu çalışma, sonlu elemanlar analizi (FEA) kullanılarak yenilikçi bir döner hammadde besleme kafasının sayısal doğrulanmasına ve mekanik güvenilirlik değerlendirmesine odaklanmaktadır. Motor braketi ve iş mili gibi kritik bileşenler için sırasıyla yapı çeliği (S355J2) ve alaşımlı çelik (AISI 4140) tahsis edilmiştir. Analizlerde esas alınacak çalışma koşulu, AA6061 alüminyum alaşımının AFSD yöntemiyle biriktirilmesine ilişkin çalışmalarda bildirilen iş mili devirleri derlenerek ve söz konusu çalışmalarda kullanılan takım geometrileri dikkate alınarak belirlenmiştir. Eşdeğer gerilmeleri ve toplam deformasyonları değerlendirmek amacıyla tepe çalışma yükleri altında statik yapısal simülasyonlar gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, yüksek devirli çalışma sırasında rezonansı önlemek amacıyla iş mili montajının doğal frekanslarını ve titreşim modlarını belirlemek üzere modal analizler yürütülmüştür. FEA sonuçları hem maksimum gerilmelerin hem de deformasyonların güvenli mühendislik marjları dâhilinde kaldığını ve yapısal bütünlüğün sağlandığını doğrulamıştır. Modal analiz bulguları ise öngörülen çalışma devrinde sistemin ilk doğal frekansından yeterli uzaklıkta kaldığını ortaya koymuştur. Bu simülasyon odaklı yaklaşım,

geliştirilen besleme mekanizmasının katı hal biriktirme araştırmaları için operasyonel uygulanabilirliğini başarıyla göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Katmanlı Sürtünme Karıştırmalı İmalat (AFSD), Sonlu Elemanlar Analizi (FEA), Yapısal Analiz, Modal Analiz, İş Mili Tasarımı

FINITE ELEMENT ANALYSIS AND STRUCTURAL VERIFICATION OF A LABORATORY-SCALE ROTARY FEEDSTOCK FEEDING SYSTEM FOR ADDITIVE FRICTION STIR DEPOSITION

ABSTRACT

Additive Friction Stir Deposition (AFSD) is a prominent solid-state additive manufacturing technology that deposits materials through severe plastic deformation below their melting temperature, producing fine-grained and defect-free microstructures. Since melting does not occur, common defects in fusion-based processes—such as porosity, hot cracking, and high residual stresses—are significantly mitigated. One of the primary engineering challenges in developing laboratory-scale AFSD systems is ensuring the structural integrity and dynamic stability of the rotating feedstock feeding mechanism, which is simultaneously subjected to high rotational speeds, severe axial thrust forces, and elevated torsional loads. This study presents the numerical verification and mechanical reliability assessment of an innovative rotating feedstock head using finite element analysis (FEA). Critical load-bearing components, specifically the motor bracket and the spindle assembly, were assigned structural steel (S355J2) and alloy steel (AISI 4140), respectively. Operating conditions were established by compiling spindle speeds reported in the literature for AA6061 aluminum alloy deposition and applying analytical scaling to account for tool size constraints. Static structural simulations were conducted under peak operational loads to evaluate equivalent von Mises stresses and total deformations. Furthermore, modal analysis was performed on the spindle assembly to identify its natural frequencies and vibration mode shapes, ensuring resonance avoidance during high-speed operations. The FEA results confirmed that both maximum stresses and deflections remain well within safe engineering margins, guaranteeing structural integrity. The modal analysis demonstrated that the operational drive frequency remains sufficiently distant from the system's first natural frequency. This simulation-driven design approach successfully verifies the structural viability and operational readiness of the developed feeding mechanism for solid-state deposition research.

Keywords: Additive Friction Stir Deposition (AFSD), Finite Element Analysis (FEA), Structural Analysis, Modal Analysis, Spindle Design

1. INTRODUCTION

Additive manufacturing (AM) is an innovative production technology based on the principle of depositing material in layers, enabling the production of complex geometries, reducing material waste, and increasing design freedom compared to traditional subtractive manufacturing methods (ISO/ASTM 52900:2021). It is widely used, particularly in the aerospace, defense, automotive, and biomedical sectors, for the production of lightweight, complex, and high-performance parts (Dong et al., 2024).

Metal additive manufacturing methods are generally classified as fusion-based and solid-state-based processes. Although fusion-based methods, such as laser powder bed fusion (L-PBF) and directed energy deposition (DED), can provide high geometric accuracy, they can lead to metallurgical issues such as porosity, residual stresses, and grain growth during solidification (Korgancı & Bozkurt, 2024). Interest in solid-state additive manufacturing technologies has increased significantly in recent years to reduce these limitations (Mishra & Yu, 2023; Dong et al., 2024).

AFSD is a solid-state additive manufacturing method derived from the principles of friction stir welding (FSW) and is also referred to in the literature as MELD (Korgancı & Bozkurt, 2024; Yasa et al., 2024). In this method, the feedstock rod is subjected to plastic deformation under the combined effects of rotational motion and axial force, allowing material to be deposited onto the substrate material without melting. While the method stands out for offering high deposition rates and the ability to achieve properties close to those of forged materials in aluminum, magnesium, steel, and titanium alloys, its relatively low level of technological readiness limits its widespread use (Yasa et al., 2024). Furthermore, the formation of a fine-grained microstructure and superior mechanical properties are among the prominent advantages of AFSD (Yu & Mishra, 2021; Li et al., 2024).

In recent years, the majority of studies on AFSD have focused on the investigation of process parameters, microstructure, mechanical properties, and different alloy systems. In particular, the effects of process parameters on material behavior, deposition quality, mechanical performance, and industrial applications have been extensively investigated (Li et al., 2024; Yasa et al., 2024). In contrast, studies on the mechanical design, load-bearing capacity, and structural verification of laboratory-scale AFSD systems appear to be more limited in the literature. In AFSD systems, the rotary feeding mechanism is subjected to significant axial loads and torsional moments, along with high rotational speeds during operation. Therefore, evaluating the stress, deformation, and dynamic behavior of the representative spindle and

motor bracket during the design phase is of great importance for the system to operate safely and stably. Finite element analysis (FEA) is a widely used numerical method for evaluating the dynamic behavior of machine structures and the performance of the spindle assembly under load in friction stir-based processes prior to experimental studies (Tuffaha et al., 2019). In this study, the structural behavior of the spindle and motor bracket of the rotary feeding mechanism used in a laboratory-scale AFSD system was investigated under specified operational loads using finite element analysis; equivalent von Mises stresses and total deformations were evaluated through static analyses, while natural frequencies and the risk of resonance were assessed through modal analyses.

2. MATERIAL AND METHODS

In this study, the structural behavior of the rotary feed assembly—which provides feedstock feeding and deposition movement in a laboratory-scale AFSD system—was investigated using finite element analysis (FEA). The evaluation was limited to the spindle and motor bracket, which are the two components critical to the assembly's load-carrying capacity. The investigation does not aim to verify a specific product design, but rather to determine the behavior of a generic configuration—representative of the common structural layout of laboratory-scale AFSD systems—under process loads derived from the literature.

The study consists of three stages. In the first stage, the operating conditions were determined by compiling the rotational speeds reported in experimental studies regarding the AFSD process, and the loads to be applied were defined based on the design limit values of the system. In the second stage, static structural analysis was performed for both components under this envelope to obtain equivalent von Mises stress and total deformation distributions. In the third stage, a modal analysis was conducted for the spindle to determine natural frequencies, which were then compared with the operational driving frequency to evaluate the resonance risk. All numerical solutions were executed in the ANSYS Workbench environment.

2.1. Configuration

Spindle

The spindle configuration under consideration consists of a hollow shaft arrangement driven by a belt-pulley system, supported at two points, and featuring a deposition shoulder at its lower end, The feedstock rod advances along the shaft axis, and rotational motion and axial compression force are transferred to the rod and the underlying layer via the shoulder surface. This arrangement reflects the fundamental operating principle of continuous feeding systems defined in the AFSD literature (Yasa et al., 2024).

Motor Bracket

The motor bracket is the supporting component that holds the drive motor and transfers motor-induced reaction forces to the main body. Since there is a belt-pulley transmission between the motor and the spindle, the axial force generated during deposition is transferred directly to the main body via the spindle bearing elements and does not reach the bracket. The configuration is treated as a plate-based structure consisting of a mounting surface to which the motor is secured via bolted connections, and body plates connecting this surface to the main body. The bracket has been included in the analysis because it directly determines the positioning stiffness of the drive assembly.

The numerical models of both components have been limited to the primary load-bearing bodies that dictate structural behavior. Fasteners, seals, and the internal components of the drive assembly were not included in the models; their structural effects were defined as equivalent boundary conditions and loads. This simplification was chosen to ensure that the results are generalizable without being dependent on a specific design.

2.2. Material Definitions

The AA6061 aluminum alloy ($5 \times 5 \times 200$ mm square cross-section feedstock rod), which is widely used in AFSD studies (Zeng et al., 2022; Yasa et al., 2025), was considered as the feedstock material to be deposited. Reactions arising from the process were defined as external loads on the spindle.

AISI 4140 alloyed quenched and tempered steel was selected as the spindle material due to its high yield strength, fatigue strength, and toughness properties. The material was defined by its mechanical properties in the post-heat-treatment condition. S355J2 structural steel was preferred for the motor bracket due to its weldability, availability, and widespread use in load-bearing structural elements.

The behavior of both materials was modeled as linear elastic and isotropic, as the expected stress levels remained significantly below their yield strengths. The material properties used in the analyses are given in Table 1.

Table 1. *Material Properties Used in the Analyses*

Property	AISI 4140 (Spindle)	S355J2 (Motor Bracket)
Yield strength (MPa)	800	355
Elastic modulus (GPa)	210	210
Poisson ratio	0.30	0.27
Density (kg/m³)	7850	7850

2.3. Determination of Process Parameters Based on the Literature

To determine the operating conditions to be used as a basis for structural verification, studies regarding the deposition of the target feedstock material, AA6061 aluminum alloy, via the AFSD method were examined, and the reported spindle speeds were compiled in Table 2 (Stubblefield et al., 2021; Zeng et al., 2022; Ghadimi et al., 2024; Qiao et al., 2024). Although the reported speeds are on the order of a few hundred rpm, deposition tools with significantly larger diameters than those considered in this study were used in the aforementioned studies. In the AFSD process, the spindle speed and tool geometry are not quantities that can be selected independently of each other. In the analytical model developed by Schmitz et al. (2024), the frictional power transferred to the feedstock rod is expressed as a function of the product of the radius at which the friction force acts and the spindle speed; in the solution of the model that gives the spindle speed as a function of the deposition temperature, the friction radius is located in the denominator. Accordingly, the speed required to reach a certain deposition temperature varies inversely with the friction radius; therefore, systems operating with smaller-diameter tools require higher spindle speeds to achieve process conditions equivalent to those reported in the literature.

The feeding system considered in this study was configured for a laboratory-scale AFSD setup based on a 5×5 mm cross-section feedstock rod and a 13 mm shoulder diameter. For the specified geometry, the equivalent speeds reported in Table 2 were calculated based on the principle of conserving the product of the friction radius and rotational speed, and the design speed was set at 1,200 rpm to fall within the upper range of this interval. Since this selection defines the highest excitation frequency to which the system may be exposed, results obtained at lower rotational speeds also fall within the scope of the performed verification.

Table 2. *Process Parameters Reported in the Literature for AA6061 Material*

Source	Tool Diameter (mm)	Speed (rpm)	Traverse Speed (mm/min)	Feed Rate (mm/min)	Rod Cross-section (mm)
Qiao vd. 2024	32	500	140	11.7-35.0	15 × 15
Zeng vd. 2022	38.1	300	254	152.4	9.5 × 9.5
Ghadimi vd. 2024	38.1	300	152.4	127	9.5 × 9.5
Stubblefield vd. 2021	38.1	300	127	127	-
This Study	13.0	1200	-	-	5 × 5

2.4. Finite Element Model

Mesh Structure

After the CAD models of the system components were imported into the ANSYS Workbench software, a finite element mesh optimized for numerical solutions was created. In order to obtain a homogeneous topology on the spindle, Sweep mesh technique was used on the main body and Multizone mesh technique on the thin sections, and the structure was discretized into hybrid hexahedral and tetrahedral elements. For the motor bracket, the Patch Conforming method was preferred in order to conform to the topology of the curved surfaces. Local mesh refinement was applied by defining the Face Sizing parameter in the transition surfaces where stress concentration is expected, in the motor centering socket, and on the inner surfaces of the mounting holes. The node and element counts for the mesh structures created are given in Table 3.

Table 3. *Finite Element Mesh Statistics of the Model Components*

Analysis Component	Applied Mesh Method	Number of Nodes	Number of Elements
Spindle	Sweep & Multizone	21008	66788
Motor Bracket	Patch Conforming	26238	14245

2.5. Boundary Conditions and Loads

Spindle Boundary Conditions and Loads

On the bearing surfaces, the degree of freedom for rotation about the spindle axis has been released to represent the actual behavior of the bearings; radial and axial displacements have been constrained. Thus, a support condition has been defined that does not impede the spindle's rotational motion but transmits the reaction forces. The load is applied from the lower surface where the deposition shoulder contacts the feedstock rod and the substrate. The axial compression force defined above is applied along the spindle axis, and the drive torque is defined simultaneously about the spindle axis. Additionally, gravitational acceleration is included in the model to account for the components' self-weight.

The axial compression force is the component that causes the feedstock rod to undergo plastic deformation and deposit material onto the substrate, and it constitutes the most significant load on the spindle. To represent the initial plunge condition where the material has not yet plasticized, the axial force applied to the spindle in the analyses was set to 5 kN. A radial side load of 180 N, resulting from belt pretension, was also applied to the model at the position of the pulley on the spindle.

The resistance caused by the deposited material during the lateral advance of the tool was calculated in proportion to the axial force using the following equation, with $\mu = 0.1$.

$$F_s = \mu F_a$$

Since the drive torque varies significantly during the process depending on the interface temperature, the design torque was defined based on the maximum value the system can provide, rather than the value required by the process. The design torque was selected as 50 N·m; this value exceeds the maximum torque that can be transmitted to the spindle via the belt-pulley transmission and also covers unusual conditions. The loading conditions used in the analyses are presented in Table 4.

Table 4. *Loads Used in the Spindle Structural Analysis*

Load Type	Value
Axial Force	5 kN
Radial Force	180 N
Lateral Advance Resistance	500 N
Moment	50 N·m

The loads applied to the spindle and the representation of the defined boundary conditions on the finite element model are given in Figure 1.

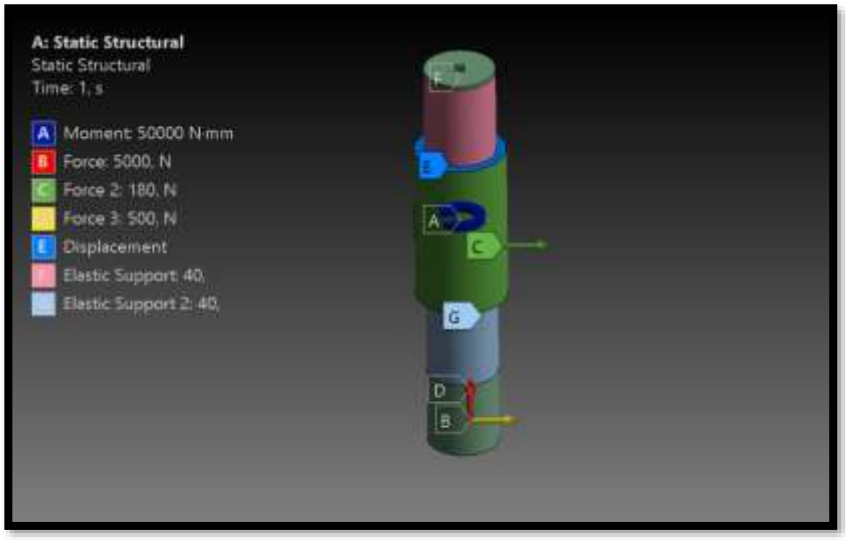


Figure 1. *Spindle Loads and Boundary Conditions*

Motor Bracket Boundary Conditions and Loading

Fixed supports were defined on the surfaces where the motor bracket is fixed to the main body with bolted connections, and all degrees of freedom on these surfaces were constrained. On the motor mounting surface, the motor weight force, the radial force arising from belt pretension, and the reaction moment transferred to the mounting surface by the motor were applied

simultaneously. In the bracket model as well, the effect of self-weight was taken into account by defining gravitational acceleration.

Motion transmission between the motor and the spindle is provided by a belt-pulley mechanism. Due to the conservation of the tangential force transmitted along the belt, the moments on the motor shaft (m) and the spindle (b) vary in proportion to the pulley diameters, and the relationship between them is expressed as follows:

$$M_b = M_m \frac{D_b}{D_m}$$

In this study, since the motor pulley is smaller than the spindle pulley, the moment on the motor side is approximately half that on the spindle. Accordingly, the reaction moment was defined as 25 N·m in the bracket analysis, ensuring a load consistent with the 50 N·m applied to the spindle. The stress and deformation results were examined by applying this moment to the bracket, along with the weight of the 3 kg motor and a 180 N radial load resulting from the belt pretension; the design's strength adequacy was evaluated based on the obtained results. The loads and their values used in the analyses are presented in Table 5.

Table 5. *Loads Used in the Structural Analysis of the Motor Bracket*

Load Type	Value
Motor Weight Force	29,4 N
Radial Force	180 N
Moment	25 N·m

Figure 2 shows the representation of the loads applied to the motor bracket and the defined boundary conditions on the finite element model.

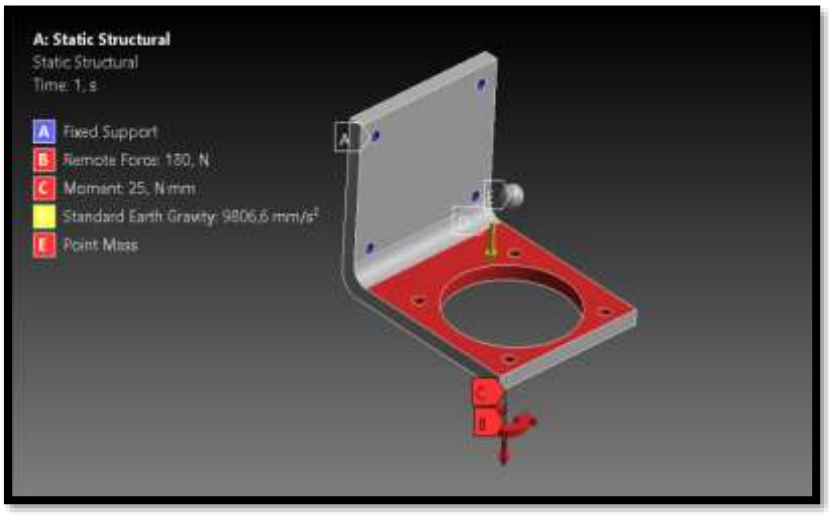


Figure 2. *Motor Bracket Loads and Boundary Conditions*

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Spindle and Motor Bracket Structural Analysis Results

As a result of the static FEA simulations performed, the maximum equivalent von Mises stress occurring on the spindle model was determined to be 13.79 MPa. The highest stress regions were observed at the shoulder transitions on the spindle, consistent with mechanical expectations. The strength adequacy of the components was evaluated using the safety factor, defined as the ratio of the material's yield strength to the maximum equivalent stress calculated in the model.

$$n = \frac{R_{p0.2}}{\sigma_{vM,maks}}$$

Considering the 800 MPa yield strength of AISI 4140 steel, the safety factor for the spindle is calculated to be approximately 58, indicating that the material does not undergo plastic deformation. The calculated safety factor for the spindle appears to be significantly above the customary limits in general machine design standards. This high safety margin stems from the fact that the current loading conditions were determined considering the additive manufacturing of a medium-strength aluminum alloy (AA6061). It is known in the literature that AFSD systems are also used to process materials that are much harder to deform and require higher forces, such as titanium, steel, and nickel superalloys. Although individual process loads for the entire material spectrum were not calculated in this study, this high safety value obtained for a medium-strength alloy indicates that the developed rotary feeding system is capable of successfully meeting the minimum structural safety limits in the event of processing heavier and high-strength alloys, even if the safety factor decreases. Similarly, for the motor bracket manufactured from S355J2 structural steel, the maximum equivalent stress remained at 38.58 MPa, resulting in a safety factor of approximately 9.2 based on its yield strength of 355 MPa.

The maximum total deformation in the spindle was 0.0159 mm, while that in the motor bracket was 0.1088 mm. The fact that the deformations remain on the order of one-tenth of a millimeter indicates that the structural stiffness condition—which is of critical importance for the AFSD process—is satisfied, and that material feeding continuity can be maintained.

The equivalent stress distributions for both components are presented in Figure 3 and Figure 4.

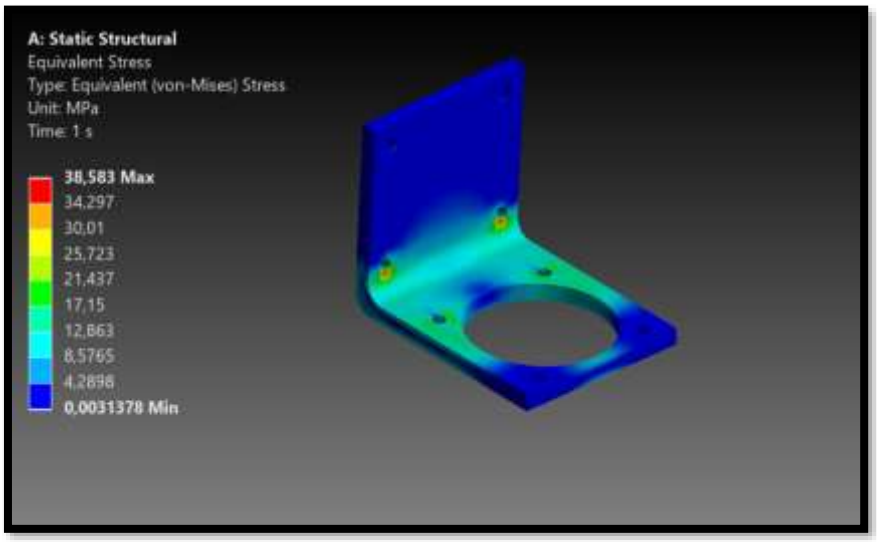


Figure 3. *Equivalent Stress Distribution of the Motor Bracket*

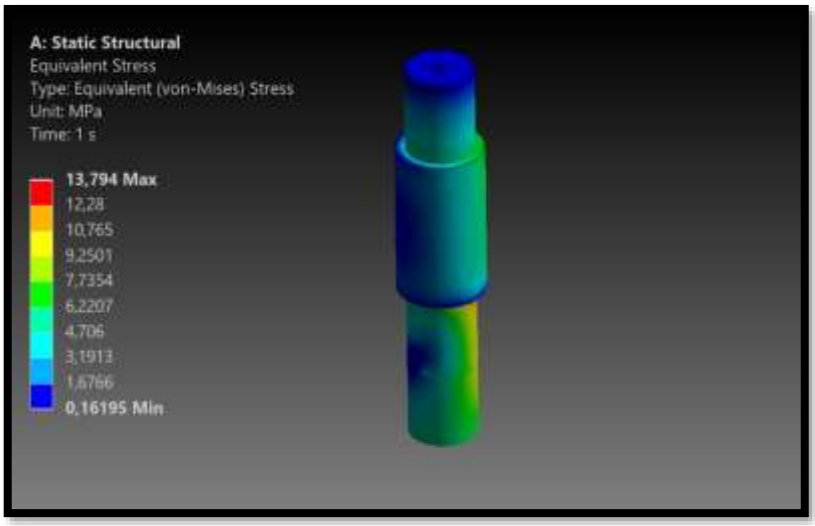


Figure 4. *Equivalent Stress Distribution of the Spindle*

3.2 Modal Analysis and Resonance Evaluation

In a rotating system, the drive-induced excitation frequency is calculated using the following equation, where N represents the spindle speed in revolutions per minute (rpm).

$$f = \frac{N}{60}$$

For a spindle operating at 1200 rpm, the excitation frequency is determined to be 20 Hz. Considering that in rotating systems, excitation can also occur at multiples of the fundamental frequency due to mass imbalance and bearing defects, the first three harmonics (20, 40, and 60 Hz) were taken into account in the evaluation. In the modal analysis conducted to investigate potential instabilities that may arise during high-speed operation, the first six natural frequencies of the spindle were determined, and the first natural frequency was found to be 188.89 Hz. For friction stir-based machines, the criterion is that the operating speed must

remain at least 20% below the structure's first critical frequency (Tuffaha et al., 2019). Since even the highest excitation harmonic in this study remained significantly below the first natural frequency, the system is dynamically stable and poses no risk of resonance within the anticipated operating range. A comparison of the obtained natural frequencies with the operational excitation frequency is presented in Figure 5.

Figure 5. *Spindle Modal Analysis Results*

4. Conclusions

In this study, the structural verification of a laboratory-scale rotary feedstock feeding system for additive friction stir deposition processes was performed using finite element analysis. It was determined that even under axial loads and torsional moments defined above the predicted operating conditions, the maximum equivalent stresses in the examined components remained well below the material yield strengths, and the total deformations did not exceed the order of one-tenth of a millimeter. Modal analysis results revealed that the system remained sufficiently distant from its first natural frequency at the predicted operating speed and its harmonics. The findings demonstrate that the considered feeding mechanism possesses the structural adequacy to withstand the mechanical loads anticipated in AFSD laboratory studies, and it establishes the necessary numerical foundation for proceeding to the manufacturing and experimental commissioning phases of the system.

REFERENCES

Dong, X., Zhou, M., Geng, Y., Han, Y., Lei, Z., Chen, G., & Shi, Q. (2024). Recent advances in additive friction stir deposition: A critical review. *Materials, 17*(21), 5205. https://doi.org/10.3390/ma17215205

Ghadimi, H., Talachian, M., Ding, H., Emanet, S., & Guo, S. (2024). The effects of layer thickness on the mechanical properties of additive friction stir deposition-fabricated aluminum alloy 6061 parts. *Metals, 14*(1), 101. https://doi.org/10.3390/met14010101

International Organization for Standardization & ASTM International. (2021). *Additive manufacturing - General principles - Fundamentals and vocabulary* (ISO/ASTM 52900:2021).
Korgancı, M., & Bozkurt, Y. (2024). Recent developments in additive friction stir deposition (AFSD). *Journal of Materials Research and Technology, 30*, 4572-4583. https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.04.179
Li, X., Li, X., Hu, S., Liu, Y., & Ma, D. (2024). Additive friction stir deposition: A review on processes, parameters, characteristics, and applications. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 133*, 1111-1128. https://doi.org/10.1007/s00170-024-13890-4
Mishra, R. S., & Yu, H. Z. (2023). Friction stir based solid-state additive manufacturing. *JOM, 75*, 4182-4184. https://doi.org/10.1007/s11837-023-06138-1
Qiao, Q., Zhou, M., Gong, X., Jiang, S., Lin, Y., Wang, H., Lam, W. I., Qian, H., Guo, D., Zhang, D., Kwok, C. T., Li, X., & Tam, L. M. (2024). In-situ monitoring of additive friction stir deposition of AA6061: Effect of layer thickness on the microstructure and mechanical properties. *Additive Manufacturing, 84*, 104141. https://doi.org/10.1016/j.addma.2024.104141
Schmitz, T., Charles, E., & Compton, B. (2024). Analytical temperature model for spindle speed selection in additive friction stir deposition. *Manufacturing Letters, 41*, 720-729.
Stubblefield, G. G., Fraser, K., Phillips, B. J., Jordon, J. B., & Allison, P. G. (2021). A meshfree computational framework for the numerical simulation of the solid-state additive manufacturing process, additive friction stir-deposition (AFS-D). *Materials & Design, 202*, 109514. https://doi.org/10.1016/j.matdes.2021.109514
Tuffaha, M., Bazoune, A., Al-Badour, F., Merah, N., & Shuaib, A. (2019). Dynamic modeling and analysis of a horizontal operating 3-axis machine for friction stir welding. *IEEE Access, 7*, 129874-129882. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2939300
Yasa, E., Poyraz, O., Molyneux, A., Sharman, A., Bilgin, G. M., & Hughes, J. (2024). Systematic review on additive friction stir deposition: Materials, processes, monitoring and modelling. *Inventions, 9*(6), 116. https://doi.org/10.3390/inventions9060116
Yasa, E., Poyraz, O., Do, K., Molyneux, A., McManus, J., & Hughes, J. (2025). In-situ monitoring and control of additive friction stir deposition. *Materials, 18*(7), 1509. https://doi.org/10.3390/ma18071509
Yu, H. Z., & Mishra, R. S. (2021). Additive friction stir deposition: A deformation processing route to metal additive manufacturing. *Materials Research Letters, 9*(2), 71-83. https://doi.org/10.1080/21663831.2020.1847211
Zeng, C., Ghadimi, H., Ding, H., Nemati, S., Garbie, A., Raush, J., & Guo, S. (2022). Microstructure evolution of Al6061 alloy made by additive friction stir deposition. *Materials, 15*(10), 3676. https://doi.org/10.3390/ma15103676

AKS KALDIRMA KÖRÜĞÜ PLAKA PARÇASININ PROJEKSİYON KAYNAĞI PROSESİNDE PARAMETRELERİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ VE TAGUCHI DENEY TASARIMI İLE OPTİMİZASYONU

Sezgin KABAHASAN
Şahince Otomotiv San. ve Tic. A.Ş., Arge ve Mühendislik Departmanı, 16110 Nilüfer, Bursa
sezgin.kabahasan@sahince.com.tr
Berkan HASDEMİR
Şahince Otomotiv San. ve Tic. A.Ş., Arge ve Mühendislik Departmanı, 16110 Nilüfer, Bursa
berkan.hasdemir@sahince.com.tr
Arif Çobanoğlu
Şahince Otomotiv San. ve Tic. A.Ş., Arge ve Mühendislik Departmanı, 16110 Nilüfer, Bursa
arif.cobanoglu@sahince.com.tr
Prof. A. Alper Özalp
Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği, 16110 Nilüfer, Bursa
ORCID: 0000-0002-4976-9027
aozalp@uludag.edu.tr

ÖZET

Ticari araçlarda kullanılan aks kaldırma körüğü sisteminin plaka parçası taşıyıcı gövdeye bağlanırken kullandığı aparat, plaka parçasına projeksiyon kaynağıyla bağlanmaktadır. Bu çalışmada, S420MC yüksek mukavemetli çelik sacdan üretilen plaka-bunya bağlantısının kaynak kalitesini belirleyen proses parametrelerinin sistematik olarak optimize edilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda ANSYS sonlu elemanlar yazılımı kullanılarak elektro-termal-mekanik bütünleşik bir simülasyon modeli kurulmuştur. İki boyutlu çeyrek geometri y ekseni etrafında 180° döndürülerek üç boyutlu hâle getirilmiş ve ortalama 86.000 düğüm ile 28.000 elemandan oluşan 4 serbestlik dereceli ağ yapısı ile örülmüştür. Bunya alt kenar uzunluğu, havuz çapı, havuz derinliği ve kaynak proses seti olmak üzere dört kontrol faktörünün üç seviyede incelendiği Taguchi L9 ortogonal dizini kapsamında toplam 9 simülasyon senaryosu tanımlanmıştır. Analiz çıktıları olarak bunya üst yüzeyinde erişilen maksimum sıcaklık, bunya ve plaka üst yüzeylerinden 1450°C sıcaklığına olan mesafeler, tapa son yüksekliği ve harcanan elektrik gücü değerlendirilmiştir. Minitab yazılımı ile yürütülen sinyal/gürültü (S/N) oranı ve ortalama yanıt analizleri, tüm çıktı büyüklükleri üzerinde en baskın faktörün kaynak proses seti, ikinci derecede etkili faktörün ise bunya alt kenar uzunluğu olduğunu ortaya koymuştur. Havuz çapının etkisi istatistiksel olarak ihmal edilebilir düzeyde kalmıştır. Elde edilen bulgular birlikte değerlendirildiğinde, 0.3-0.4 mm bunya alt kenar uzunluğu, 0.3 mm havuz derinliği ve 18 kA akım-18 döngü-7 kN baskı kaynak proses setinin, tasarım şartı olan 21.5 mm tapa yüksekliği sınırını aşmadan yeterli kaynak hacmini sağlayan ve enerji tüketimi açısından da uygun bir çözüm sunduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Projeksiyon kaynağı, Taguchi deney tasarımı, sonlu elemanlar analizi, S420MC, proses parametre optimizasyonu.

OPTIMIZATION OF PROCESS PARAMETERS IN THE PROJECTION WELDING OF AXLE LIFT BELLOWS PLATE PART USING THE FINITE ELEMENT METHOD AND TAGUCHI EXPERIMENTAL DESIGN

ABSTRACT

In axle lift bellows systems used in commercial vehicles, the fitting that connects the plate part to the carrier body is joined to the plate part by projection welding. This study aims to systematically optimize the process parameters that determine the weld quality of the plate–bushing connection, manufactured from S420MC high-strength steel sheet. For this purpose, an integrated electro-thermal-mechanical simulation model was established using the ANSYS finite element software. The two-dimensional half geometry was revolved 180° about the y-axis to obtain a three-dimensional model, which was meshed with an average of 86,000 nodes and 28,000 elements, each possessing 4 degrees of freedom. Within the scope of a Taguchi L9 orthogonal array, four control factors—bushing lower edge length, nugget diameter, nugget depth, and welding process set—were investigated at three levels, yielding a total of 9 simulation scenarios. The maximum temperature reached on the upper surface of the bushing, the distances from the upper surfaces of the bushing and the plate to the 1450 °C isotherm, the final plug height, and the electrical power consumed were evaluated as the analysis outputs. Signal-to-noise (S/N) ratio and mean response analyses, performed using Minitab software, revealed that the welding process set was the most dominant factor affecting all output variables, followed by the bushing lower edge length as the second most influential factor. The effect of nugget diameter was found to be statistically negligible. Taken together, the results indicate that a bushing lower edge length of 0.3–0.4 mm, a nugget depth of 0.3 mm, and a welding process set of 18 kA current–18 cycles–7 kN electrode force provide a solution that ensures sufficient weld volume without exceeding the design requirement of a 21.5 mm plug height limit, while also being favorable in terms of energy consumption.

Keywords: Projection welding, Taguchi design of experiments, finite element analysis, S420MC, process parameter optimization.

1. GİRİŞ

Ticari araçların süspansiyon ve şase sistemlerinde kullanılan aks kaldırma körüğü mekanizmaları, yüksek statik ve dinamik yükler altında güvenilir biçimde çalışması gereken kritik alt bileşenlerdendir. Bu mekanizmanın taşıyıcı plaka parçası, gövde üzerine yerleştirilen bunya (projeksiyon) elemanları aracılığıyla projeksiyon direnç kaynağı ile birleştirilmektedir

[1]. Projeksiyon kaynağı, nokta kaynağına kıyasla akımın parça üzerinde önceden tasarlanmış bir bunya üzerinde yoğunlaştırılmasına dayanan, kısa sürede yüksek akım yoğunluğu ile ergime ve birleşme sağlayan bir direnç kaynağı türüdür [2]. Kaynak bölgesindeki ısı girdisi, elektrot kuvveti, akım şiddeti, kaynak süresi ve bunya geometrisi gibi çok sayıda parametreye bağlı olarak değiştiğinden, birleşimin mekanik dayanımı ve tekrarlanabilirliği doğrudan bu parametrelerin ve malzemelerin doğru seçimine bağlıdır [3].

Geleneksel olarak kaynak parametrelerinin belirlenmesi deneme-yanılma esaslı fiziksel testlerle yürütülmektedir. Bu durum hem zaman hem de malzeme kaybına yol açmaktadır [4]. Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) tabanlı simülasyon çalışmaları, kaynak bölgesindeki sıcaklık dağılımını, ergime davranışını ve geometrik değişimleri fiziksel deney yapmadan önce öngörebilme imkânı sunarak bu süreci önemli ölçüde kısaltmaktadır [5]. Bununla birlikte, çok sayıda tasarım ve proses değişkeninin bir arada değerlendirilmesi gerektiğinde tam faktöriyel simülasyon setleri pratik olmaktan çıkmaktadır. Bu noktada Taguchi deney tasarımı yöntemi, ortogonal diziler aracılığıyla simülasyon sayısını azaltarak çıktılar üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak belirlenmesine olanak tanımaktadır [6].

Bu çalışmanın amacı, aks kaldırma körüğü sistemine ait S420MC malzemeden üretilen plakanın projeksiyon kaynağındaki proses parametrelerini, ANSYS yazılımı ile gerçekleştirilen elektro-termal-mekanik sonlu elemanlar simülasyonları ve Taguchi L9 deney tasarımı yaklaşımını bir arada kullanarak optimize etmektir [7]. Çalışma kapsamında bunya alt kenar uzunluğu, havuz çapı, havuz derinliği ve kaynak proses seti (akım, cycle ve kuvvet) girdi parametreleri olarak ele alınmıştır. Kaynak kalitesini temsil eden beş farklı çıktı büyüklüğü üzerinden değerlendirme yapılmıştır. Elde edilen sayısal sonuçlar Minitab yazılımında istatistiksel olarak analiz edilerek hem üretim kalitesi hem de enerji verimliliği açısından uygun bir proses parametre kombinasyonu önerilmiştir [8].

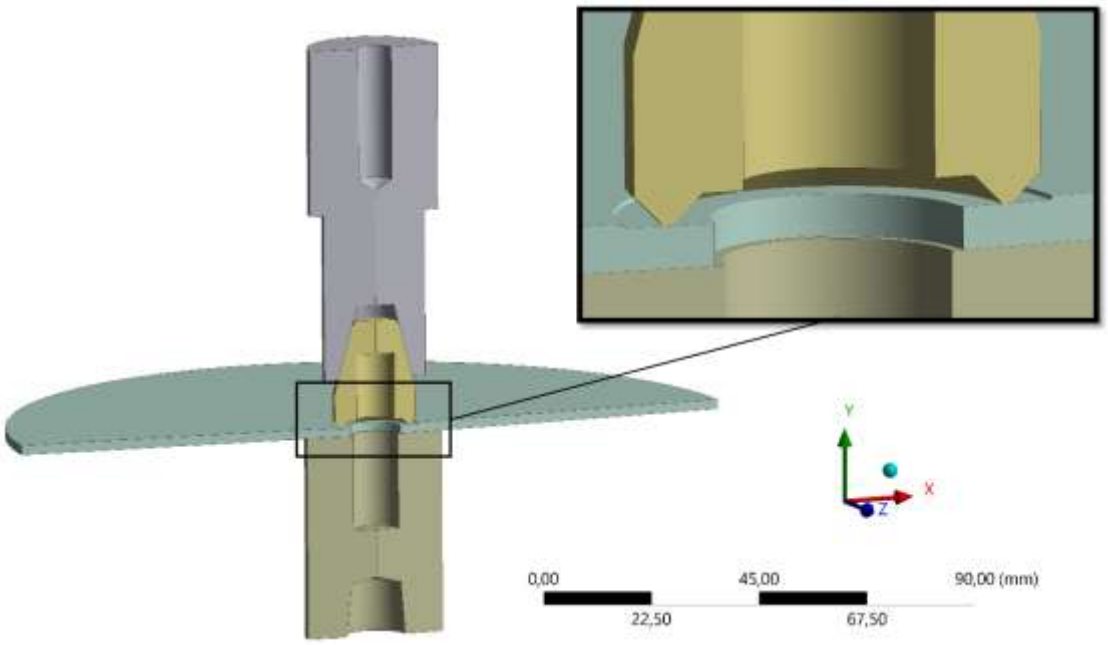
2. MALZEME VE METOD

2.1. Malzeme

Çalışmada incelenen plaka ve bunya elemanları, otomotiv yan sanayide soğuk şekillendirmeye uygun yüksek mukavemetli, düşük alaşımlı bir sac malzeme olan S420MC çeliğinden üretilmiştir. Malzemenin yüksek akma dayanımı ve iyi kaynaklanabilirlik özellikleri, taşıyıcı gövde bağlantılarında tercih edilmesinin başlıca nedenidir. Simülasyonlarda kullanılan sıcaklığa bağlı termal ve mekanik malzeme özellikleri (özgül ısı, ısıl iletkenlik, elektriksel direnç, elastisite modülü vb.) ANSYS malzeme kütüphanesinden temin edilerek analiz modeline tanımlanmıştır [9].

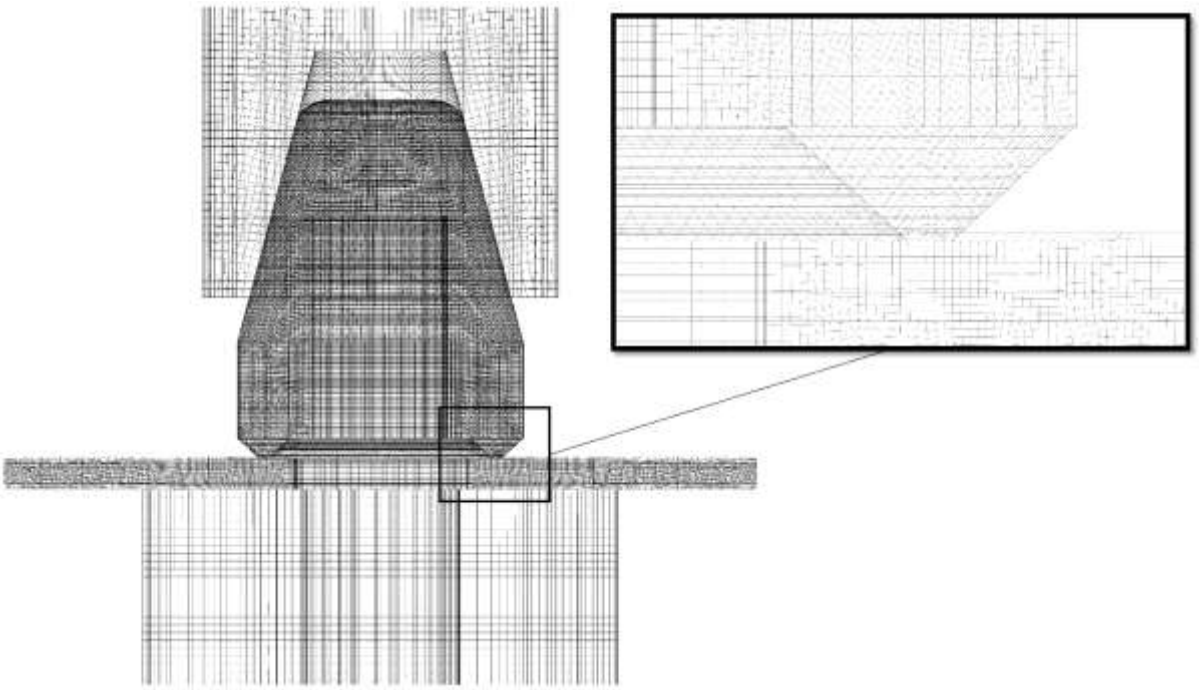
2.2. Sonlu Elemanlar Modeli

Kaynak bölgesindeki elektro-termal-mekanik davranışı incelemek amacıyla ANSYS yazılımında bir alt model (submodel) yaklaşımı kullanılmıştır. İki boyutlu (2D) olarak oluşturulan çeyrek geometri x-y-z eksen takımına yerleştirilerek orijin noktasından sabitlenmiştir [10]. Analiz sürecinin kararlı biçimde ilerleyebilmesi için önceden tanımlanan hassasiyet aralığı korunmuştur. İki boyutlu geometri, y ekseni etrafında 180° döndürülerek modelin üç boyutlu (3D) görünümü elde edilmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. İki boyutlu çeyrek geometrinin 180° döndürülmesi ile elde edilen üç boyutlu model görünümü

Simülasyonlarda kullanılan ağ (mesh) yapıları genel olarak birbirine benzemekle birlikte, tasarım değişkenliğinden kaynaklanan geometrik farklılıklar düğüm (node) ve eleman (element) sayılarında farklılıklara yol açmıştır [11]. Gerçekleştirilen toplam 9 simülasyon kapsamında ortalama 86.000 düğüm ve 28.000 elemandan oluşan bir ağ yapısı elde edilmiştir. Sonuçların doğruluğunu ve yakınsama davranışının düzenli ilerlemesini sağlamak amacıyla ağ yapısı Şekil 2'de gösterildiği gibi "quadratic mesh" (ikinci dereceden elemanlı) yaklaşımı ile oluşturulmuştur.



Şekil 2. Analiz modelinde uygulanan quadratic mesh (ağ) yapısı

2.3. Sınır Şartları

Gerçekleştirilen analiz kapsamında, üst elektrot üzerinde belirlenen bölgeye -y yönünde 7 kN büyüklüğünde bir basma kuvveti uygulanmış ve üst elektrot ile 0 mV olarak tanımlanan alt elektrodun alt yüzeyi arasında bir potansiyel fark oluşturularak sistem üzerinden akım geçişi sağlanmıştır. Sayısal modelin çözüm süresince sac malzemenin geometrik sürekliliğini korumak ve olası rijit cisim hareketlerini engellemek amacıyla, iş parçalarının uç bölgelerine sürtünmesiz destek (frictionless support) sınır koşulu atanmıştır. Ayrıca, sistemin genel konumsal kararlılığını temin etmek üzere, alt elektrodun alt yüzeyi tamamen sabitlenerek (fixed support) sınırlandırılmıştır.

2.4. Taguchi Deney Tasarımı

Proses parametrelerinin sistematik biçimde değerlendirilmesi amacıyla dört kontrol faktörü üç seviyede incelenmiştir. Bunya alt kenar uzunluğu (0,3-0,4-0,5 mm), havuz çapı (Ø19-Ø20-Ø21 mm), havuz derinliği (0,1-0,2-0,3 mm) ve kaynak proses seti (17 kA-17 cycle, 18 kA-18 cycle, 19 kA-19 cycle ve sabit 7 kN baskı kuvveti). Dört faktörün üç seviyede tam faktöriyel olarak incelenmesi 81 senaryo gerektirirken, Taguchi L9 ortogonal dizini kullanılarak bu sayı istatistiksel güvenilirlikten ödün vermeden 9 senaryoya indirgenmiştir (Tablo 1). Her senaryo için ANSYS'te ayrı bir simülasyon koşturulmuş, elde edilen sonuçlar Minitab yazılımına aktarılarak sinyal/gürültü (S/N) oranı ve ortalama yanıt analizleri gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Taguchi L9 ortogonal deney tasarımı matrisi

Deney No	Bunya Alt Kenar Uzunluğu (mm)	Havuz Çapı (mm)	Havuz Derinliği (mm)	Kaynak Proses Seti (Akım - Cycle - Kuvvet)
1	0.3	Ø19	0.1	17 kA - 17 cyc - 7 kN
2	0.3	Ø20	0.2	18 kA - 18 cyc - 7 kN
3	0.3	Ø21	0.3	19 kA - 19 cyc - 7 kN
4	0.4	Ø19	0.2	19 kA - 19 cyc - 7 kN
5	0.4	Ø20	0.3	17 kA - 17 cyc - 7 kN
6	0.4	Ø21	0.1	18 kA - 18 cyc - 7 kN
7	0.5	Ø19	0.3	18 kA - 18 cyc - 7 kN
8	0.5	Ø20	0.1	19 kA - 19 cyc - 7 kN
9	0.5	Ø21	0.2	17 kA - 17 cyc - 7 kN

Çıktı büyüklükleri; bunya üst yüzeyinde erişilen maksimum sıcaklık, bunya üst yüzeyinden 1450°C (malzemenin ergime sıcaklığı) noktasına olan mesafe, plaka üst yüzeyinden 1450°C noktasına olan mesafe, tapa son yüksekliği ve harcanan elektrik gücü olarak tanımlanmıştır. Değerlendirme kriterleri; bunyada erime oluşmaması için maksimum sıcaklığın 1450°C'yi aşmaması, bunyanın büyük kısmının kaynak sırasında ergiyebilmesi için bunya-1450°C mesafesinin düşük olması, yeterli nüfuziyet için plaka-1450°C mesafesinin büyük olması, tasarım şartı olan 21.5 mm'yi aşmayacak bir tapa yüksekliği ve düşük elektrik gücü şeklinde belirlenmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Mühendislik Tabanlı Değerlendirme

Dokuz senaryo için ANSYS'te yürütülen elektro-termal-mekanik simülasyonlardan elde edilen sonuçlar Tablo 2'de genel olarak sunulmuştur. Bunya üzerinde tanımlanan path-1, path-2 ve path-3 hatları üzerindeki sıcaklık dağılımları incelenerek her senaryo için maksimum sıcaklık ve 1450°C izoterminin konumu belirlenmiştir.

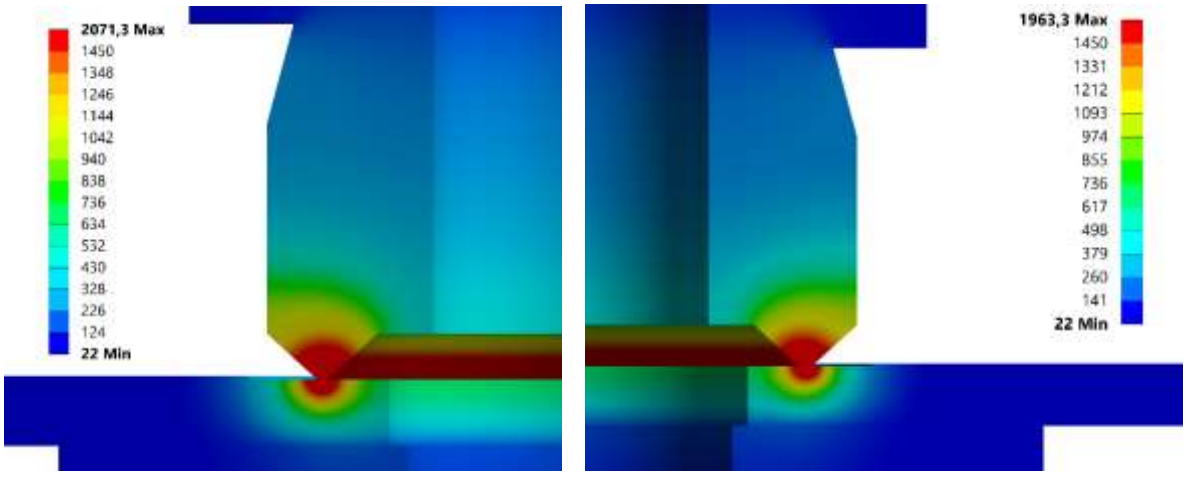
Tablo 2. S420MC malzemesi için Taguchi L9 simülasyon sonuçları

Deney No	Bunya Üst Yüzey Maks. Sıcaklık (°C)	Bunya Üst Yüzey – 1450°C Mesafesi (mm)	Plaka Üst Yüzey – 1450°C Mesafesi (mm)	Tapa Son Yüksekliği (mm)	Elektrik Gücü (kW)
1	1253.4	0.340	0.395	21.440	19.12
2	1302.9	0.265	0.455	21.265	21.35
3	1446.4	0.014	0.582	20.914	24.59
4	1408.5	0.095	0.495	21.095	24.05
5	1203.9	0.442	0.285	21.342	18.70
6	1321.5	0.255	0.450	21.355	21.62
7	1276.9	0.355	0.311	21.255	20.96
8	1338.0	0.243	0.416	21.343	23.62
9	1135.2	0.642	0.169	21.642	18.19

Karşılaştırmalı olarak; 0,3 mm bunya alt kenar uzunluğu, Ø20 mm havuz çapı, 0,2 mm havuz derinliği tasarım kombinasyonu ile 18 kA akım şiddeti, 18 cycle çevrimde, 7 kN baskı kuvvetiyle proses parametreleri kullanılan senaryo (a) ve 0,4 mm bunya alt kenar uzunluğu, Ø21 mm havuz çapı, 0,1 mm havuz derinliği tasarım kombinasyonu ile aynı proses parametrelerinin kullanıldığı senaryo (b) için elde edilen sıcaklık gradyanları Şekil 3'te gösterilmiştir. Her iki görselde de kaynak bölgesindeki sıcaklık dağılımının bunya geometrisine bağlı olarak farklılaştığı, ancak proses parametrelerinin sabit tutulması durumunda genel ısınma eğiliminin benzer kaldığı gözlenmektedir.

Tablo 2'deki sonuçlar bir bütün olarak değerlendirildiğinde aşağıdaki mühendislik bulguları öne çıkmaktadır:

- Bunya üst yüzeyindeki maksimum sıcaklık, akım ve cycle değerleri arttıkça yükselmekte, bunya alt kenar uzunluğu arttıkça ise azalmaktadır.
- Akım ve cycle değerlerindeki artış bunya erimesini teşvik ederek tapa yüksekliği üzerinde olumlu etki yaparken, bunya alt kenar uzunluğundaki artış ters yönde bir etki oluşturmaktadır.
- Akım ve cycle değerlerindeki artış aynı zamanda harcanan elektrik gücünü de artırmaktadır.
- Havuz çapının incelenen çıktılar üzerindeki etkisi belirgin bir düzeyde tespit edilememiştir.
- Havuz derinliğindeki artış, tapa yüksekliği açısından olumlu sonuçlar doğurmuştur.
- Genel değerlendirmede, kaynak başarısı üzerinde akım-cycle etkisinin birincil ve pozitif yönde, bunya alt kenar uzunluğu etkisinin ise ikincil ve negatif yönde olduğu görülmüştür.



(a) (b)

Şekil 3. Farklı tasarım parametrelerinde elde edilen sıcaklık gradyanları: (a) 0,3mm bunya temas yüzeyi, Ø20mm havuz çapı, 0,2mm havuz derinliği, (b) 0,4mm bunya, Ø21mm çap, 0,1mm derinlik (18 kA-18 cycle-7 kN)

Bu gözlemler doğrultusunda, bunya alt kenar uzunluğu için 0,3-0,4 mm aralığının, havuz derinliği için 0,3 mm seviyesinin ve kaynak prosesi için 18 kA-18 cycle-7 kN setinin uygun bir başlangıç kombinasyonu oluşturduğu değerlendirilmiştir. Bu ön değerlendirmenin istatistiksel olarak da doğrulanması amacıyla Taguchi analizi gerçekleştirilmiştir.

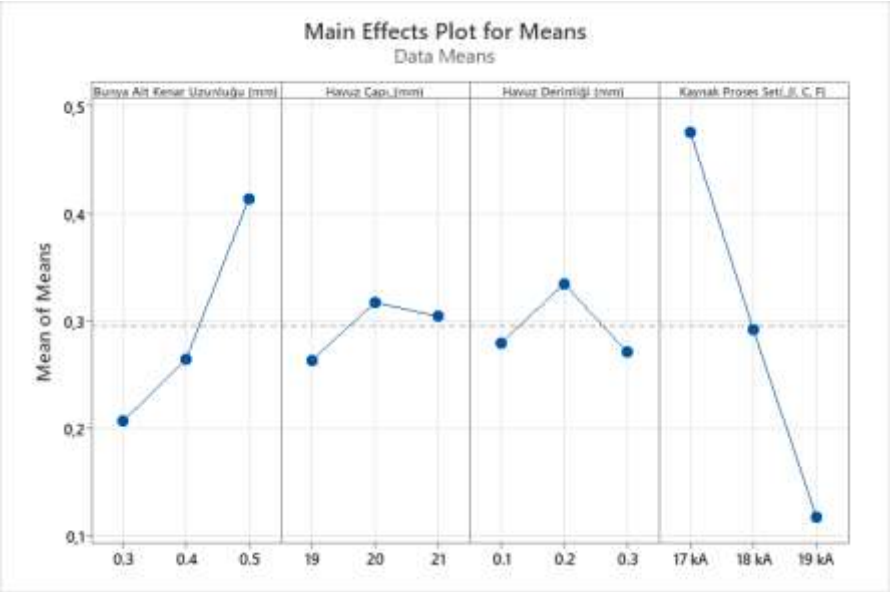
3.2. İstatistiksel Değerlendirme

Dokuz simülasyon sonucu Minitab yazılımına aktarılarak her çıktı büyüklüğü için ayrı ayrı sinyal/gürültü (S/N) oranı ve ortalama yanıt tabloları oluşturulmuştur. S/N oranı, ilgili faktör seviyesinin hedeflenen sonuca ne ölçüde yakınsadığını ve dış kaynaklı değişkenliğe karşı ne kadar dayanıklı (robust) olduğunu ifade etmekte; delta değeri, bir faktörün en yüksek ve en düşük seviye ortalamaları arasındaki farkı, rank ise faktörlerin etkilerine göre büyükten küçüğe sıralanmasını göstermektedir. "Bunya üst yüzeyinden 1450°C mesafesi", "tapa son yüksekliği" ve "elektrik gücü" için “küçük olan daha iyidir”; "plaka üst yüzeyinden 1450°C mesafesi" için ise “büyük olan daha iyidir” S/N formülasyonu kullanılmıştır. Dört çıktı büyüklüğüne ait S/N delta değerleri ve faktör sıralamaları (rank) karşılaştırmalı olarak Tablo 3'te sunulmuştur.

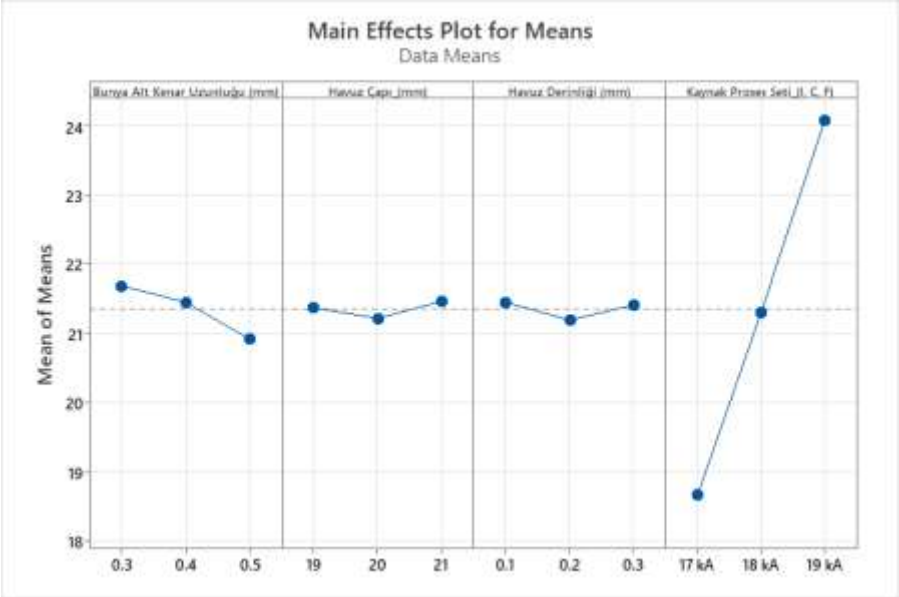
Tablo 3. Dört çıktı büyüklüğü için S/N delta değerleri ve faktör önem sıralaması (rank)

Faktör	Bunya Üst Yüzey – 1450°C Mesafesi	Plaka Üst Yüzey – 1450°C Mesafesi	Tapa Son Yüksekliği	Elektrik Gücü
Bunya alt kenar uzunluğu	10.950	4.532	0.08	0.32
Havuz çapı	7.294	0.920	0.02	0.07
Havuz derinliği	6.546	1.923	0.09	0.13
Kaynak proses seti	16.500	5.329	0.15	2.21

Tablo 3 incelendiğinde, incelenen dört çıktı büyüklüğünün tamamında kaynak proses setinin en yüksek delta değerine sahip olduğu ve dolayısıyla en baskın faktör olduğu görülmektedir. Bunya alt kenar uzunluğu, tapa son yüksekliği hariç diğer üç çıktıda ikinci sırada yer alarak sürecin ikinci derecede belirleyici faktörü konumundadır. Havuz çapı ise tüm çıktılarda en düşük etkiye sahip faktör olarak öne çıkmakta, bu durum mühendislik tabanlı değerlendirmedeki gözlemle örtüşmektedir. Şekil 4'te, kaynak proses setinin baskın etkisinin en belirgin görüldüğü iki çıktı büyüklüğüne (bunya üst yüzeyinden 1450°C mesafesi ve elektrik gücü) ait ana etki grafikleri karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 4. Ortalamalar için ana etki grafikleri: (a) Bunya üst yüzeyinden 1450°C mesafesi, (b) Elektrik gücü.

Faktör bazında değerlendirildiğinde:

- Kaynak proses seti: Tüm çıktılarda birincil etkili faktördür. Bunya-1450°C mesafesi ve elektrik gücü için küçük-olan-daha-iyidir hedefine göre seviye 1 (17 kA-17 cycle), plaka-1450°C mesafesi ve tapa yüksekliği için ise seviye 3 (19 kA-19 cycle) daha uygun sonuç vermektedir; ancak seviye 2 (18 kA-18 cycle) tüm çıktılar arasında en dengeli uzlaşımı sağlamaktadır.
- Bunya alt kenar uzunluğu: İkincil derecede etkili faktördür. Bunya-1450°C ve plaka-1450°C mesafeleri için seviye 1 (0,3 mm), elektrik gücü için ise seviye 3 (0,5 mm) tercih edilmektedir. Bu da 0,3-0,4 mm aralığının makul bir uzlaşım noktası olduğunu doğrulamaktadır.

- Havuz derinliği: Tapa son yüksekliği üzerinde havuz çapından daha belirgin bir etki göstermekte, en iyi sonucu seviye 3'te (0,3 mm) vermektedir.
- Havuz çapı: İncelenen dört çıktının tamamında en düşük delta değerine sahiptir ve pratik açıdan ihmal edilebilir düzeyde kalmaktadır.

İstatistiksel analiz sonuçları, mühendislik tabanlı değerlendirmede öne sürülen 0,3-0,4 mm bunya alt kenar uzunluğu, 0,3 mm havuz derinliği ve 18 kA-18 cycle-7 kN proses seti kombinasyonunu doğrulamaktadır. Bu kombinasyonun tapa yüksekliğini 21,5 mm tasarım sınırının altında tutarken yeterli kaynak hacmini sağladığı ve elektrik gücü açısından da makul bir seviyede kaldığı görülmektedir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, aks kaldırma körüğü sistemine ait S420MC malzemeden üretilen plaka-bunya projeksiyon kaynağı bağlantısının proses parametreleri, ANSYS tabanlı elektro-termal-mekanik sonlu elemanlar simülasyonları ve Taguchi L9 deney tasarımı yaklaşımı bütünleşik biçimde kullanılarak optimize edilmiştir. Elde edilen bulgular aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Bunya üst yüzeyindeki maksimum sıcaklık, akım ve cycle değerleriyle artmakta, bunya alt kenar uzunluğu ile azalmaktadır; akım-cycle artışı bunya erimesini ve tapa yüksekliğini olumlu yönde etkilerken elektrik gücünü de artırmaktadır.
- Havuz çapının incelenen çıktılar üzerindeki etkisi istatistiksel olarak ihmal edilebilir düzeydedir; buna karşın havuz derinliğindeki artış tapa yüksekliği açısından olumlu sonuç vermektedir.
- Taguchi S/N ve ortalama yanıt analizleri, incelenen dört çıktı büyüklüğünün tamamında kaynak proses setinin birincil, bunya alt kenar uzunluğunun ise ikincil derecede etkili faktör olduğunu istatistiksel olarak doğrulamıştır.
- Mühendislik tabanlı ve istatistiksel değerlendirmelerin örtüşmesi sonucunda, 0,3-0,4 mm bunya alt kenar uzunluğu, 0,3 mm havuz derinliği ve 18 kA-18 cycle-7 kN kaynak proses setinden oluşan kombinasyonun, tasarım şartı olan 21,5 mm tapa yüksekliği sınırını aşmadan yeterli kaynak hacmini sağlayan ve enerji tüketimi açısından da uygun bir çözüm olduğu belirlenmiştir.
- Geliştirilen sonlu elemanlar tabanlı optimizasyon yaklaşımının, benzer projeksiyon kaynağı uygulamalarında fiziksel deneme sayısını azaltarak proses geliştirme süresini kısaltma potansiyeli taşıdığı değerlendirilmektedir.

İlerleyen çalışmalarda, bu çalışmada belirlenen optimum parametre setinin fiziksel kaynak testleri ile doğrulanması ve birleşimin statik/dinamik mekanik dayanımının deneysel olarak incelenmesi planlanmaktadır.

REFERANSLAR

[1] J. W. Ringsberg, P. Orvegren, H.-F. Henrysson, ve G. Åkerström, “Sheet metal fatigue near nuts welded to thin sheet structures”, *International Journal of Fatigue*, c. 30, sy. 5, ss. 877-887, May. 2008, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2007.06.008.

[2] M. Karpiński, P. Sokołowski, P. Kustroń, Z. Mikno, W. Jopek, ve J. Pikuła, "Development of a Quality Control System Using Modal Analysis to Evaluate a Multi-Point Projection Welding Process", *Materials*, c. 17, sy. 20, s. 5005, Oca. 2024, doi: 10.3390/ma17205005.
[3] N. Akkaş, E. İlhan, S. Aslanlar, ve F. Varol, "The Effect Of Nugget Sizes On Mechanical Properties In Resistance Spot Welding Of SPA-C Atmospheric Corrosion Resistant Steel Sheets Used In Rail Vehicles*", *Materials Testing*, c. 56, sy. 10, ss. 879-883, Eki. 2014, doi: 10.3139/120.110646.
[4] A. Govik, L. Nilsson, ve R. Moshfegh, "Finite element simulation of the manufacturing process chain of a sheet metal assembly", *Journal of Materials Processing Technology*, c. 212, sy. 7, ss. 1453-1462, Tem. 2012, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2012.02.012.
[5] I. Granell, A. Ramos, ve A. Carnicero, "A Geometry-Based Welding Distortion Prediction Tool", *Materials*, c. 14, sy. 17, s. 4789, Oca. 2021, doi: 10.3390/ma14174789.
[6] P. Bhuyan, S. S. Sahoo, S. Mahananda, ve D. K. Bagal, "Optimisation of resistance spot welding parameters using Taguchi's orthogonal array", *Materials Today: Proceedings*, Şub. 2024, doi: 10.1016/j.matpr.2024.01.052.
[7] S. Ha, S. P. Murugan, K. P. Marimuthu, Y. Park, ve H. Lee, "Estimation of lobe curve with material strength in resistance projection welding", *Journal of Materials Processing Technology*, c. 263, ss. 101-111, Oca. 2019, doi: 10.1016/j.jmatprotec.2018.07.037.
[8] A. V. Oprea, R. C. Ciocoiu, G. Constantin, C. C. Rusu, ve I. Voiculescu, "Optimization of Parameters in Multi-Spot Projection Welding of Thin Aluminized Steel Sheets", *Applied Sciences*, c. 15, sy. 19, s. 10530, Oca. 2025, doi: 10.3390/app151910530.
[9] M. Schmid, P. Tomek, ve P. Hanus, "Multi-physical contact simulation in Vehicle applications", *PEA*, c. 28, sy. 4, ss. 369-374, Eki. 2022, doi: 10.30657/pea.2022.28.45.
[10] G. Meneghetti, A. Campagnolo, ve D. Rigon, "Multiaxial fatigue strength assessment of welded joints using the Peak Stress Method – Part II: Application to structural steel joints", *International Journal of Fatigue*, c. 101, ss. 343-362, Ağu. 2017, doi: 10.1016/j.ijfatigue.2017.03.039.
[11] M. L. Larsen, V. Arora, M. Lützen, R. R. Pedersen, ve E. Putnam, "Fatigue life estimation of the weld joint in K-node of the offshore jacket structure using stochastic finite element analysis", *Marine Structures*, c. 78, s. 103020, Tem. 2021, doi: 10.1016/j.marstruc.2021.103020.

KATAMARAN ŞAMANDIRA MODELİNDE SÜRÜKLENME KUVVETİNİN YAPAY SİNİR AĞLARI İLE TAHMİNİ

Dr. Öğr. Üyesi Bülent KURT
Balıkesir University, Department of Aviation Management, Edremit Civil Aviation College, 103000 Edremit, Balıkesir
ORCID ID: 0000-0002-1741-5427

ÖZET

Deniz uçaklarının su üzerindeki operasyonlarında kritik rol oynayan katamaran şamandıralarının tasarımı, gövde direncinin en aza indirilmesini gerektirmektedir. Bu süreçte ihtiyaç duyulan hidrodinamik performans verileri genellikle fiziksel çekme tankı testleriyle elde edilmektedir. Ancak bu testlerin maliyetli ve zaman alıcı olması, erken tasarım aşamalarında yapay zeka tabanlı tahmin modellerinin kullanımını oldukça önemli hale getirmektedir. Bu çalışmada, Syamsuar ve ark. (2023) tarafından 1:10 ölçekli bir katamaran şamandırası modeli üzerinde gerçekleştirilen çekme tankı deneylerinden elde edilen veriler temel alınarak, zamana (t, s) ve hıza (V, m/s) bağlı sürüklenme kuvvetini (Fx, N) yüksek doğrulukla tahmin eden bir Yapay Sinir Ağı (YSA) geliştirilmiştir. Modelin genellenebilirliğini artırmak ve aşırı öğrenmeyi engellemek amacıyla 5 katlı çapraz doğrulama (5-fold cross-validation) tekniği kullanılmış; Levenberg-Marquardt (LM), Bayesian Regularization (BR) ve Scaled Conjugate Gradient (SCG) algoritmalarının performansları karşılaştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde, Fx değerini tahmin etmede en yüksek başarıyı ortalama 0.98239 determinasyon katsayısı (R^2), 0.000938 ortalama karesel hata (MSE) ve 0.0217 ortalama mutlak hata (MAE) değerleri ile Bayesian Regularization (BR) algoritması göstermiştir. Levenberg-Marquardt (LM) algoritması ise ortalama 0.98188 R^2 değeri ile BR'ye oldukça yakın bir performans sergilemiştir. Hesaplama süresi açısından SCG algoritması ortalama 2.51 saniye ile en hızlı model olsa da tahmin doğruluğu (R^2=0.97752) diğerlerinden düşük kalmıştır. Sonuç olarak, çekme tankı deney sonuçları ile YSA tahminleri arasındaki yüksek uyum, makine öğrenmesi modellerinin hidrodinamik kuvvet analizlerinde son derece güvenilir olduğunu kanıtlamıştır. Önerilen bu YSA yaklaşımının, gelecekteki deniz uçağı tasarımlarında fiziksel test ihtiyaçlarını ve prototipleme maliyetlerini azaltacak güçlü bir simülasyon aracı olarak kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yapay Sinir Ağları, Katamaran Şamandıra, Sürüklenme Kuvveti (Fx), Deniz uçağı, Makine Öğrenmesi.

PREDICTION OF DRAG FORCE IN A CATAMARAN FLOATER MODEL USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS

ABSTRACT

The design of catamaran floaters, which play a critical role in the waterborne operations of seaplanes, requires the minimization of hull resistance. The hydrodynamic performance data required in this process are typically obtained through physical towing tank tests. However, due to the costly and time-consuming nature of these tests, the use of artificial intelligence-based prediction models has become highly crucial in the early design stages. In this study, an Artificial Neural Network (ANN) was developed to predict the drag force (Fx, N) with high accuracy as a function of time (t, s) and speed (V, m/s), based on the towing tank experimental data obtained from a 1:10 scale catamaran floater model by Syamsuar et al. (2023). To improve the generalizability of the model and prevent overfitting, a 5-fold cross-validation technique was employed, and the performances of the Levenberg-Marquardt (LM), Bayesian Regularization (BR), and Scaled Conjugate Gradient (SCG) algorithms were compared. An analysis of the results revealed that the Bayesian Regularization (BR) algorithm achieved the highest predictive performance for Fx, yielding an average coefficient of determination (R^2) of 0.98239, a mean squared error (MSE) of 0.000938, and a mean absolute error (MAE) of 0.0217. The Levenberg-Marquardt (LM) algorithm demonstrated a very close performance to BR with an average R^2 value of 0.98188. Although the SCG algorithm was the fastest model in terms of computational time with an average of 2.51 seconds, its prediction accuracy (R^2 = 0.97752) remained lower than the others. Consequently, the high agreement between the towing tank experimental results and the ANN predictions has proven that machine learning models are highly reliable for hydrodynamic force analyses. It is evaluated that this proposed ANN approach can be utilized as a robust simulation tool to reduce physical testing requirements and prototyping costs in future seaplane designs.

Keywords: Artificial Neural Networks, Catamaran Floater, Drag Force (Fx), Seaplane, Machine Learning.

GÜMÜŞHANE TARİHİ KONUTLARINDA GELENEKSEL MALZEME KULLANIMI VE YAPIM SİSTEMLERİ: AKAGÜN EVİ ÖRNEĞİ

Öğr. Gör. Dr. Özgül DEMİRAĞ
Gumushane University, Gumushane Vocational School, Depart. of Architecture and Urban Planning, 29100 Gumushane
ORCID ID: 0000-0002-4605-1378

ÖZET

Geleneksel konutlar, yerel malzemelerin ve yapım tekniklerinin bölgesel mimari karakterin oluşumundaki rolünü ortaya koyan önemli kültürel miras unsurlarıdır. Gümüşhane tarihi konutları da taş, ahşap ve kerpiç gibi yapı malzemelerinin farklı yapım sistemleri içerisinde kullanıldığı özgün bir yapı geleneğini yansıtmaktadır. Gümüşhane geleneksel konutları üzerine gerçekleştirilen çalışmalarda yapıların plan, cephe ve mimari özelliklerinin ağırlıklı olarak ele alındığı, geleneksel malzeme kullanımı ve yapım sistemlerinin ise çoğunlukla genel tanımlamalar kapsamında değerlendirildiği görülmektedir. Bu çalışmada, Gümüşhane kent merkezinde yer alan tescilli Erdemir Akagün Evi, geleneksel malzeme kullanımı ve yapım sistemleri odağında incelenmektedir. Bu kapsamda yapının farklı katlarında kullanılan taş, ahşap ve kerpiç gibi yapı malzemeleri ile bu malzemelerin yapı sistemi içerisindeki kullanım içimleri ele alınmakta; taş yığma duvar, ahşap çatkı ve kerpiç dolgudan oluşan hımış gibi yapım sistemleri değerlendirilmektedir. Ayrıca yapıdaki malzeme ve sistem farklılıklarının katlara ve yapı bölümlerine göre dağılımı üzerinde durulmaktadır. İnceleme, yapıya ilişkin yazılı ve görsel kaynaklar ile yerinde gözlem ve fotoğrafik belgeleme verilerinin birlikte değerlendirilmesine dayanmaktadır. Çalışma ile Akagün Evi'nde geleneksel malzemelerin kullanım biçimleri ve gözlemlenebilen yapım sistemi özelliklerinin ortaya konulması ve yapının geleneksel yapı karakterinin bu açıdan değerlendirlmesi amaçlanmaktadır.

Anahtar kelimeler: Geleneksel yapı malzemesi, geleneksel yapım teknikleri, Gümüşhane, tarihi yapı, yapım sistemi

TRADITIONAL MATERIAL USE AND CONSTRUCTION SYSTEMS IN HISTORICAL HOUSES OF GUMUSHANE: THE AKAGÜN HOUSE EXAMPLE

ABSTRACT

Traditional houses are important cultural heritage elements that reveal the role of local materials and construction techniques in the formation of regional architectural character. Historical houses in Gümüşhane also reflect a unique building tradition where building materials such as stone, wood, and adobe are used within different construction systems. Studies on traditional houses in Gümüşhane have shown that the plan, facade, and architectural features of the buildings are predominantly considered, while the use of traditional materials

and construction systems are mostly evaluated within general definitions. This study examines the registered Erdemir Akagün House, located in the city center of Gümüşhane, focusing on its traditional material use and construction systems. The study analyzes building materials such as stone, wood, and adobe used on different floors of the building, their application within the building system, and evaluates construction systems such as stone masonry walls, wooden frames, and adobe infill. Furthermore, the distribution of material and system differences across floors and building sections is examined. The study is based on a combined evaluation of written and visual sources related to the building, as well as on-site observations and photographic documentation. The aim of the study is to reveal the forms of use of traditional materials and observable construction system characteristics in the Akagün House, and to evaluate the traditional building character from this perspective.

Keywords: Traditional building materials, traditional construction techniques, Gümüşhane, historical building, construction system

TARİHİ BİR YAPININ REKONSTRÜKSİYONUNDA ALTERNATİF DÖŞEME SİSTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMALI YAPISAL ANALİZİ

Öğr. Gör. Dr. Özgül DEMİRAĞ
Gumushane University, Gumushane Vocational School, Depart. of Architecture and Urban Planning, 29100 Gumushane
ORCID ID: 0000-0002-4605-1378

ÖZET

Tarihi yapıların rekonstrüksiyonunda özgün mimari ve geometrik özelliklerin korunması önemli olmakla birlikte, güncel yapım teknikleri ve alternatif yapısal çözümler farklı uygulama olanakları sunmaktadır. Bu kapsamda, geleneksel yapım sistemlerinin güncel mühendislik yaklaşımlarıyla birlikte değerlendirilmesi, rekonstrüksiyonu gereçekleştirilen yapıların performansının iyileştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada bir tarihi yapının rekonstrüksiyon senaryosu üzerinden alüminyum köpük sandviç (AKS) döşeme sisteminin yapısal davranış üzerindeki etkisi karşılaştırmalı olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Bu çalışma kapsamında, bir tarihi yapının geometrik özellikleri esas alınarak yapısal modeller oluşturulmuş ve geleneksel döşeme sistemi ile AKS döşeme sisteminin kullanıldığı alternatif modeller karşılaştırılmıştır. Modellerin değerlendirilmesinde yapının dinamik özellikleri ve küresel yapısal davranışı dikkate alınmış; yapı ağırlıkları, doğal titreşim periyotları, taban kesme kuvvetleri ve katlar arası göreli ötelenmeler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ayrıca döşeme sistemindeki değişimin yapı kütlesi ve buna bağlı olarak yapının dinamik özellikleri üzerindeki etkisi değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, döşeme sisteminin değiştirilmesinin yapı kütlesi ve dinamik karakteristikleri üzerinde etkili olduğunu ve bunun yapısal davranışta farklılıklara neden olabildiğini göstermektedir. Çalışma tarihi yapıların rekonstrüksiyonunda özgün geometrik özelliklerin korunmasıyla birlikte AKS döşeme sistemlerinin alternatif bir döşeme çözümü olarak değerlendirilmesine ve bu değişimin yapısal davranış üzerindeki etkilerinin ortaya konulmasına yönelik bir yaklaşım sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Alternatif döşeme sistemi, alüminyum köpük sandviç (AKS), rekonstrüksiyon, tarihi yapı, yapısal davranış

COMPARATIVE STRUCTURAL ANALYSYS OF ALTERNATIVE FLOORING SYSTEMS IN THE RECONSTRUCTION OF A HISTORICAL BUILDING

ABSTRACT

In the reconstruction of historical buildings, while preserving the original architectural and geometric features significantly, current construction techniques and alternative structural solutions offer different application possibilities. This potential is realized by evaluating traditional production results together with current engineering practices, and by considering

the reconstructed buildings from a perspective of vision. This becomes more flexible through the reflectionful examination of the aluminum foam fabrication (AFS) flooring system on the structural form via a combined reconstruction scenario of history. In this study, a model of the change based on the geometric characteristics of a historical building was developed, and alternative models of the traditional floor system and the AKS floor system were compared. The evaluation of the models revealed no decrease in dynamic properties and global strength; structural weights, natural ratio periods, base shear forces, and inter-story displacements were compared as parameters. Furthermore, the structure of the floor system change and its effect on general dynamic properties were evaluated. The results show that the floor system change affects the structural and dynamic properties and can cause differences in structural deformation. This study presents an approach to evaluating AKS floor solutions as an alternative floor solution in the reconstruction of historical buildings, while preserving the original geometric characteristics, and to reveal the effects of this change on the strength of the building.

Keywords: Alternative floor system, aluminum foam sandwich (AFS), reconstruction, historical building, structural behavior.

GELENEKSEL HALI MOTİFLERİNİN KÜBİST YAKLAŞIMLA ÇAĞDAŞ HALI TASARIMINA UYARLANMASI

Betül TURAN
Dokuteks Tekstil (Koza Halı Tasarım Merkezi),83104, Başpınar, Gaziantep
ORCID ID: 0009-0004-4346-9375
Ece Nisa ÇELİK
Dokuteks Tekstil (Koza Halı Tasarım Merkezi),83104, Başpınar, Gaziantep
ORCID ID: 0009-0006-9200-9513
Dr.Öğr.Üyesi Gülbin FİDAN
Gaziantep Üniversitesi, Naci Topçuoğlu MYO,83204, Başpınar, Gaziantep
ORCID ID: 0000-0002-7958-2626

ÖZET

Yapılan çalışmanın tasarım anlayışı, Orta Asya'dan Anadolu'ya uzanan köklü bir geçmişe sahip geleneksel Türk halı dokumacılığı ile özellikle 16. ve 17. yüzyıllarda altın çağını yaşayan ve Rönesans tablolarına dahi konu olan tarihi Uşak halısı mirasının, modern sanat ve tasarım akımlarıyla harmanlandığı çağdaş bir yaklaşım üzerine kuruludur. El emeğini ve zanaatkârlığı temsil eden geleneksel anlayış doğrultusunda hem klasik tasarımları hem de geometrik soyutlamaya dayalı modern tasarımları bünyesinde barındırmayı amaçlayan bu çalışma, modern tasarımlarında nesneleri geometrik parçalara bölerek farklı bakış açıları sunan Kübizm akımından ilham almaktadır. Aynı zamanda, klasik Uşak halılarının simgeleşmiş madalyon, yıldız ve bulut gibi geleneksel motiflerini parçalayıp kaydırılmış eksenlerle yeniden ele almaktadır. Bu estetik dönüşüm, sanat ve zanaatı bütünleştirerek zanaat bilgisini endüstriyel üretim süreçlerine aktarmayı hedefleyen Bauhaus Okulu'nun tasarım felsefesiyle de kavramsal bir süreklilik göstermektedir. Konutların dinlenme ve sakinlik ihtiyacına cevap verebilmek adına geleneksel Uşak halılarının yüksek kontrastlı kırmızı-lacivert paleti yerine; krem, beyaz, terra, kahverengi, sarı ve gri tonlarından oluşan sakin bir renk paleti tercih edilmiştir. Bu renklerden krem ve beyaz, geleneksel halı zeminlerine ve kontur kullanımına referans verirken; toprak esaslı terra ve kahverengi tonları, kök boya kırmızısının yumuşatılmış bir karşılığını oluşturmaktadır. Sarı, tasarıma altın sarısı vurgular kazandırırken, nötr gri ise renk paletini çağdaş iç mekân eğilimleriyle dengellemektedir. Çalışmanın fiziksel yapısında ise üstün yumuşaklık, mukavemet ve dökümlülük sağlayan mikro polyester hav iplikleri ile motiflere üç boyutlu derinlik kazandıran konvansiyonel çöken polyester iplikler bir arada kullanılmış; esnekliği artırmak ve sürdürülebilirliğe katkı sağlamak amacıyla da atkı ipliğinde jüt yerine geri dönüşümlü pamuk tercih edilmiştir. Sonuç olarak, "geleneksel motif – Kübist soyutlama – çağdaş kompozisyon" aşamaları doğrultusunda şekillenen bu özgün yaklaşım, tarihî mirası günümüz tasarım anlayışıyla buluşturmayı, geleneksel üretim kültürünün günümüzde

yaşatılmasına katkı sağlamayı ve bu değerlerin gelecek kuşaklara aktarılmasını amaçlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Motif, halı tasarımı, kübizm, uşak halısı, bauhaus

ADAPTING TRADITIONAL CARPET MOTIFS TO CONTEMPORARY CARPET DESIGN THROUGH A CUBIST APPROACH

ABSTRACT

The design concept developed in this study is based on a contemporary approach that brings together the long-established tradition of Turkish carpet weaving, extending from Central Asia to Anatolia, with the historical heritage of Uşak carpets, which reached their golden age particularly during the 16th and 17th centuries and were even depicted in Renaissance paintings, through an interpretation informed by modern art and design movements. Rooted in a traditional understanding that embodies craftsmanship and handwork, the study aims to incorporate both classical compositions and modern designs based on geometric abstraction, drawing inspiration from Cubism, particularly its approach of fragmenting objects into geometric forms and presenting them from multiple viewpoints. At the same time, iconic motifs characteristic of classical Uşak carpets, including medallions, stars, and cloud motifs, are fragmented and reinterpreted through compositions structured around shifted axes. This aesthetic transformation also reflects a conceptual continuity with the design philosophy of the Bauhaus School, which sought to unite art and craft and to transfer craft-based knowledge into industrial production processes. To address the need for rest and tranquility in residential interiors, a calm palette comprising cream, white, terra, brown, yellow, and grey tones was selected in place of the high-contrast red and navy-blue palette traditionally associated with Uşak carpets. Cream and white refer to the ground colors and contour treatments of traditional carpets, while the earth-derived terra and brown tones offer a softened interpretation of madder red. Yellow introduces golden-yellow accents into the compositions, while neutral grey balances the palette in accordance with contemporary interior design trends. In terms of the carpet's physical structure, micro-polyester pile yarns, selected for their superior softness, strength, and drape, were combined with conventional polyester yarns that create a recessed effect and impart three-dimensional depth to the motifs; recycled cotton was used in the weft instead of jute to enhance flexibility and contribute to sustainability. Overall, this distinctive approach, shaped through the stages of "traditional motif – Cubist abstraction – contemporary composition," seeks to bring historical heritage into dialogue with contemporary design, contribute to the preservation of traditional production culture in the present day, and support the transmission of these values to future generations.

Keywords: motif, carpet design, cubism, uşak carpet, bauhaus

WABİ-SABİ ESTETİĞİNİN ÇAĞDAŞ HALI TASARIMINA UYARLANMASI

Ece Nisa ÇELİK
Dokuteks Tekstil (Koza Halı Tasarım Merkezi),83104, Başpınar, Gaziantep
ORCID ID: 0009-0006-9200-9513
Betül TURAN
Dokuteks Tekstil (Koza Halı Tasarım Merkezi),83104, Başpınar, Gaziantep
ORCID ID: 0009-0004-4346-9375
Dr.Öğr.Üyesi Gülbin FİDAN
Gaziantep Üniversitesi, Naci Topçuoğlu MYO,83204, Başpınar, Gaziantep
ORCID ID: 0000-0002-7958-2626

ÖZET

Yapılan çalışmada, kökenleri 13. yüzyıla ve Budist öğretilere dayanan Japon Wabi-Sabi felsefesinden ilham alan yenilikçi bir makine halısı koleksiyonunun geliştirilmesi amaçlanmıştır. Evrendeki her şeyin geçici, eksik ve kusurlu olduğunu kabul ederek kusurluluğun ve sadeliğin içindeki estetik değeri yücelten bu felsefe doğrultusunda, çalışmada klasik halıcılığın simetrik yapılarından kaçınılarak düzensiz kompozisyonlar, kesintili çizgiler, amorf formlar ve kontrollü tasarım kusurları birer estetik tasarım öğesi olarak kullanılmıştır. Sektörde yaygın olarak tercih edilen akrilik halıların kesikli elyaf yapısından kaynaklanan tozuma problemi ile polipropilen halıların uzun süreli kullanımda esneklik özelliklerini kaybedip matlaşma ve keçeleşme dezavantajlarına karşın; dokunduğu yüzeye ipeksi bir tuşe, parlaklık, yüksek dayanıklılığı ile az tozuma avantajı kazandıran mikrolif polyester iplikler hav ipliği olarak kullanılmıştır. Mikrolif hav ipliklerinin sunduğu yumuşaklık ve üstün performansla birlikte, halı yüzeyinde dokusal bir zenginlik ve görsel derinlik oluşturmak amacıyla konvansiyonel polyester iplikler çöken hav ipliği olarak kullanılmış ve tasarımlarda bir denge oluşturulmuştur. Konvansiyonel polyester hav iplikleri, halı dokuma işlemi sonrasında uygulanan lark prosesi ile çökme davranışı göstererek halı yüzeyinde kontrollü bir deformasyon ve farklı hav boyları oluşturmuş, böylece çizgisel desenlerin belirginleşerek derinlik kazanmasını sağlamıştır. Tasarımlar için beyaz, bej, kahverengi, terra, gri, sarı ve siyah tonlarından oluşan, doğallığı simgeleyen ve yapaylıktan uzak bir renk paleti belirlenerek, Wabi-Sabi felsefesinin sunduğu kusurlu ve doğal estetiği mikrolif teknolojisinin teknik avantajlarıyla birleştirilmiştir. Sonuç olarak, hem çevreye ve bütçeye duyarlı hem de modern yaşam alanlarına sakinlik, dinginlik ve benzersiz bir dokusal derinlik getiren zamansız bir tasarım yaklaşımı ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: Wabi-Sabi, halı tasarımı, mikrolif, polyester

ADAPTATION OF WABI-SABI AESTHETICS TO CONTEMPORARY CARPET DESIGN

ABSTRACT

The present study aimed to develop an innovative machine-made carpet collection inspired by the Japanese philosophy of Wabi-Sabi, which dates back to the 13th century and is rooted in Buddhist teachings. Based on the principle that everything in the universe is transient, incomplete, and imperfect, Wabi-Sabi embraces the aesthetic value inherent in imperfection and simplicity. In line with this philosophy, the study deliberately moved away from the symmetrical structures characteristic of classical carpet design, incorporating irregular compositions, interrupted lines, amorphous forms, and controlled design imperfections as aesthetic elements. While acrylic carpets, which are widely preferred in the industry, are associated with dust generation due to their staple-fiber structure, polypropylene carpets may lose their flexibility during prolonged use, resulting in disadvantages such as dullness and felting. To overcome these limitations, microfiber polyester yarns were employed as pile yarns, providing the carpet surface with a silky hand, enhanced luster, high durability, and low tendency to generate dust. In addition to the softness and superior performance provided by microfiber pile yarns, conventional polyester yarns were incorporated as collapsing pile yarns to introduce textural richness and visual depth to the carpet surface and to establish a balanced design composition. Following the carpet weaving process, the conventional polyester pile yarns exhibited a controlled collapsing behaviour through the application of a lark process, resulting in controlled deformation and variations in pile height across the carpet surface. This effect enhanced the definition of linear patterns and contributed to a greater sense of depth and dimensionality. For the designs, a natural colour palette consisting of shades of white, beige, brown, terra, gray, yellow, and black was selected to evoke naturalness and minimize artificial visual effects. Thus, the imperfect and organic aesthetic principles of Wabi-Sabi were integrated with the technical advantages offered by microfiber technology. As a result, a timeless design approach was developed that combines environmental and economic considerations with the ability to introduce calm, serenity, and distinctive textural depth into contemporary living spaces.

Keywords: Wabi-Sabi, carpet design, microfiber, polyester

ÇAĞATAY EDEBİYATINDA HÜVEYDÂ DİVANI ÜZERİNE GENEL BİR DEĞERLENDİRME

Dr. Öğr. Üyesi Aliye YILMAZ
SDÜ İslam Tarihi ve Sanatları ABD.
aliyeyilmaz@sdu.edu.tr
ORCID ID: 0000000233680239

ÖZET

Çağatay edebiyatının önemli simalarından biri olan Hüveydâ'nın asıl adı Hoca Nazar olup, Gâyib Nazar'ın oğlu olduğu ve hayatının önemli bir bölümünü Çimyan'da geçirdiği bilinmektedir. Tasavvufî bir çevreye mensup olan Hüveydâ'nın hayatı hakkında mevcut bilgilerin sınırlı olması, onun edebî şahsiyetinin ve eserinin tanınmasını güçleştiren hususlardan biridir. Bununla birlikte günümüze ulaşan eserlerinden özellikle Divanı, Hüveydâ'nın şair kimliği ve şiir anlayışı hakkında bilgi veren başlıca kaynak niteliğindedir. Eser, içerdiği dinî, tasavvufî ve ahlaki unsurlar bakımından da dikkat çekmektedir. Şiirlerde özellikle ahlaki öğütlerin, dünya hayatının geçiciliğinin ve insanın manevi yönelişinin öne çıktığı görülmektedir.

Bu çalışmanın temel amacı, hakkında çok az çalışma bulunan Hüveydâ'yı ve Divanı'nı genel hatlarıyla tanıtmaktır. Bu kapsamda öncelikle şairin hayatı, adı, ailesi ve yaşadığı çevre hakkında mevcut bilgiler ele alınmış; ardından edebî şahsiyeti hakkında genel değerlendirmelere yer verilmiştir. Çalışmanın devamında Hüveydâ Divanı'nın genel özellikleri ve şiirlerin muhtevasında öne çıkan başlıca konular üzerinde durulmuştur.

Hüveydâ'nın hayatına ilişkin bilgilerin sınırlı olması, Divanını şairin edebî şahsiyetini ve şiir dünyasını anlamada önemli bir kaynak hâline getirmektedir. Tasavvufî bir çevrenin etkisini taşıyan eser, ahlaki öğreti ve dinî düşünce etrafında şekillenen muhtevasıyla Hüveydâ'nın şahsiyetine ve düşüncesine dair önemli ipuçları sunmaktadır. Bu çalışma, Hüveydâ'nın hayatı ve edebî şahsiyeti ile Divanı'nın genel özelliklerini bir arada sunarak şair ve eseri hakkında bütünlüklü bir bilgi vermeyi amaçlamaktadır. Böylece XVIII. yüzyıl Çağatay edebiyatının başat isimlerinden biri olan Hüveydâ'nın ve Divanı'nın edebiyat tarihindeki yerinin daha açık biçimde ortaya konulmasına katkı sağlanması hedeflenmektedir.

Anahtar kelimeler: Çağatay Edebiyatı, Hüveydâ, Divan Şiiri, Klasik Edebiyat, Edebî Üslup.

A GENERAL ASSESSMENT OF THE HÜVEYDÂ DİVAN İN CHAGATAİ LİTERATURE

ABSTRACT

Hüveydâ, one of the important poets of Chagatai literature, has limited information about his life and literary personality. The poet, who lived in the 18th century, was originally named

Hoca Nazar, and it is known that he was the son of Gâyib Nazar and spent a significant part of his life in Chimyan. The limited information available about Hüveydâ's life, who belonged to a Sufi milieu, is one of the factors that makes it difficult to understand his literary personality and work. Nevertheless, his Dīvān, which has survived to the present day, is the primary source of information about Hüveydâ's poetic identity and understanding of poetry. The Dīvān is also noteworthy for the religious, Sufi, and moral elements it contains. In the poems, moral advice, the transience of worldly life, and the spiritual orientation of the individual are particularly prominent.

The main purpose of this study is to introduce Hüveydâ and his Dīvān in general terms. Within this scope, the available information about the poet's life, name, family, and the environment in which he lived is first addressed; subsequently, general evaluations of his literary personality are included. In the continuation of the study, the general characteristics of Hüveydâ's Dīvān and the main subjects prominent in the content of the poems are discussed.

The limited information about Hüveydâ's life makes his Dīvān an important source for understanding the poet's literary personality and poetic world. The work, bearing the influence of a Sufi milieu, offers important clues about Hüveydâ's personality and thought through its content shaped around moral instruction and religious thought. This study aims to provide comprehensive information about the poet and his work by presenting Hüveydâ's life and literary personality together with the general characteristics of his Dīvān. Thus, it is aimed to contribute to a clearer understanding of the place of Hüveydâ, one of the important figures of 18th-century Chagatai literature, and his Dīvān in the history of literature.

Keywords: Chagatai Literature, Hüveydâ, Divan Poetry, Classical Literature, Literary Style.

GİRİŞ

Çağatay edebiyatı, Türkistan coğrafyasında gelişen klasik Türk edebiyatının önemli bir kolu olarak, estetik ve edebî birikiminin yanında dinî, tasavvufî ve ahlâkî düşüncenin yansıttığı zengin bir gelenek olması bakımından da dikkat çekmektedir (Hamdard, 2018). Bu gelenek içerisinde şiir, yalnızca güzelliğin ve aşkın ifade aracı değil; insanın kendisini, dünyayı ve hakikati anlamlandırma çabasının önemli bir vasıtası olmuştur. Bu bakımdan Çağatay şiirinin farklı dönemlerde ortaya koyduğu eserlerin incelenmesi, dönemin kültürel ve düşünsel dünyasının anlaşılmasına katkı sağlamaktadır.

Bu edebî gelenek içerisinde yer alan Hüveydâ Divanı, şiir tür ve şekilleri bakımından gösterdiği çeşitliliğin yanı sıra muhtevasındaki dinî, tasavvufî, ahlâkî ve beşerî unsurların bir arada bulunmasıyla de dikkat çekmektedir. Divan'da gazel, rubai, müstezat ve muamma gibi farklı

nazım şekillerinin kullanılması, eserin klasik şiir geleneğiyle ilişkisini ortaya koyarken, eserde ele alınan aşk, gönül, insan, dünya, ölüm, ahlâk, irfan ve hakikat gibi konular şairin geniş bir muhteva dünyasına sahip olduğunu göstermektedir.

Hüveydâ'nın şiirlerinde tasavvufî düşüncenin belirgin bir yer tutması, Divan'ın dikkat çekici özelliklerinden biridir. Bununla birlikte şairin şiirlerini yalnızca tasavvufî metinler olarak değerlendirmek, onun edebî dünyasının bütününü ortaya koymak açısından yeterli değildir. Klasik şiirin aşk ve güzellik anlayışı, insan ve toplumla ilgili düşünceler, dinî öğütler, dünya hayatına yönelik değerlendirmeler ve bireysel duygular ise Divan'ın muhteva alanını oluşturmaktadır (Kaya, 2012). Dolayısıyla Hüveydâ'nın şiir dünyasının bütüncül biçimde ele alınması, onun edebî kişiliğinin daha doğru anlaşılmasına imkân sağlayacaktır.

Bu çalışmada Hüveydâ ve Divanı genel bir çerçevede ele alınmaktadır. Öncelikle şairin hayatı ve edebî kişiliği mevcut bilgiler ışığında değerlendirilecek, ardından Divan'ın şekil ve tür özellikleri üzerinde durulacaktır. Çalışmanın ağırlık noktasını ise şiirlerin muhteva bakımından genel değerlendirilmesi oluşturacaktır. Bu kapsamda şiirlerde öne çıkan dinî, tasavvufî, ahlâkî, aşıkane ve arifane unsurlar bir bütün içerisinde değerlendirilecektir. Zira Hüveydâ'nın Çağatay edebiyatındaki yeri ve Divanı'nın edebî özelliklerine ilişkin genel bir değerlendirmenin yapılması, her şeyden önce kültür hazinemizin zenginliklerinin tanıtılması bakımından önem arz etmektedir. .

1. HÜVEYDÂ'NIN HAYATI VE EDEBÎ KİŞİLİĞİ

1.1. Hayatı

Asıl adı Hoca Nazar, babasının adı Gâyıp Nazar olarak bilinen şairin divanında kullandığı edebî mahlası "Hüveydâ"'dır. Mevcut bilgilere göre Gâyıp Nazar, XVIII. yüzyılın başlarında, yaklaşık 1704 yılında, Mergilan'dan gelen bir grup akrabasıyla birlikte Çimyan'a yerleşmiştir. Burada evlenen Gâyıp Nazar'ın, hayatını Çimyan'da sürdürdüğü ve burada mektepdarlık yaptığı aktarılmaktadır. Hüveydâ'nın da burada dünyaya geldiği kabul edilmektedir (Tosun, 2020). Nitekim kendisi "Rahat-ı Dil" manzumesinin "Sebeb-i Nazm-ı Kitap" bölümünde kendi biyografisiyle ilgili şu bilgiler yer almaktadır:

كمينه نينگ آتى "خواجم نظردور – آتا سينينگ آتى "غايب نظر" دور

نسبتده اوشى و مولودى "چيميان – غريب و خاكسار و دل پريشان

Benim adım Hocam Nazar; Babamın adı Gayip Nazar'dır.

Nispetim Oş, doğum yerim Çimyan'dır; hakir ve gönlü perişan biriyim (Hüveydâ, Rahat-i Dil:1391)

Gâyıp Nazar'ın dönemin önemli tasavvufî şahsiyetlerinden Âfâk Hoca (Köprülü, 1988) ile bağlantılı bir tasavvuf çevresine mensup olduğu yönündeki bilgiler, Hüveydâ'nın yetiştiği manevî ortamın anlaşılması açısından dikkat çekicidir. Kaşgar ve çevresinde tanınan Âfâk Hoca'ya duyulan bağlılık sebebiyle oğluna "Hoca Nazar" adının verildiği ifade edilmektedir. Bu bilgi, Hüveydâ'nın daha sonraki şiirlerinde belirginleşen tasavvufî yöneliminin aile ve çevre bağlamının anlaşılması bakımından önem taşımaktadır.

Hüveydâ'nın ilk eğitimini Çimyan'da aldığı anlaşılmaktadır. Daha sonra dinî ve felsefî bilgisini geliştirmek amacıyla çevre vilayetlere gittiği, burada eğitimini sürdürdüğü ve farklı ilmî ve tasavvufî çevrelerle temas kurduğu belirtilmektedir. Hokand Medreselerinde eğitimini tamamladıktan sonra tekrar Çimyan'a dönen Hüveydâ, burada medresede hocalık yapmaya başlamış ve hayatının sonuna kadar öğretmenlik faaliyetini sürdürmüştür (Tosun, 2020). Böylece onun hayatında eğitim ve öğretim yalnızca bir meslek değil, bilgi ve irfanın gelecek nesillere aktarılmasını sağlayan önemli bir faaliyet olarak devam etmiştir.

Hüveydâ'nın hayatının son dönemlerine ilişkin bilgiler de sınırlıdır. Bununla birlikte şiirlerinden hareketle onun dinî ve tasavvufî düşünceyle güçlü biçimde ilişkili olduğu, insanın ahlâkî ve manevî olgunlaşmasını önemseyen bir anlayışa sahip bulunduğu görülmektedir. Divanında geçen bir mısrada yaşlandığını şu şekilde beyan eder:

ایلیک آلتمیش یاشادیم بیر یخشی طاعت قیلمه دیم

Ellik altmış yaşadım bir yahşi ta'at kılmadım (Hüveydâ Divanı, G. 248/1)

Beyitte şair, elli-altmış yıllık ömrünü geride bırakmasına rağmen Allah'a kulluk konusunda yeterince gayret göstermediğini ifade ederek pişmanlığını ve özeleştirisini dile getirmekte, böylece ömrün geçiciliğine ve insanın hayatını ibadetle değerlendirmesi gerektiğine dikkat çekmektedir. Hüveydâ'nın bu yaklaşımı, onun şiirlerinde tasavvufî düşüncenin belirgin bir şekilde yer aldığını göstermesi bakımından önemlidir. Nitekim özellikle Nakşibendî tasavvuf çevresiyle olan ilişkisi dikkate alındığında, tasavvufun onun düşünce dünyasının şekillenmesinde önemli bir rol oynadığı anlaşılmaktadır. Kaynaklarda Hüveydâ'nın babasından Nakşibendî icazeti aldığı ve kendisinden sonra oğlu Hâl Muhammed'in Oş şehrinde şeyhlik yaptığı belirtilmektedir (Tosun, 2020). Bu bilgiler, Hüveydâ'nın şiirlerinde görülen tasavvufî anlayışın yalnızca edebî bir söylemden ibaret olmadığını, şairin mensup olduğu tasavvufî çevre ve gelenekle doğrudan ilişkili olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla Hüveydâ'nın şiirlerinde insanın nefsini sorgulaması, dünya hayatının geçiciliğini fark etmesi, ömrünü kulluk ve ibadetle değerlendirmesi gerektiği yönündeki düşünceler, onun tasavvufî dünya görüşünün şiirlerine yansıyan temel unsurları arasında değerlendirilebilir.

1.2. Edebî Kişiliği

Hüveydâ'nın eserleri, onun döneminin ilmî ve edebî birikimine geniş ölçüde hâkim olduğunu göstermektedir. Şiirlerinden, Arapça ve Farsçaya vâkıf olmasının yanı sıra Özbek klasik edebiyatını ve dinî ilimleri derinlemesine bildiği, özellikle Kur'an ve hadislere dair kapsamlı bir bilgi birikimine sahip olduğu anlaşılmaktadır. Bu ilmî ve tasavvufî birikimi sayesinde döneminde âlim ve mutasavvıf bir şair olarak tanınmış, halkın da büyük teveccühünü kazanmıştır. "İşân Hüveydâ" adıyla Fergana Vadisi'nin yanı sıra Orta Asya Türkleri arasında da geniş bir şöhrete ulaşmıştır. Sahip olduğu ilmî ve tasavvufî birikim, güçlü sanat anlayışı ve özgün düşünce dünyası, XVIII. yüzyıl Özbek klasik edebiyatı ile dinî-tasavvufî edebiyatın gelişimine önemli katkılar sağlamıştır (Kaya, 2012). Bu yönüyle Hüveydâ, söz konusu edebî gelenek içerisinde yeni anlam ve mazmunların oluşmasına katkıda bulunan önemli şairlerden biri olarak değerlendirilmektedir.

Hüveydâ'nın eserlerinde dinî- tasavvufî anlayışına ait unsurların bulunması da edebî kişiliğinin önemli bir boyutudur. Nitekim kullandığı temalar ve seçtiği kavramlar, onun şiirlerinin düşünsel temelinin tasavvufî bir anlayışla şekillendiğini açıkça ortaya koymaktadır. Özellikle insanın nefsini terbiye etmesi, dünyaya aşırı bağlanmaması, hakikati araması ve manevî olgunluğa ulaşması gibi meseleler şiirlerinde önemli bir yer tutmaktadır.

Hüveydâ'nın edebî kişiliğinin bir diğer özelliği ise aşk ile irfanı birleştiren şiir anlayışıdır. Onda aşk, yalnızca sevgiliye duyulan beşerî bir duygu olmayıp, insanı hakikate götüren, gönlü dönüştüren ve manevî olgunlaşmayı sağlayan bir unsur olarak da karşımıza çıkar. Bu nedenle onun şiirlerinde aşk, gönül ve hakikat arasında güçlü bir anlam ilişkisi kurulmaktadır. Hüveydâ, klasik Çağatay şiirinin nazım biçimlerinden yararlanmakla birlikte, bu biçimleri dinî, ahlâkî ve tasavvufî düşüncelerini ifade etmek için kullanmaktadır. Özellikle Hüveydâ'nın divanı, klasik şiirin estetik mirasını korurken aynı zamanda dönemin dinî ve tasavvufî duyarlılıklarını yansıtan bir şiir mecmuası olarak değer vurgulanmaktadır. Bu bağlamda Hüveydâ'nın edebî şahsiyetinin oluşumunda, Türkistan sahasında kendisinden önce ve kendi döneminde yetişen önemli şairlerin etkisi görülmektedir. Özellikle Ahmed Yesevî, Ali Şîr Nevâî, Sûfî Allahyâr ve Şah Meşreb, Hüveydâ'nın edebî anlayışının şekillenmesinde öne çıkan isimlerdir. Bu şairlerin eserleri ve oluşturdukları edebî birikim, Hüveydâ'nın yetiştiği kültürel ve edebî ortamın önemli unsurları arasında yer almaktadır. Hüveydâ, söz konusu birikimden beslenerek kendi şiir anlayışını geliştirmiş ve kendisinden önceki edebî mirası devam ettirmiştir. Bu yönüyle Hüveydâ, Türkistan sahasındaki klasik şiir geleneğinin XVIII. yüzyıldaki temsilcilerinden biri

olarak değerlendirilmekte ve kendisinden önceki güçlü edebî miras ile sonraki dönem arasında bir bağ oluşturmaktadır.

2. HÜVEYDÂ DİVANI

2.1. Şekil ve Muhteva Özellikleri

Çalışmaya esas teşil eden Hüveydâ Divanı, nazım şekilleri bakımından zengin ve farklı şiir formlarını bünyesinde barındıran bir yapı göstermektedir. Divan'da 368 gazel, 5 müstezat, 54 murabba, 16 muhammas, 6 musaddas, 6 müsebba, 9 müsemmen, 7 mersiye ve 7 muaşşar/tercibend bulunmaktadır. Bunların yanı sıra eserde bir münâcât ve bir hikmet başlığı altında yer alan manzumeler de bulunmaktadır. Bu sayısal dağılım, gazelin Divan içerisindeki açık ağırlığını ortaya koymakla birlikte, Hüveydâ'nın farklı nazım biçimlerinden yararlanarak dinî, tasavvufî ve ahlâkî düşüncelerini farklı şiir formları içerisinde ifade ettiğini göstermektedir (Hüveydâ Divanı, 1391/2012).

Hüveydâ'nın gazellerinde aruzun farklı kalıplarından yararlanılmakla birlikte, özellikle fâilâtün ve müfteilün tef'ilelerini esas alan kalıpların daha yoğun biçimde kullanıldığı görülmektedir. Şairin vezin tercihleri, şiirlerinin ritmik yapısının yanı sıra Çağatay şiir geleneğiyle kurduğu ilişki bakımından da değerlendirilmelidir. Bu noktada Hüveydâ'nın yalnızca biçimsel bakımdan değil, şiirin anlam ve söyleyiş dünyası bakımından da kendisinden önceki ve çağdaşı şairlerle ilişki içerisinde olduğu görülmektedir (Khasanov; Kaya, 2014).

Hüveydâ'nın şiir dünyasında Ali Şîr Nevâyî'nin belirgin bir etkisi bulunmaktadır. Nevâyî'nin şiirlerini yakından takip ettiği ve onun oluşturduğu klasik Çağatay şiiri geleneğinden beslendiği anlaşılmaktadır. Bunun yanında, ona yakın bir zamanda yaşamış olması muhtemel olan Şah Meşreb ile ortaklaşan kalıp, mazmun ve söyleyişlerin bulunması dikkat çekmektedir. Özellikle tasavvufî düşüncenin şiirsel ifade biçimleri bakımından görülen bu benzerlikler, Hüveydâ'nın içinde bulunduğu edebî ve tasavvufî çevrenin ortak söyleyiş unsurlarını da gün ışığına çıkarması bakımından önemlidir (Meşreb Divanı). Bununla birlikte bu benzerliklerin yalnızca doğrudan etkilenme çerçevesinde değil, dönemin ortak tasavvufî şiir birikimi içerisinde değerlendirilmesi gerekmektedir.

Hüveydâ'nın gazellerini klasik gazel geleneğinden ayıran dikkat çekici özelliklerden biri, nasihat ve irşad merkezli söyleyişin belirgin olmasıdır. Şair, gazel formunun geleneksel olarak aşk, sevgili, ayrılık ve güzellik gibi temalar etrafında oluşturduğu estetik dünyayı bütünüyle terk etmemekle birlikte, bu formu çoğu zaman okuyucuya yönelik düşünsel ve ahlâkî bir hitap alanına dönüştürmektedir. Böylece gazel, Hüveydâ'da yalnızca duyguların ve estetik tasavvurların ifade edildiği bir nazım şekli olmaktan çıkarak insanı düşünmeye, kendisini

sorgulamaya ve manevî hakikate yönelmeye çağıran bir nasihat ve irşat vasıtası niteliği kazanmaktadır.

Divan'ın muhtevasında dünyanın faniliği önemli bir yer tutmaktadır. Dünya hayatının geçiciliği, insanın bu dünyaya aşırı bağlanmaması ve asıl hakikatin maddî varlığın ötesinde aranması gerektiği yönündeki düşünceler, şairin tasavvufî ve ahlâkî söyleminin temel unsurları arasındadır. Dünya, kalıcı bir varlık alanı olmaktan ziyade insanın imtihan edildiği geçici bir mekân olarak değerlendirilmekte; insanın dünya nimetleri karşısındaki tutumu manevî olgunlaşma açısından sorgulanmaktadır.

Bu bağlamda habersizlik kavramı da Hüveydâ'nın şiir dünyasında dikkat çeken meselelerden biridir. İnsanların hakikatten habersiz oluşu, gaflet hâli ve bu durumdan kurtulma gereği, şairin nasihat söyleminin önemli bir boyutunu meydana getirmektedir. Habersizlik yalnızca bilgi eksikliği anlamında değil, insanın kendi hakikatinden ve ilâhî gerçeklikten uzaklaşması şeklinde daha geniş bir tasavvufî anlam içerisinde ele alınmaktadır. Bu yönüyle Hüveydâ'nın şiirlerinde bilmek ile hakikati idrak etmek arasında bir ayrım kurulduğu görülmektedir. Şairin üzerinde durduğu bir diğer mesele sır ve zahirî ilim arasındaki ilişkidir. Hakikatin her yönüyle görünür ve kolayca kavranabilir olmadığı, bazı manaların bir "sır perdesi" arkasında bulunduğu düşüncesi, tasavvufî şiirin temel meseleleriyle örtüşmektedir. Bununla birlikte Hüveydâ'nın söyleminde zahirî ilim bütünüyle değersizleştirilmemekte; aksine insanın hakikate ulaşma yolculuğunda zahirî ilmin de gerekli ve önemli olduğu vurgulanmaktadır:

کوزوم آق و قراسیدین صنم وصلی ایرور نزدیک _ ولی جاندین گذر قیلمای یتالمس هر قیو سالک

بو یولگه گر قدم قویسنگ چراغ علم ظاهر آل _ قرانغو کیچه دین تاریک ایرور هم موی دین باریک

Közüm âk u karasidin sanam vasli irur nezdîk

veli cândın güzer kılmay yetalmes her kaya sâlik

Bu yolga ger kadem koysang çerâğ-i ilm zâhir âl

karanğu kiçedin târik irur hem muydin bârik (Hüveydâ Divanı, G. 180/1-2)

Hüveydâ'nın bu beyitlerinde hakikate ve vuslata ulaşma, tasavvufî bir yolculuk çerçevesinde ele alınmaktadır. Şair, sevgilinin vuslatının yakın olduğunu belirtmekle birlikte, bu mertebeye erişebilmek için insanın canından geçmesi, başka bir ifadeyle nefsani bağlarından ve benliğinden sıyrılması gerektiğini vurgular. Devamındaki beyitte ise salikin bu yola çıkarken zahirî ilmin ışığına ihtiyaç duyduğu ifade edilir. İlmin "çırâğ"a benzetilmesi, zahirî bilginin hakikate ulaşma yolunda yol gösterici bir işlev taşıdığını göstermektedir. İlmin ışığından mahrum kalan kişi için ise tasavvuf yolu karanlık ve son derece ince bir güzergâha dönüşmektedir. Bu bakımdan beyitler, zahirî ilim ile bâtınî hakikat arasındaki ilişkiyi ortaya

koyması ve Hüveydâ'nın tasavvuf anlayışında ilme rehberlik edici bir değer yüklemesi bakımından dikkat çekicidir. Böylece Hüveydâ'nın Divanında zahir ile bâtın, bilgi ile irfan ve öğrenmek ile hakikati idrak etmek arasında bir denge kurulmaya çalışılmaktadır.

Divanın tasavvufî muhtevası içerisinde şeyh, salik ve tasavvufî bilgelik de önemli bir yer tutmaktadır. Şeyh, yalnızca bir dinî otorite olarak değil, hakikat yolunda müride rehberlik eden bir mürşit olarak ele alınırken; salik, manevî yolculuğunu sürdüren ve nefsini terbiye etmeye çalışan kişi konumundadır. Bu çerçevede tasavvufî bilgelik, yalnızca teorik bir bilgi birikimi değil, insanın kendi nefsini tanıması ve manevî bakımdan olgunlaşmasıyla elde edilen bir tecrübe olarak anlam kazanmaktadır. Nitekim Hüveydâ divanındaki bir mısrada şöyle seslenmektedir**:**

تیریکلای اولماغونچه تاپماغای وصلین سن ای سالک

Tiriklay ölmegünçe tapmağay vaslin sen ey salik (Hüveydâ Divanı, G.180/4)

Bu beyitte Hüveydâ, "ey sâlik" hitabıyla doğrudan tasavvuf yolcusuna seslenerek hidayet ve vuslat yolunun gerektirdiği manevi terbiyeye dikkat çekmektedir. Şaire göre salik, vuslata ulaşabilmek için öncelikle nefsini terbiye etmeli ve benliğinden sıyrılmalıdır. Beyitteki "ölmeden önce ölmek" anlayışı, tasavvufî meşrep içerisinde insanın bedenî ölümünü değil, nefsani arzularını ve benlik iddiasını terk ederek manevi bir dönüşüm geçirmesini ifade etmektedir. Bu yönüyle beyit, nefsin terbiyesini vuslata ulaşmanın temel şartı olarak ortaya koymaktadır. Dolayısıyla Hüveydâ Divanı'nın muhtevası, birbirinden bağımsız konu başlıklarının toplamından ziyade insanın hakikate ulaşma süreci etrafında şekillenen bütünlüklü bir düşünce dünyası ortaya koymaktadır. Dünyanın faniliği, gaflet, habersizlik ve tasavvufî hikmet gibi meseleler, insanın maddî olandan manevî olana yönelişini açıklayan bir anlam zinciri içerisinde değerlendirilebilir. Bu bakımdan Hüveydâ'nın şiirleri, klasik Çağatay şiirinin biçimsel mirasını sürdürürken, gazel başta olmak üzere farklı nazım şekillerini dinî, ahlâkî ve tasavvufî düşüncenin aktarımına elverişli bir söyleyiş alanı hâline getirmektedir.

Hüveydâ Divanı'nın muhtevasında dinî ve tasavvufî meselelerin yanı sıra tarihî ve mitolojik şahsiyetlere, klasik İran kültürüne ve hikmet geleneğine yönelik göndermeler de dikkat çekmektedir. Şairin bu yönü, şiirlerinin yalnızca dinî-tasavvufî bir çerçevede şekillenmediğini, farklı kültürel ve edebî kaynaklardan da beslendiğini göstermektedir. Özellikle Rüstem-i Destan ve Eflâtun gibi şahsiyetlerin şiirde kullanılması, Hüveydâ'nın dünya edebiyatının zengin şahsiyet ve telmihlerinden yararlandığını ortaya koymaktadır:

کار هر نامرد ایماسدور عشق ارا قویمق قدم _ رستم دستان کیره ک یا مرد افلاطون کیره ک

Kâr-i her nâ-merd imesdur 'ışk ara koymak kadem

Rüstem-i Destân kerek yâ merd-i Eflatun kerek (Hüveydâ Divanı, G. 178/4)

بولسه هرکیم باشیده سودای عشق اول پری _ نه سکندر ملکتی نه تاج افریدون کیره ک

Bolsa her kim başide sevdây-i ‘ışk-i ol peri

Ne Sikender milketi ne tâc-ı Efridûn Kerek (Hüveydâ Divanı, G. 178/6)

Hüveydâ Divanı’nın muhtevasında özellikle İran edebiyatının etkisi dikkat çekmektedir. Bununla birlikte Şehnâme şahsiyetlerine yapılan göndermeler, Türk edebiyatında zaten yerleşik bir kültürel ve edebî mirasın parçası olarak değerlendirilmelidir. Bu bakımdan Rüstem-i Destân başta olmak üzere Şehnâme kahramanlarının kullanılması, doğrudan bir İran etkisinden ziyade, Türk edebiyatında da benimsenmiş ve ortak bir edebî hafızaya dönüşmüş İran menşeli şahsiyet ve motiflerin Hüveydâ’nın şiir dünyasındaki yansımaları olarak ele alınabilir.

Hüveydâ Divanı’nın muhtevasında Kur’an-ı Kerîm âyetlerine yapılan telmihler de dikkat çekici bir yer tutmaktadır. Şair, dinî referansları şiirsel düşüncenin bir parçası hâline getirerek okuyucunun aşina olduğu kutsal metinlerle anlam ilişkisi kurmaktadır:

یباردینگ آیت "لاتقنطوامن رحمه الله" نی _ اگر چندی گناهیم کوپ امیدیم اوزمگان قل من

Yobarding âyet-i "Lâ Taknitû min Rahmetullah” ni

Eğer çendî günâhim kûp ümidim üzmegan kul men (Hüveydâ Divanı, G. 287/8)

Bu durum, Hüveydâ Divanı’nın Kur’an merkezli İslâmî bilgi ve düşünce birikimiyle de beslendiğini göstermektedir. Âyetlere yapılan göndermeler, özellikle şairin dinî ve ahlâkî meseleleri ele alışında ilâhî otoriteyi ve Kur’anî düşünceyi bir dayanak olarak kullandığını ortaya koyması bakımından önemlidir. Bu çerçevede O, İslâm’ın bireyin hayatını düzenleyen temel ilkelerini şiir dünyasına taşıyarak kulluk bilinci, ibadet, mânevî sorumluluk ve ahlâkî disiplin gibi değerleri öne çıkarmaktadır. Kur’anî düşüncenin Divan’daki yansıması, yalnızca doğrudan âyetlere yapılan telmihlerle sınırlı olmayıp, bu kaynaklardan beslenen bir ahlâk ve davranış anlayışının şiirsel söyleme aktarılması şeklinde de ortaya çıkmaktadır:

عاقل ایرسانگ کیچه کوندوز ایله ذکر الله نی

‘Akıl irseng kiçe kündüz eyle zikr-i Allah'nı (Hüveydâ Divanı, G. 340/1)

Hüveydâ, sosyal hayata ilişkin mesajlarında da dinî duyarlılıktan yararlanarak insanlar arasındaki farklılıkların ötesinde ortak bir insanlık anlayışını öne çıkarmaktadır:

دلا قالمای جهانده تورک و تاجیک و عرب کیتتی

Dilâ kalmay cihânda türk u tâcik u arap ketti (Hüveydâ Divanı, G. 342/1)

Hüveydâ'nın yukarıdaki mısrada Türk, Tacik ve Arap gibi farklı toplulukları birlikte anması, kavmî aidiyetleri kesin ayrım ve üstünlük ölçüsü olarak görmeyen bir yaklaşımı düşündürmektedir. Şairin bu söyleyişi, dünyevî ayrımların geçiciliği karşısında insanlar arasında hoşgörü, birlik ve karşılıklı anlayışın önemine işaret eden bir sosyal mesaj da içermektedir.

2.2. Dil, Üslup

Hüveydâ Divanı'nın dili, Çağatay Türkçesinin Doğu Türkçesi içerisindeki Karluk grubu temelinde şekillenmektedir. Bugünkü Özbekçenin tarihî kaynaklarından biri olan bu yazı dili, Divan'da oldukça başarılı ve işlek bir biçimde kullanılmıştır. Hüveydâ, klasik Çağatay şiirinin dil ve ifade imkânlarından yararlanmakla birlikte, genel olarak açık, anlaşılır ve akıcı bir söyleyiş ortaya koymuştur. Özellikle dinî, tasavvufî ve ahlâkî düşüncelerin aktarımında ağır ve kapalı bir anlatım yerine, doğrudan ve kolay kavranabilir bir dil tercih edilmesi, şairin üslubunun belirgin özelliklerinden biridir.

Divan'ın dili büyük ölçüde Türkçe olmakla birlikte, klasik Türk edebiyatının ortak söz varlığı içerisinde yer alan Arapça ve özellikle Farsça kelime ve terkipler de kullanılmaktadır. Farsça unsurların şiir diline dâhil oluşu, Hüveydâ'nın klasik edebî gelenekle bağını gösteren önemli özelliklerden biridir.

کویدی عشقینگ اوتیدین جسمیم یوراک بغریم توتاش – رگداگی قانیم قوروب هم قالمه دی کوزیمده یاش

Aşkının ateşinden bedenim, yüreğim ve bağrım tutuştu; damarlardaki kanım kurudu, gözümde yaş bile kalmadı. (Hüvaydâ Divanı, G.140/1).

Beyitte "bedenim, yüreğim, bağrım" gibi Türkçe ifadelerin art arda kullanılması, Hüveydâ'nın şiirlerinde Türkçe söz varlığından bilinçli biçimde yararlandığını göstermektedir. Özellikle bu tür ifadeler, onun dil tercihinde Türkçe unsurların belirgin bir yer tuttuğunu ortaya koymaktadır.

Hüveydâ'nın dil kullanımındaki Türkçe ağırlık, özellikle bazı beyitlerde daha belirgin hâle gelmektedir.

یاریم یوزیغه هیچ کیشی باقیب قره یالمس – کوزی قماشیب یوزینی هرگز کورا یالمس

Sevgilinin yüzüne hiç kimse bakamaz; gözleri kamaşıp yüzünü asla göremez. (Hüvaydâ Divanı, G.129/1).

Bu beyitte kullanılan söz varlığı ve ifade yapıları büyük ölçüde Türkçedir. Tasavvufî açıdan Rü'yetullah düşüncesine işaret ederek, soyut bir mesele son derece sade bir söyleyişle ifade edilmektedir. Ayrıca mısra sonlarında yer alan "karayalmas / körealmas" ifadeleri, Türkçe yapıların şiirin ses ve anlam örgüsünde etkin biçimde kullanılmasına örnek teşkil etmektedir.

Böylece Hüveydâ, yüksek ve soyut bir tasavvufî düşünceyi, okuyucunun kolaylıkla takip edebileceği Türkçe bir söyleyiş içerisinde sunmaktadır. Ancak zaman zaman Farsça terkip ve tamlamalara da yer verdiği görülmektedir. Bu durum, Türkçe söz varlığının yanı sıra klasik şiirin Farsça kaynaklı ifade imkânlarından da yararlandığını göstermektedir.

دلا تاکی یوروسن غفلت آغوش

Ey gönül, daha ne zamana kadar gaflet kucağında dolaşacaksın. (Hüvaydâ Divanı, G.143/1).

Veya:

پخته و خام هرنه موجود دنیانیگ دامی ایرور – مرغ روحیم نی من اونگا مبتلا قیلدیم غلط

Pişmiş ve ham ne varsa, hepsi dünyanın tuzağıdır; ruh kuşumu ben ona bağlayıp tutmakla hata ettim. (Hüvaydâ Divanı, G.148/2).

Bu mısralarda geçen "tâ key" Farsça kalıp ifade, "morg-i ruh" Farsça tamlama ve "puhte ve hâm" zıt anlamlı kelime grubunun bir arada kullanılması dikkat çekmektedir. Farsçanın dışında şair Arapça olarak ayet ve hadislere de yer vermektedir:

اول نصوحا دیک اوقوب "توبوا الی الله" آیتین

Önce Nâsûh gibi 'Tûbû ilallâh' ayetini okuyup... (Hüvaydâ Divanı, G.147/6).

Şairin üslubunda dikkat çeken bir başka özellik ise nasihatçi ve öğretici söyleyişin belirgin olmasıdır.

یخشی نینگ ایاغینینگ آستیده اولسنگ عار ایمس – توتیای تاج سر قیلسنگ یمان درکار ایمس

İyi kişinin ayağının altında ölsen de ayıp değildir / kötü kişi seni baş tacı etse de gerekmez. (Hüvaydâ Divanı, G.129/1).

Hüveydâ eserlerinde doğrudan ahlâkî öğütlere yer verir. Yukarıdaki beyitte iyi insanın yanında bulunmanın ve onun hizmetinde olmanın değeri vurgulanırken, şiir estetik bir söyleyişin yanında hayata ilişkin bir ders verme işlevi de üstlenmektedir. Bu özellik Hüveydâ'nın divanında sanatsal gayenin dışında, okuyucuyu yönlendirme ve düşündürme amacıyla öne çıkarılmaktadır. Öte yandan dil ve üslup açısından görülen açıklık, akıcılık ve öğreticilik, Divan'ın yalnızca seçkin bir edebî çevreye hitap eden yazılı bir metin olarak kalmamasında etkili olmuştur. Şiirlerin anlaşılabilir bir Türkçe ile kurulması, dinî ve tasavvufî düşüncelerin doğrudan aktarılması ve yer yer günlük dile yaklaşan söyleyişlerin kullanılması, Divan'ın kitâb-hânlık meclislerinde okunup dinlenmesine vesile olmuştur. Hüveydâ'nın şiirlerinde atasözü ve deyimlerden yararlanması, onun halkın konuşma diline ve sözlü kültür birikimine yakın bir üslup benimsediğini göstermektedir:

خانه خالی اوی مینینگ دیک هر قیو سوز سوزلمه – بولغالی روزن ارا دیوارنینگ کینیده کس

Evi boş her yerde söz söyleme; duvarın ardındaki boşlukta kimseler vardır. (Hüvaydâ Divanı, G.128/2).

Veya:

شیشه پر می اوزه, آواز بیرمس تیکسه تاش

Şarapla dolu camın, üstüne taş atılsa da sesi çıkmaz.(Hüvaydâ Divanı, G.128/4).

Hüveydâ'nın şiirlerinde atasözü, deyim ve halk söyleyişlerine yer vermesi, onun dilinin sade, anlaşılır ve günlük konuşma diline yakın olmasını sağlamıştır. Bu tür kullanımlar, şairin düşüncelerini daha etkili ve akılda kalıcı biçimde ifade etmesine imkân tanırken şiirlerinin geniş bir okuyucu kitlesine ulaşmasına da katkıda bulunmuştur. Atasözleri ve deyimler aracılığıyla halkın ortak dil ve kültür birikiminden yararlanan Hüveydâ, klasik şiirin ifade imkânlarını halkın anlayabileceği bir söyleyişle birleştirmiştir. Dolayısıyla Hüveydâ'nın dil ve üslubu, klasik Çağatay şiirinin edebî birikimi ile geniş bir okuyucu ve dinleyici kitlesinin anlayabileceği sade ve anlaşılır şiir dili arasında bir köprü oluşturmaktadır.

2.3. Çağatay Edebiyatındaki Yeri

Hüveydâ Divanı, Çağatay edebiyatının geç döneminde ortaya çıkan ve klasik şiir geleneğinin sonraki kuşaklara aktarılmasında önemli bir yere sahip olan eserlerden biridir. XVIII. yüzyıl, Çağatay edebiyatının klasik şiir geleneğinin son dönemlerinden biri olarak değerlendirilebilir (Hamdard, 2018). Bu yüzyılda klasik edebiyatın daha önce oluşturduğu estetik ve tematik birikim varlığını sürdürmekle birlikte, şiirin hitap ettiği çevre ve söyleyiş biçiminde de birtakım değişimler görülmektedir. XIX. yüzyılda yeni edebî anlayışların ve özellikle halkın anlayabileceği daha sade şiir söyleyişlerinin güç kazanması dikkate alındığında, Hüveydâ Divanı bu dönüşümün öncesinde yer alan önemli metinlerden biri olarak değerlendirilebilir.

Hüveydâ'nın şiirlerini Çağatay edebiyatı içerisinde önemli kılan hususlardan biri, klasik şiir geleneğinin temel birikimini korurken söyleyiş bakımından daha akıcı ve halk diline daha yakın bir ifade tarzını benimsemesidir. Divan'daki şiirler, klasik edebiyatın söz varlığından ve şiir anlayışından bütünüyle uzaklaşmamakla birlikte, anlamın daha doğrudan ve anlaşılır biçimde aktarılmasına imkân veren bir söyleyişe sahiptir (Khasanov; Kaya. 2018). Bu durum, Hüveydâ'nın şiirlerini yalnızca belirli bir edebî zümrenin değil, daha geniş bir okuyucu ve dinleyici kitlesinin de anlayabileceği bir niteliğe kavuşturmuştur. Dolayısıyla Hüveydâ Divanı, klasik şiir geleneği ile halkın anlayış ve beğenisine daha fazla yaklaşan şiir dili arasında bir yakınlaşmayı temsil etmesi bakımından dikkate değerdir.

Hüveydâ'nın şiir dünyasında kendisinden önceki Çağatay şairlerinin etkisi de açık biçimde görülmektedir (Tosun, 2020). Bu durum, onun klasik şiir geleneğinden kopuk bir şair

olmadığını, aksine önceki yüzyıllarda şekillenen edebî birikimi devam ettirdiğini göstermektedir. Bununla birlikte Hüveydâ, kendisinden önceki şairlerden aldığı şiir mirasını yalnızca tekrar etmekle kalmamış, bu mirası kendi şiir anlayışı doğrultusunda yeniden yorumlamıştır. Özellikle tasavvufî imgelerin şiirlerde yoğun biçimde kullanılması, Hüveydâ'nın klasik Çağatay şiiri içerisindeki özgün konumunun belirlenmesinde önemlidir. Tasavvufî kavram ve imgeler, Divan'ın anlam dünyasını oluşturan temel unsurlardan biri hâline gelmiş ve klasik şiirin estetik unsurlarıyla birlikte kullanılmıştır.

Hüveydâ Divanı'nın dikkat çekici yönlerinden biri de klasik edebiyatın aşk anlayışının dışına çıkan veya bu anlayışı farklılaştıran gazellerin bulunmasıdır (Hüveydâ Divanı, (1391/2012). Klasik şiirde aşk çoğunlukla sevgili, âşık, ayrılık, vuslat ve güzellik ekseninde oluşturulan estetik bir yapı içerisinde ele alınırken, Hüveydâ'nın bazı gazellerinde şiirin işlevi bu çerçevenin ötesine taşınmaktadır. Bu şiirlerde insanın davranışlarına, toplum içerisindeki ilişkilerine ve ahlaki tutumlarına yönelik doğrudan veya dolaylı ders ve nasihatlerin öne çıktığı görülmektedir. Böylece gazel, yalnızca estetik bir söyleyişin ve aşk anlatısının aracı olmaktan çıkarak okuyucuyu ve dinleyiciyi eğiten, düşündüren ve ahlaki bakımdan yönlendiren bir niteliğe de kavuşmaktadır.

Bu özellik, Hüveydâ Divanı'nın yalnızca klasik şiir geleneği açısından değil, kitap okuma ve dinleme kültürü bakımından da önem taşımasını sağlamıştır. Şiirlerin daha anlaşılır ve akıcı bir söyleyişe sahip olması, onların yalnızca yazılı bir metin olarak okunmasını değil, topluluklar içerisinde okunup dinlenmesini de kolaylaştırmıştır. Bu bakımdan Hüveydâ'nın şiirlerinin halk arasında gerçekleştirilen toplantılarda okunan ve paylaşılan metinler arasında yer alması, Divan'ın edebî değerinin toplumsal dolaşımını da göstermektedir. Dolayısıyla Hüveydâ Divanı'nı yalnızca yazılı klasik edebiyatın bir ürünü olarak değil, okuma, dinleme ve sözlü aktarım pratikleri içerisinde de yaşayan bir eser olarak değerlendirmek mümkündür.

Divan'ın halk arasındaki dolaşımını gösteren bir başka husus ise Hüveydâ'nın bazı gazellerinin bestekârlar tarafından bestelenerek icra edilmiş olmasıdır. Şiirlerin bestelenmesi, Hüveydâ'nın şiirlerinin yazılı metin sınırlarını aşarak musiki aracılığıyla daha geniş kitlelere ulaşmasını sağlamıştır. Böylece Divan, edebiyat ile musiki arasındaki geleneksel ilişkinin bir parçası hâline gelmiş; şiirlerin okunması ve dinlenmesinin yanı sıra ezgi yoluyla aktarılması da mümkün olmuştur. Bu durum, Hüveydâ'nın şiirlerinin dönemin kültürel hayatındaki karşılığını ve halk nezdindeki dolaşım gücünü göstermesi bakımından ayrıca önemlidir.

Bu özellikleriyle Hüveydâ Divanı, XVIII. yüzyıl Çağatay edebiyatının gelenek ile yenilenme arasındaki konumunu anlamak açısından önemli bir eser olarak değerlendirilebilir. Bir taraftan

kendisinden önceki Çağatay şairlerinden devraldığı klasik şiir birikimini ve özellikle tasavvufî şiir geleneğini sürdürürken, diğer taraftan daha akıcı, sade ve anlaşılır bir söyleyişe yönelmesiyle şiirin daha geniş bir toplumsal çevreye ulaşmasını sağlamıştır. Aşk merkezli klasik gazel anlayışının yanında ahlaki ve öğretici bir işlev üstlenen gazellerin bulunması da Divan'ın geleneksel şiir kalıplarını farklı bir amaç doğrultusunda kullanabildiğini göstermektedir.

Bu yönüyle Hüveydâ Divanı, klasik Çağatay edebiyatının son dönemindeki edebî devamlılığın önemli örneklerinden biri olarak görülmektedir. XIX. yüzyılda daha farklı şiir anlayışlarının ve yeni edebî yönelimlerin belirginleşmesiyle birlikte klasik edebiyatın hâkim konumu değişmeye başlarken, Hüveydâ'nın XVIII. yüzyılda ortaya koyduğu şiirler klasik geleneğin son dönemindeki canlılığını göstermektedir. Bununla birlikte Divan'ın halk diline yakın ve anlaşılır söyleyişi, tasavvufî ve ahlaki muhtevası, halk toplantılarında okunması ve gazellerinin bestelenerek icra edilmesi, eserin yalnızca klasik Çağatay edebiyatının bir devamı olarak değil, klasik edebiyat ile halkın edebî ve kültürel dünyası arasında bağlantı kuran önemli bir eser olarak değerlendirilmesini mümkün kılmaktadır.

SONUÇ

Bu çalışmada, XVIII. yüzyıl Çağatay edebiyatının önemli temsilcilerinden Hüveydâ'nın hayatı, edebî şahsiyeti, şiir anlayışı ve Divanı çeşitli yönleriyle incelenmiştir. Hayatına dair bilgilerin sınırlı olmasına rağmen Divanı, şairin edebî kişiliğini, tasavvufî düşüncesini ve içinde bulunduğu kültürel çevreyi anlamaya imkân veren önemli bir kaynak niteliğindedir. İncelemeler, Hüveydâ'nın klasik Çağatay şiir geleneğinden güçlü biçimde beslendiğini, özellikle Ahmed Yesevî, Ali Şîr Nevâî, Sûfî Allahyâr ve Şah Meşreb gibi isimlerin oluşturduğu edebî ve tasavvufî birikimden yararlandığını göstermektedir. Bununla birlikte şair, bu mirası yalnızca sürdürmekle kalmamış, kendi döneminin dinî, tasavvufî ve kültürel şartları içerisinde yeniden yorumlamıştır. Gazel başta olmak üzere klasik nazım şekillerini kullanması, gelenekle bağını ortaya koyarken şiirlerinde tasavvufî ve ahlâkî muhtevaya ağırlık vermesi onun kendine özgü şiir anlayışını belirginleştirmiştir.

Dil ve üslup bakımından ise klasik şiirin Arapça ve Farsça unsurlarını, Türkçe söz varlığı ve halk söyleyişleriyle birlikte kullandığı görülmektedir. Atasözleri, deyimler ve günlük dile yakın ifadelerin yanı sıra Farsça terkip ve kalıplara yer vermesi, şiir dilinin farklı kaynaklardan beslenen çok katmanlı yapısını ortaya koymaktadır. Bu özellik, Hüveydâ'nın klasik edebî birikim ile halkın dil dünyası arasında bir bağ kurduğunu göstermesi bakımından önemlidir.

Divan'ın kültürel dolaşımı da Hüveydâ'nın edebî konumunu anlamak açısından dikkate değerdir. Şiirlerin toplu ortamlarda okunup dinlenmesi ve bazı gazellerin bestelenerek icra edilmesi, eserin yalnızca yazılı bir metin olarak kalmadığını; sözlü ve musikî kültür içerisinde de varlık gösterdiğini ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak Hüveydâ Divanı, klasik Çağatay şiir geleneğinin XVIII. yüzyıldaki devamlılığını gösteren; geleneksel edebî birikimi tasavvufî düşünce, ahlâkî anlayış ve farklı dil unsurlarıyla yeniden şekillendiren önemli bir eserdir. Hüveydâ'nın şiirleri, bu yönleriyle hem şairin edebî şahsiyetinin belirlenmesine hem de Çağatay edebiyatının geç dönemindeki edebî ve kültürel yapının anlaşılmasına katkı sağlamaktadır.

KAYNAKÇA

Arzibekov, R.(2004). "Hüveydâ", Türk Dünyası Edebiyatçıları Ansiklopedisi, C. V, 102-103.
Hamdard, H. (2018), Hoca Nazar Hüveyda Divanı (İnceleme-Metin-Sözlük, (Yüksek Lisans Tezi), Atatürk Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları Enstitüsü Türk Dili ve Edebiyatı Ana Bilim Dalı Türk Dili B.D., Erzurum.
Hüveydâ, H. N.(1391/2012), Hüveydâ Divanı, haz. Rahim İbrahim, T'alimî Müessesi Yayınları, Afganistan
Hüveydâ, H. N.(1391/2012), Rahat-i Dil, haz. Rahim İbrahim, T'alimî Müessesi Yayınları, Afganistan.
Hüveydâ, H.N. (1994). Rahat-ı Dil. A. Kadirî Halk Mirası Neşriyatı, Taşkent.
Hüveydâ, H.N. (2005). Divan. Yangi Asr Evladı Neşriyatı, Taşkent.
Kaya, B. (2012), Hoca Nazar Hüveyda ve Divanının Analizi: Metin, Dil ve Edebi İçerik
Khasanov, N.; Kaya, B., "Ferganalı Mutasavvıf Şair Hüveyda 'Divan'ında Hoca Ahmed Yesevi Etkisi", Motif Akademi Halkbilimi Dergisi, 2014 (2), 147-160.
Rüşdiy, M.S. (2004), Avliyâlar Sultânı: Turânlık Valiyler (haz. İkrâmiddin Âstânakul-ugli Âkkurgâniy), Taşkent.
Tosun, N. (2020). "Hüveydâ", TDV İslâm Ansiklopedisi, 574.
Yönünden İncelemesi, (Yüksek Lisans Tezi), Fatih Üniversitesi, İstanbul.
"OŞÎ, Kocanazar Gaipnazar uulu", Türk Edebiyatı İsimler Sözlüğü. https://teis.yesevi.edu.tr/madde-detay/osi-kocanazar-gaipnazar-uulu? (10.09.2026).

ÖMER HAYYAM'IN RUBAİLERİNDE TESTİ: İSNAN VE TOPRAK İLİŞKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Aliye YILMAZ
Süleyman Demirel University, Faculty of Theology, Department of Islamic History and Arts, Isparta
ORCID ID: 0000000233680239

ÖZET

Ömer Hayyam, rubailerinde insanın varlık karşısındaki konumunu, yaşamın geçiciliğini ve insanın toprakla kurduğu ilişkiyi yoğun bir sembolik dil aracılığıyla sorgular. Onun şiir dünyasında toprak ve kûze (testi), yalnızca maddi nesneler değil, insan varoluşunu düşünmeye imkân veren imgeler olarak anlam kazanmaktadır. İnsan ile kûze arasındaki ilişki özellikle dikkat çekicidir: İnsan topraktan meydana gelir, ölümle birlikte yeniden toprağa karışır; aynı toprak ise çömlekçinin elinde biçimlenerek kûzeye dönüşür. Böylece insan ile kûze arasında yalnızca maddi değil, varoluşsal ve metaforik bir süreklilik kurulur. Toprağın kûze biçimini kazanması, doğal maddenin insan eliyle estetik bir forma dönüşmesini ifade ederken, Hayyam'ın bazı rubailerinde konuşturduğu kûzeler geçmişte yaşamış insanların kimliklerini, hayatlarını ve akıbetlerini hatırlatan varlıklar olarak karşımıza çıkar. Bu yönüyle kûze, insanın maddiliğini yansıtan bir imge olmasının yanı sıra geçmişi taşıyan ve hatırlatan bir hafıza alanına dönüşür.

Bu çalışmada, Ömer Hayyam'ın rubailerinde kûze/testi imgesinin insan ve toprakla kurduğu ilişki ontolojik, estetik ve epistemolojik düzeylerde incelenecektir. Ontolojik düzeyde kûzenin insan ile toprak arasındaki varlık ilişkisini nasıl kurduğu; estetik düzeyde toprağın çömlekçinin müdahalesiyle kûze olarak biçim kazanmasının şiirsel anlamı; epistemolojik düzeyde ise konuşan kûzelerin geçmiş insanı hatırlaması ve onun hakkında bilgi taşıması ele alınacaktır. Böylelikle çalışma, Hayyam'ın kûze imgesi aracılığıyla insan ile toprak, madde ile biçim ve geçmiş ile şimdi arasındaki ilişkileri nasıl şiirsel bir yapıya dönüştürdüğünü ortaya koymayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ömer Hayyam, Kûze/Testi, İnsan, Toprak, Rubai, İmge, Ontoloji, Estetik, Epistemoloji.

THE EWER IN OMAR KHAYYAM'S RUBAIYAT: THE RELATIONSHIP BETWEEN HUMANITY AND EARTH

ABSTRACT

Omar Khayyam, in his rubaiyat, questions the human position in relation to existence, the transience of life, and humanity's relationship with earth through an intensely symbolic language. In his poetic world, earth and the ewer (kūze) emerge not merely as material objects but as multilayered images that enable reflection on human existence. The relationship between the human being and the ewer is particularly striking: human beings originate from earth, return

to earth with death, and the same earth is shaped by the potter into an ewer. Thus, a continuity between the human being and the ewer is established that is not merely material but also existential and metaphorical. While the transformation of earth into the form of an ewer signifies the transformation of natural matter into an aesthetic form through human intervention, the ewers that Khayyam gives voice to in some of his rubaiyat appear as beings that recall the identities, lives, and fates of people who lived in the past. In this respect, the ewer becomes not only an image reflecting human materiality but also a site of memory that carries and recalls the past.

This study examines the relationship established by the ewer/kūze image with humanity and earth in Omar Khayyam's rubaiyat on ontological, aesthetic, and epistemological levels. At the ontological level, it examines how the ewer establishes a relationship of being between the human being and earth; at the aesthetic level, it considers the poetic significance of earth taking the form of an ewer through the intervention of the potter; and at the epistemological level, it addresses how the speaking ewers remember people of the past and carry knowledge about them. Accordingly, the study aims to reveal how Khayyam transforms the relationships between the human being and earth, matter and form, and past and present into a poetic structure through the image of the ewer.

Keywords: Omar Khayyam, Ewer/Kūze, Human Being, Earth, Rubai, Image, Ontology, Aesthetics, Epistemology.

GİRİŞ

Ömer Hayyam, 1039-1048 yılları arasında Horasan eyaletinin merkezi Nişabur şehrinde doğmuştur. Asıl adı Gıyâseddin Ebü'l-Feth Ömer bin İbrahim el-Hayyâm'dir. O geometri, cebir, astronomi, fizik ve tıpla ilgilenmiş ve Selçuklu hükümdarı Celâleddin Melikşah döneminde önemli bilim insanları arasında yer almıştır. Nitekim Melikşâh (1052-1092) ve onun sadrazamı Nizâmülmülk'ün gözetimiyle Merv şehrinde kurulan rasathanenin reisliğine geçirilen Hayyam özellikle astronomi alanında yapılan Celalî takvimi çalışmalarında rol oynamıştır. 1799 yılında "Takvim-i Celali" olarak düzenlenen bu takvim, Gregorius takviminden daha doğru olması sebebiyle Frenk diyarında da ilgi görmüştür. Tıpta da ihtisası olan Ömer Hayyâm'ın, Büyük Selçuklu Sultanı Melikşâh'ın oğlu Sencer'in yakalandığı çiçek hastalığından kurtarıp tedavi ettiği rivayet edilmektedir (Aslantekin, 2020). Bilimsel araştırmalarını Semerkant, Buhara, Belh ve İsfahan gibi bilim ve sanat merkezlerinde dolaşarak sürdüren Hayyam, 1131 yılı dolaylarında doğduğu Nişabur'da hayata gözlerini yummuştur (Unat, 2007).

Ömer Hayyam'ın matematik, fen bilimleri, metafizik ve felsefe konularında eserleri bulunmaktadır (Güleryüz, 2011)[1]. Bunla birlikte onun, büyük etki yaratan en önemli eseri Rubailerdir (Najafi, 2021). Mısralarında yaşamın geçiciliği, kader, aşk ve insanın varoluşsal sorunları gibi konuları ele alan Hayyam, insanın hayatın sınırlılığı karşısında sorgulayıcı ve özgür bir düşünce geliştirmesi gerektiğini sıklıkla vurgulamaktadır. Rubailer, felsefi ve eleştirel düşünceyi ön plana çıkarırken dönemin dinî ve toplumsal kabullerini de sorgulayan bir nitelik taşır. Bu bağlamda onun rubailerinde dünyanın geçiciliğini ve insanın topraktan oluşmasını sıkça vurgulamasında yaşadığı dönemin dini, toplumsal ve siyasi şartlarının etkisi olduğu düşünülmektedir (Sadıkî Semercanî; Yahyayî, 1397/2018). İslam kültüründe insanın topraktan yaratılması ve ölümden sonra yeniden toprağa dönmesi düşüncesi, onun testi ile insan arasında kurduğu bağlantıyı açıklamaktadır. Ayrıca Selçuklu dönemindeki siyasi mücadeleler, savaşlar ve toplumdaki makam ve zenginlik farklılıkları da Hayyam'ın insanları padişah ve dilenci gibi farklı konumlarda ele almasına rağmen ölüm karşısında hepsini eşit görmesinde etkili olmaktadır. Bu nedenle testi, Hayyam'ın düşüncesinde yalnızca bir eşya değil, insanın dünyadaki geçici varlığını ve sonunda toprağa dönüşeceğini temsil eden önemli bir imge olarak işlenmektedir. Ona göre Toprak, insanın maddi kökeniyle ilişkilendirilirken çömlekçinin müdahalesiyle kûze biçimini almaktadır. Bu durum, insan ile kûze arasında yalnızca benzetmeye dayalı bir ilişki değil, aynı maddi unsur üzerinden kurulan bir süreklilik ortaya çıkarmaktadır. Özellik bazı rubailerde kûzelerin konuşturulması bu ilişkiyi daha belirgin hâle getirirken, geçmişte yaşamış insanların kimliklerini, yaşamlarını ve akıbetlerini hatırlamakta ve aktarmaktadır. Böylece kûze, insan ve toprak arasındaki ilişkiyi yansıtmanın yanı sıra, bireysel ve toplumsal belleği taşıyan, hatırlama ve anlamlandırma süreçlerine aracılık eden sembolik bir unsura dönüşmektedir.

Kûze metaforu başka şairlerin şiirlerinde de birçok farklı manada kullanılmakta olup (Eşrâfî, 1395/2016), bu çok yönlü kullanım, insan ile nesne arasındaki ilişkinin incelenmesini gerekli kılmaktadır. Kûzenin oluşumunda toprak temel maddeyi, çömlekçi ise bu maddeye biçim veren unsuru oluşturur. Bu nedenle kûze, bir yandan insan ile toprak arasındaki varlık ilişkisini, diğer yandan toprağın biçimlendirilerek estetik bir nesneye dönüşmesini ortaya koymaktadır. Konuşan kûzelerde ise nesne, geçmişte yaşamış insanlara ilişkin bilgiyi taşıyan bir konuma gelmektedir. Böylece kûze; insan ve toprak arasındaki varlık ilişkisi, toprağın biçim kazanması

[1] Ömer Hayyam'ın eserleri için bkz. Hayyam, Ö. (1338/1959). Külliyat-ı Asâr-ı Hekim Ömer Hayyam, tah. Muhammed Abbasî, Barânî Kitapçılık, Tahran. Ayrıca Ömer Hayyam hakkında yapılan diğer çalışmalar için bkz. Hasan Li; Hssampur, 1388/2009.

ve geçmişin hatırlanması bakımından ontolojik, estetik, epistemolojik üç farklı düzeyde değerlendirilebilir.

1. ONTOLOJİK DÜZEY: TOPRAK VE İNSAN ARASINDAKİ VARLIK İLİŞKİSİ

Ömer Hayyam'ın rubailerinde kûze, yalnızca su veya şarap taşımaya yarayan bir kap olarak değil, insanın maddî varlığıyla ilişkilendirilen bir nesne olarak karşımıza çıkmaktadır. Kûzenin insanla ilişkilendirilmesindeki temel hareket noktası, insan ile kûzenin aynı maddî unsurdan yani topraktan meydana gelmesidir. Bu ortaklık, kûzeyi insanın karşısında duran bağımsız bir nesne olmaktan çıkararak insan varlığının başka bir biçimi olarak düşünmeye imkân vermektedir.

Hayyam'ın şiirinde insan bedeni ile toprak arasında doğrudan bir dönüşüm ilişkisi bulunmaktadır. İnsan bedeni toprağa karışırken, toprak da yeniden biçimlendirilerek kûze, testi veya sebû/ kadeh gibi nesnelere dönüşür. Böylece insan ile kûze arasında benzetmeye dayalı bir ilişkiden ziyade, aynı maddî temelden kaynaklanan ontolojik bir bağ ortaya çıkar. Bu bağ, insan → toprak → kûze şeklinde ifade edilebilecek bir dönüşüm zinciri meydana getirir. Bu ilişkinin ilk aşamasının açık biçimde görüldüğü örneklerden biri şu rubâîdir:

از تن چو برفت جان پاک من و تو ـ خشتی دو نهند بر مغاک من و تو
وآنگاه برای خشت گور دگران ـ در کالبدی کشند خاک من و تو

(Rubaiyât-ı Hayyâm, s.35)

Benim ve senin temiz ruhumuz bedenden ayrıldığında,
Mezarımızın üzerine iki tuğla koyacaklar.
Sonra başkalarının mezarlarının tuğlası için
Benim ve senin toprağımızı tuğla kalıbına taşıyacaklardır.

Rubâîde özellikle "*خاک من و تو*" (benim ve senin toprağımız) ifadesi önemlidir. İnsan bedeni ile toprak arasındaki maddî ilişki bu ifade aracılığıyla doğrudan kurulmaktadır. Bedenin dönüşümüyle elde edilen toprağın daha sonra başka bir biçimde kullanılması, insanın maddî varlığının farklı bir formda devam ettiğini gösterir. Burada toprak, insan bedeninin karşıtı değil, onun dönüşmüş hâlidir. Rubâînin son mısraında geçen "*در کالبدی کشند خاک من و تو*" ifadesi ise toprağın yeniden bir "kalıp" içerisinde şekillendirilmesine işaret eder. Böylece insan bedeninden toprağa, topraktan başka bir biçime doğru gerçekleşen dönüşüm ortaya çıkar. Hayyam'ın ontolojik tasavvurunda varlık, tek ve değişmez bir biçim içerisinde kalmamakta; farklı maddî şekillere dönüşmektedir. Bu bağlamda şair, insanın toprağa karışmasıyla tabiat

arasındaki sürekliliğe dikkat çeker. Nitekim bir diğer rubaisinde, dere kenarında yetişen yeşilliği geçmişte yaşamış güzel bir insanın toprağıyla ilişkilendirir:

هر سبزه که بر کنار جویی رسته است ـ گویی ز لب فرشته‌خویی رسته است

پا بر سر سبزه تا به خواری ننهی ـ کان سبزه ز خاک لاله‌رویی رسته است

(Rubaiyât-ı Hayyâm, s.14)

Dere kenarında biten her bir bitki,

Sanki melek huylu bir güzelin dudağından bitmiş gibidir.

Çimlerin üzerine ayağını basıp onu hor görme;

Çünkü o yeşillik, lale yanaklı bir güzelin toprağından bitmiştir.

Hayyam'da insan ile toprak arasındaki dönüşüm tabiata yayılarak devam eder. İnsan toprağa karıştıktan sonra bu toprak, bitki ve yeşillik gibi yeni varlık biçimlerine dönüşür. İnsan ile toprak arasındaki ilişkinin bir başka boyutu, Hayyam'ın yeryüzündeki sıradan toprağı geçmişte yaşamış insanların bedenleriyle özdeşleştirdiği rubailerinde görülür:

خاکی که به زیر پای هر نادانی‌ست ـ کفّ صنمیّ و چهرهٔ جانانی‌ست

هر خشت که بر کنگرهٔ ایوانی‌ست ـ انگشت وزیر یا سر سلطانی‌ست

(Rubaiyât-ı Hayyâm, s.9)

Her cahilin ayağının altında bulunan toprak,

Bir sevgilinin avucu, bir güzelin yüzüdür.

Bir sarayın duvarındaki her tuğla,

Bir vezirin parmağı veya bir sultanın başıdır.

Bu rubainin temelinde, bugünün sıradan maddesi ile geçmişteki insan varlığı arasındaki özdeşlik yer almaktadır. Ayakaltında ezilen toprak, geçmişte bir sevgilinin avucu veya yüzü; sarayın duvarındaki tuğla ise bir vezirin parmağı ya da bir sultanın başı olarak tasarlanır. Böylece Hayyam, değersiz görülen toprak ile geçmişte değer taşıyan insan bedeni arasında ontolojik bir ayrım bırakmaz. Toprak ve tuğla, insan bedeninin farklı bir biçimde varlığını sürdüren maddî karşılıklarına dönüşür. Özellikle "her tuğla" ve "bir sultanın başı" arasındaki ilişki, insanın toplumsal konumunun da maddî dönüşüm karşısında anlamını yitirdiğini gösterir.

Hayyam'ın şiirlerinde insan bedeninin toprağa karışmasıyla başlayan maddî dönüşüm, çömlekçinin elinde kûzeye dönüşerek devam eder; insanın toprağa karışan varlığı kûzede yeniden biçim kazanırken, insan ile eşya arasındaki ontolojik sınır da belirsizleşir.

زان کوزهٔ می که نیست در وی ضرری ـ پُر کن قدحی، بخور، به من ده دگری

زان پیش‌تر ای صنم که در رهگذری ـ خاک من و تو، کوزه کند، کوزه‌گری

(Rubaiyât-ı Hayyâm, s.45)

Şu içinde zarar bulunmayan şarap kûzesinden
Bir kadeh doldur, iç; bir başkasını da bana ver.
Ey sevgili, yoldan geçen bir çömlekçi gelip de,
Benim ve senin toprağımızı kûze yapmadan önce.

Sonuç olarak Hayyam'ın rubailerinde insan ile toprak arasındaki ilişki, insanın tabiattan ayrı ve bağımsız bir varlık olmadığını gösteren ontolojik bir sürekliliğe dayanmaktadır. Felsefî düşüncesinde İbn Sînâ'dan etkilenen Hayyam'ın (Unat, 2007) insan, madde ve suret arasındaki ilişkiye yönelik yaklaşımı, bu sürekliliğin anlaşılmasına imkân sağlamaktadır. İnsan bedeni toprağa karışırken, toprak da farklı biçimlerde yeniden şekillenmekte; kimi zaman tabiatın bir parçası, kimi zaman ise çömlekçinin elinde kûze olarak karşımıza çıkmaktadır. Böylece insan ile toprak arasındaki sınır kesinliğini yitirir ve insanın maddî yapısı tabiat içerisinde dönüşerek farklı biçimlerde görünür hâle gelir. Hayyam'ın bu dönüşüm anlayışında toprak, yalnızca insanın maddî kökenini oluşturan pasif bir unsur değil, farklı suretlerin ortaya çıkmasını mümkün kılan asli bir zemin olarak anlam kazanmaktadır. Bu bağlamda İbn Sînâ'nın madde ve suret arasındaki ilişkiye dair düşünceleri, Hayyam'ın toprak, insan ve kûze arasında kurduğu bağlantının felsefî arka planını anlamada işlevsel bir çerçeve sunmaktadır. Böylece insan ile toprak arasındaki ilişki, köken ve son arasındaki doğrusal bir bağ olmaktan çıkarak farklı suretlerin ortaya çıkışı ve dönüşümü üzerinden süreklilik kazanan döngüsel bir süreç hâline gelmektedir.

2. ESTETİK DÜZEY: TOPRAĞIN KÛZE OLARAK SANATSAL BİÇİM KAZANMASI

Bir önceki bölümde sunulan örneklerde görüldüğü gibi Ömer Hayyam'ın rubailerinde kûze ile insan arasındaki ilişkinin temelinde, her ikisini de birbirine bağlayan toprak bulunmaktadır. İnsan topraktan meydana gelirken kûze, aynı maddenin insan eliyle biçimlendirilmesiyle ortaya çıkar. Bu nedenle toprak, Hayyam'ın şiir dünyasında yalnızca kûzenin hammaddesi değil, insan ile kûze arasındaki maddî ve metaforik sürekliliği sağlayan temel unsurdur. İnsan toprağa karışır, toprak ise çömlekçinin elinde biçim kazanarak kûzeye dönüşür. Böylece toprak, insanın maddî varlığından kûzenin estetik formuna uzanan dönüşümün taşıyıcısı hâline gelir. Kûzenin sanatsal biçimi de bu dönüşümün sonucunda ortaya çıkar; çömlekçinin eli, insanla ilişkilendirilen toprağa yeni bir form kazandırarak onu estetik ve anlamlı bir nesneye dönüştürür.

در کارگه کوزه‌گری کردم رای ـ در پایهٔ چرخ، دیدم استاد به پای

می‌کرد دلیر کوزه را دسته و سر ـ از کلهٔ پادشاه و از دستِ گدای

(Rubaiyât-ı Hayyâm, s.44)

Bir gün çömlekçinin tezgâhına uğradım;
Çarkın başında ustayı gördüm.
Kûzenin kulpunu ve başını biçimlendiriyordu;
Padişahın başından ve dilencinin elinden.

Bu tür rubailer, insan ile kûzeyi aynı toprak döngüsünün farklı biçimleri olarak düşünmeye imkân verir. Henüz insanın bedeni ile kûzenin biçimi ortaya çıkmadan önce ortak bir maddi unsur vardır: toprak. Dolayısıyla şiirdeki temel metaforik hareket, insanın kûzeye benzetilmesinden çok daha geniştir. Aslında insan ve kûze, aynı toprağın farklı biçimlerde görünüşleri olup, Hayyam'ın kûze imgesinde çömlekçinin rolü de önem kazanır (Eşrâfî, 1395/2016). Çömlekçi, toprağa biçim veren kişidir ancak Hayyam'a göre çömlekçinin biçimlendirdiği şey yalnızca sıradan bir nesne değildir. Çömlekçi dükkânındaki kûzeler, geçmişte yaşamış insanların varlıklarına ilişkin izler taşır. Böylece çömlekçi, şiirsel düzlemde toprağı biçimlendiren kişi olmaktan çıkıp insanın geçmişini yeniden biçimlendiren bir figüre dönüşür. Bu bağlamda kûzenin biçimi ile insanın özü arasında da metaforik bir paralellik ortaya çıkar.

هان کوزه‌گرا بپای اگر هشیاری ـ تا چند کنی بر گِل مردم خواری؟
انگشت فریدون و کف کی‌خسرو ـ بر چرخ نهاده‌ای، چه می‌پنداری؟

(Rubaiyât-ı Hayyâm, s.46)

Ey çömlekçi, eğer uyanıksan dikkat et!
İnsanların toprağına karşı daha ne zamana dek hoyrat davranacaksın?
Ferîdûn'un parmağını, Keyhüsrev'in avucunu
Çarkın üzerine koymuşsun; ne yaptığını sanıyorsun?

Bu estetik dönüşüm Hayyam'ın şiirinde tek bir biçimlenme anıyla sınırlı değildir; çömlekçinin çarkında sürekli olarak yeniden üretilir. Yukarıdaki rubainin son mısraında kullanılan çark kelimesi bilinçli bir tercihtir. Zira astronomi bilgisini de rubailerine yansıtan Hayyam zaman zaman, maneviyatın yüceliğini gökyüzünün sırlarında ve derinliğinde açıklamaya çalışmaktadır (Karagözoğlu, 2023). Bu devr-i daim içerisinde insanla ilişkilendirilen toprak, bir kez kûzeye dönüştükten sonra da farklı kaplar ve biçimler kazanarak varlığını sürdürür. Böylece çömlekçinin her yeni biçimlendirme eylemi, aynı maddî dönüşüm düzeninin yeniden kurulması anlamına gelir. Toprak değişmeden kalırken biçim değişir; insanın maddî varlığı ise bu değişen biçimler içerisinde yeniden görünüm kazanır.

Hayyam'ın estetik dünyasında süreklilik tam da bu noktada belirginleşir: Madde öz itibarıyla varlığını sürdürürken form sürekli değişir; insanın maddî varlığı ise her yeni biçim ve surette yeniden düzenlenerek farklı bir estetik görünürlük kazanır. Bu bağlamda değişim, varlığın ortadan kalkması değil, mevcut olanın başka bir forma dönüşerek yeniden görünür hâle gelmesidir. Dolayısıyla Hayyam'ın estetik tasavvurunda süreklilik ile değişim birbirini dışlayan iki karşıtlık değil, varoluşun dönüşümünü mümkün kılan birbirini tamamlayıcı iki ilkedir.

بر گیر پیاله و سبو ای دلجوی ـ فارغ بنشین به کشتزار و لب جوی
بس شخص عزیز را که چرخ بدخوی ـ صد بار پیاله کرد و صد بار سبوی

(Rubaiyât-ı Hayyâm, s.43)

Ey gönül alan, kadehi ve sebûyu eline al,
Yeşillik alanlarda ve su kıyısında gönlünce otur.
Nice değerli insanı şu kötü huylu çark,
Yüz kez kadeh ve yüz kez sebû hâline getirdi.

İnsanın çömlekçi tarafından yüzlerce kez işlenmesi, Hayyam'ın şiirinde yalnızca maddi bir dönüşümü değil, insan varlığının ölümden sonra bile farklı biçimlerde yaşamaya devam eden döngüsel doğasını güçlü biçimde ortaya koyar. Bir zamanlar hayat süren, sevilen ve değer verilen insan bedeni, zamanla toprağa dönüşür; ardından çömlekçinin ellerinde yeniden şekillenerek kûze, testi veya kadeh olur. Böylece insan, kendi faniliğinin ötesinde, sanatın ve maddenin dönüşümü aracılığıyla başka bir biçimde varlık kazanır. "Yüzlerce kez" ifadesi ise bu dönüşümün tek seferlik olmadığını, insanın ve toprağın sürekli yeniden biçimlendirildiğini vurgular. Çömlekçinin eli burada adeta kaderin ve zamanın eli gibidir: insanı bir biçimden diğerine dönüştürürken geçmiş ile bugünü, ölüm ile yaşamı ve beden ile sanat eserini birbirine bağlar. Bu nedenle kûze, yalnızca topraktan yapılmış bir nesne değil, geçmişte yaşamış insanların izlerini taşıyan ve insanın faniliğini estetik bir biçimde tasvir eden güçlü bir sanat sembolüdür.

3. EPİSTEMOLOJİK DÜZEY: KONUŞAN KÛZENİN GEÇMİŞİ VE İNSANI HATIRLATMASI

Epistemolojik düzey, şiirde insanın varlık, geçmiş ve fanilik hakkındaki hakikate nasıl ulaştığını sorgular (Ghasempour Moghaddam, 2025). Hayyam bu hakikati doğrudan insanın sözlerinde değil, insanla kurduğu ilişki sayesinde anlam kazanan kûzenin kendisinde aramaktadır. Kûze, çömlekçinin emeğini, alıcının sahipliğini, satıcının ticaretini ve onu kullanan insanın hayatını üzerinde taşıyan ortak bir nesnedir. Bu nedenle kûzenin geçmişini

okumak, aslında insanın kendi geçmişini ve varoluşunu okumaktır. Sessiz bir nesnenin konuşmaya başlamasıyla şiir, kûze ile insan arasındaki ilişkinin tek yönlü olmadığını, insanın kûzeyi biçimlendirdiği kadar, kûzenin de insanın kim olduğunu ve sonunda nereye gittiğini hatırlattığını ortaya koymaktadır.

در کارگه کوزه‌گری رفتم دوش ـ دیدم دو هزار کوزه گویا و خموش
ناگاه یکی کوزه برآورد خروش ـ کو کوزه‌گر و کوزه‌خر و کوزه فروش

(Rubaiyât-ı Hayyâm, s.31)

Dün gece çömlekçinin atölyesine gittim,
İki bin kûze gördüm; kimi konuşuyor, kimi susuyordu.
Derken bir kûze ansızın haykırdı:
"Çömlekçi nerede, kûzeyi alan nerede, kûzeyi satan nerede?"

Burada kûze artık yalnızca insana benzeyen bir nesne değil, insan gibi konuşan bir özne konumundadır. Bu nedenle Hayyam'ın kûze metaforunda iki yönlü bir hareket söz konusudur: Bir taraftan insan kûze üzerinden tasvir edilirken, diğer taraftan kûze insanlaştırılır. Böylece insan → kûze ve kûze → insan yönünde karşılıklı bir metaforik geçiş meydana gelir. Bu karşılıklı geçiş, Hayyam'ın kûze imgesinin temel özelliğini oluşturur. Kûze insanın bir benzeri hâline gelirken insan da kendi varlığını kûzede görmeye başlar. Bu nedenle kûze, Hayyam'ın rubailerinde insanın kendisine dışarıdan bakmasını sağlayan bir metaforik ayna işlevi görür. Özellikle kûzenin geçmişte yaşamış insanların bedenlerinden meydana geldiğinin tasarlanması, nesne ile insan arasındaki sınırı daha da belirsizleştirir. Bu noktada Hayyam'ın kullandığı metaforun yalnızca "testi insana benzer" biçiminde tek yönlü bir benzetme olmadığı görülmektedir. İnsan kûzeye dönüşürken kûze de insanın hafızasını, bedenini ve deneyimini taşır. Dolayısıyla kûze, Hayyam'ın şiirinde insanın dışındaki bir nesne olmaktan çıkar ve insanın kendisini temsil eden bir imgeye dönüşür:

از کوزه‌گری کوزه خریدم باری ـ آن کوزه سخن گفت ز هر اسراری
شاهی بودم که جام زرینم بود ـ اکنون شده‌ام کوزه هر خماری

(Rubaiyât-ı Hayyâm, s.41)

Bir çömlekçiden bir kûze satın aldım,
O kûze bütün sırlarından söz etti.
Bir şah idim, altından kadehim vardı;
Şimdi ise her sarhoşun küpü oldum.

Bu rubai, kûzeyi insanın bir temsili olmaktan çıkarıp doğrudan insanın kendisi hâline getirir. Kûzenin bir "sır" taşıması, onun yalnızca maddi bir biçim olmadığını, geçmiş varoluşun

hafızasını ve hakikatini içinde sakladığını gösterir (Eşrâfî, 1395/2016). Bir zamanlar sahip olunan kimlik, makam ve değerler değişmiş olsa da kûze, bunların ardındaki varoluş hikâyesini muhafaza eder. Böylece kûzenin sırrı, insanın kim olduğu ile hangi biçimlere dönüşebildiği arasındaki ilişkiye açılır. Kûze konuştuğunda aslında insanın kendi sırrı açığa çıkar: Varlığın özü sabit bir kimlikte değil, sürekli dönüşen biçimlerin ardındaki maddi ve varoluşsal sürekliliktedir.

İnsan ile kûze arasındaki bu maddî ortaklık, Hayyam'ın bazı rubâîlerde daha özel bir biçim kazanır. Kûzenin bir zamanlar insan bedenine ait parçaları taşıdığı düşüncesi, insan ile nesne arasındaki sınırı daha da geçirgen hâle getirir. Nitekim şu rubâîde kûze doğrudan insanla özdeşleştirilir:

این کوزه چو من عاشقِ زاری بوده‌ست ـ در بندِ سرِ زلفِ نگاری بوده‌ست
این دسته که بر گردنِ او می‌بینی ـ دستی‌ست که بر گردنِ یاری بوده‌ست

(Rubaiyât-ı Hayyâm, s.5)

Bu testi de benim gibi zavallı bir âşıkmış,
Bir güzelin saçlarının kıvrımlarına bağlanmış,
Onun boynunda gördüğün şu kulp,
Bir zamanlar bir sevgilinin boynuna sarılmış bir elmiş.

Bu rubainin dikkat çekici tarafı, kûzenin yalnızca insana benzetilmesi değil, insanın duygusal geçmişine sahip bir varlık olarak tasarlanmasıdır. "Benim gibi" ifadesiyle başlayan özdeşleştirme, kûzeyi insanın dışındaki bir nesne olmaktan çıkararak insan deneyiminin taşıyıcısına dönüştürmektedir. Kûze veya testinin bir zamanlar âşık oluşu, onun "dertli" olması ve kulpunun bir sevgilinin eliyle ilişkilendirilmesi, nesnenin geçmişine insanî bir hikâye kazandırmaktadır. Böylece testi, insanın yaşadığı aşk ve ayrılık deneyimlerini üzerinde taşıyan metaforik bir varlık hâline gelmektedir.

SONUÇ

Ömer Hayyam'ın rubailerinde testi/kûze imgesi, ilk bakışta gündelik ve sıradan bir eşya üzerinden kurulmuş gibi görünse de, şiirsel bağlam içerisinde insan, toprak, madde, biçim, ölüm, dönüşüm ve bilgi arasındaki çok katmanlı ilişkileri görünür kılan güçlü bir metaforik yapı hâline gelmektedir. Hayyam'ın testiyi yalnızca bir eşya olarak değil, insan varlığının maddî kökenini, dönüşümünü ve varoluşsal durumunu yansıtan bir unsur olarak kullanması, bu imgenin şiir dünyasındaki anlam alanını genişletmektedir. Bu bakımdan testi, insanın toprakla ilişkisini yalnızca maddî bir bağ üzerinden değil, ontolojik, estetik ve epistemolojik boyutlarıyla ele almaya imkân veren bir şiirsel araç niteliğindedir.

Ontolojik düzeyde testi imgesi, insan ile toprak arasındaki ayrılmaz ilişkiyi ve varlığın dönüşümsel niteliğini ortaya koymaktadır. Hayyam'ın şiir dünyasında insan topraktan meydana gelir ve ölümle birlikte yeniden toprağın döngüsüne katılır. Bu süreç, mutlak bir yok oluştan ziyade maddenin biçim değiştirmesi şeklinde düşünülür. İnsan bedeninin toprakla birleşmesi, toprağın ise yeniden bir çömlekçinin elinde biçim kazanarak testi hâline gelmesi, insan ile nesne arasındaki sınırın kesin ve değişmez olmadığını gösterir. Böylece testi, insanın maddî varlığının başka bir formda devamlılığını temsil eden bir dönüşüm nesnesine dönüşür. İnsanın başlangıcı ile sonu arasında duran toprak, Hayyam'ın şiirinde aynı zamanda farklı varlık biçimlerini birbirine bağlayan temel bir ontolojik zemin olarak belirginleşir.

Bu dönüşüm anlayışında önemli olan husus, maddenin sürekliliği ile formun değişebilirliği arasındaki ilişkidir. İnsan ölür, bedensel biçimini kaybeder; ancak onu meydana getiren madde bütünüyle ortadan kalkmaz. Toprak, başka bir biçimde yeniden şekillenir ve bu kez insanın elinden çıkan bir testi olarak varlık kazanır. Dolayısıyla Hayyam'ın şiirinde ölüm, varlığın mutlak sonu olmaktan çok, bir biçimin sona erip başka bir biçimin başlamasıdır. Testi bu dönüşümün somut ve görünür hâle geldiği noktadır. Bu nedenle insan ile testi arasındaki ilişki, yalnızca benzetmeye dayalı bir metafor ilişkisi değil, ortak maddî kökene dayanan ontolojik bir yakınlık olarak değerlendirilmelidir.

Estetik düzeyde ise Hayyam, bu ontolojik dönüşümü şiirsel bir imgeye dönüştürürken testiyi insanlaştırır ve ona konuşma, hatırlama, soru sorma ve kendi varlığı üzerine düşünme gibi insanî özellikler kazandırır. Özellikle çömlekçi dükkânını konu alan rubailerde testilerin konuşması, nesne ile insan arasındaki alışılmış bakış ilişkisini tersine çevirir. Normal şartlarda insan testiye bakar, onu biçimi, işlevi ve kullanım amacı bakımından değerlendirir. Hayyam'da ise bu bakış yönü değişir; bu kez testi insana bakar ve insanı sorgular. Böylece insan, kendi ürettiği nesnenin karşısında sorgulanan ve geçmişi hatırlanan bir varlık konumuna gelir.

Testinin konuşturulması, klasik anlamda bir teşhis sanatından daha geniş bir işleve sahiptir. Hayyam, cansız nesneye yalnızca konuşma yetisi vermekle kalmaz; ona bir hafıza ve bilinç de kazandırır. Testi, geçmişte yaşamış insanları hatırlayan, kendisini meydana getiren veya kullanan kişilerin akıbetini sorgulayan bir özne hâline gelir. Böylece nesne, insanın kaybolan geçmişini muhafaza eden metaforik bir hafıza alanı işlevi üstlenir (Sadıkî Semercanî; Yahyayî, 1397/2018) İnsan ortadan kalkarken, onun maddesi başka bir biçimde varlığını sürdürür ve bu yeni biçim, geçmiş insanın hikâyesini taşımaya devam eder.

Bu noktada Hayyam'ın estetik dünyasında süreklilik, maddenin korunması ve formun değişmesi üzerinden kurulmaktadır. Aynı madde farklı biçimlerde yeniden görünür hâle gelir;

insanın maddî varlığı da her yeni biçimde başka bir estetik görünürlük kazanır. Testi bu nedenle yalnızca bir eşya değil, varlığın dönüşümünü görünür kılan estetik bir yüzeydir. Onun biçimi, boynu, ağzı ve kulpu gibi unsurların insan bedenini çağrıştırması da bu estetik dönüşümü güçlendirir. Böylece testi, bir yandan insan bedenini hatırlatırken diğer yandan insanın toprakla olan maddî bağını görünür kılar.

Epistemolojik düzeyde testi metaforu, insanın kendisini doğrudan değil, kendi dışında bulunan bir nesne aracılığıyla tanıması bakımından dikkat çekicidir. Hayyam'ın şiirinde insan, testiye baktığında aslında kendi geçmişiyle, maddî kökeniyle ve kaçınılmaz akıbetiyle karşılaşmaktadır. Başka bir ifadeyle testi, insan hakkında bilgi veren bir nesne hâline gelir. Testinin konuşmasıyla birlikte insanın kendi varlığına ilişkin sorular nesne üzerinden sorulmaya başlanır: İnsan nereden gelmiştir? Ölümle birlikte ne olur? Madde yok olur mu, yoksa biçim mi değiştirir? İnsan ile onu çevreleyen nesneler arasındaki sınır ne ölçüde gerçektir?

Bu bağlamda Hayyam'ın şiirinde bilgi, yalnızca soyut düşünce veya doğrudan felsefî söylem aracılığıyla ortaya çıkmaz. Gündelik bir nesne olan testi, insanın varlığına ilişkin düşüncenin taşıyıcısına dönüşür. İnsan, kendi yaptığı nesnenin karşısında durarak aslında kendisini okumaya başlar. Böylece testi, insanın kendisine dışarıdan bakmasını sağlayan epistemolojik bir ayna işlevi görür. Testinin geçmişi hatırlaması ise nesne ile hafıza arasında özel bir ilişki kurar: İnsan ölür, fakat onun maddesi başka bir biçimde yaşamaya devam eder ve bu yeni biçim, geçmişe ilişkin sessiz bir tanıklık taşır. Testinin konuşması, bu sessiz tanıklığın şiirsel olarak dile gelmesidir.

Hayyam'ın testi metaforunda ontolojik, estetik ve epistemolojik düzeyler birbirinden bağımsız değildir; aksine birbirini tamamlayan bir anlam bütünlüğü meydana getirir. Ontolojik düzeyde insan ile toprak arasındaki maddî süreklilik ortaya konulurken, estetik düzeyde bu süreklilik testi imgesi ve kişileştirme yoluyla görünür ve duyulur hâle getirilir. Epistemolojik düzeyde ise insan, söz konusu imge aracılığıyla kendi varlığı, geçmişi ve akıbeti hakkında düşünmeye yöneltilir. Böylece toprak → insan → testi → insanı sorgulayan testi biçiminde ilerleyen dönüşüm, Hayyam'ın şiirindeki temel düşünsel hareketi ortaya koymaktadır.

Bu süreç aynı zamanda insan ile nesne arasındaki hiyerarşinin tersine çevrilmesini de beraberinde getirir. İnsan testiyi yapan ve ona anlam veren varlık iken, şiirsel düzlemde testi insanın kendisini anlamlandıran bir özneye dönüşür. Başlangıçta insan nesneye anlam yükler; ancak şiirin sonunda nesne insana anlam kazandırır. Bu karşılıklılık, Hayyam'ın testi metaforunun özgünlüğünü belirleyen temel unsurlardan biridir. Testi, yalnızca insanın

benzetildiği bir nesne değil, insanın maddî varlığını taşıyan, geçmişini muhafaza eden ve nihayetinde insanın varoluşunu sorgulayan şiirsel bir özne hâline gelir.

Sonuç olarak Ömer Hayyam'ın rubailerinde testi/kûze imgesi, insan ile toprak arasındaki ilişkinin basit bir metaforu olmaktan çok daha geniş bir anlam alanına sahiptir. Testi, insanın topraktan gelişini, ölümle yeniden toprağa dönüşünü ve maddenin farklı biçimlerde varlığını sürdürmesini temsil eden ontolojik bir imge; insan bedenini, biçimini ve dönüşümünü estetik bir görünürlüğe taşıyan estetik bir imge; insanın kendi varlığını, geçmişini ve akıbetini nesne üzerinden kavramasını sağlayan epistemolojik bir imgedir. Bu üç düzeyin kesişiminde testi, insan ile toprak arasındaki sürekliliğin en somut şiirsel göstergelerinden birine dönüşmektedir. Dolayısıyla Hayyam'ın testi metaforunda asıl dikkat çekici olan, insanın yalnızca toprağa dönüşmesi değil, toprağın da yeniden insanın hikâyesini taşıyan bir biçime dönüşmesidir. İnsan testiye bakarken kendi maddî kökenini ve sonunu görür; testi ise insanın karşısında onun geçmişine tanıklık eden bir varlık olarak durur. Böylece Hayyam, cansız bir nesneyi konuşturarak yalnızca estetik bir şaşırtma oluşturmaz; insanın varlık, değişim, ölüm, hafıza ve bilgi problemleriyle yüzleşmesini sağlar. Testi, bu yönüyle Hayyam'ın rubailerinde insan ile toprak arasındaki ontolojik sürekliliği estetik bir biçimde anlamlandıran ve insanın kendi varlığını sorgulamasına imkân veren bir metafor olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKÇA

Aslantekin, Y.A. (2020), Ömer Hayyam'ın Şiirlerinde Tasavvufî Semboller, (Y.L.Tezi), Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Temel İslam Bilimleri A.D.

Eşrâfî, S.A. M. (1395/2016). "Kûze ve Kûze-geri der Rubaiha-yi Hayyam ya Mensup be Vey", Horasan 3(4), 136-148.

Ghasempour Moghaddam, H. (2025). "Amuzeha-yi Felsefî Zindegi der Şiir Hayyam-ı Nişaburî", *A Journal of İranology Studies (*23), 95-102.

Güzelyüz, A. (2011). "Ömer Hayyam'ın Eserlerine Bir Bakış", İ.Ü. Şarkiyat Mecmuası Sayı (19), 51-62.

Hasan Li, K.; Hassampur, S. (1388/2009). Karnâme-ti Hayyam Pejuhişî der Sedde-yi Çehardehüm", Pejühiş-i Zeban ve Edebiyat Farsî Dergisi (14), 99-126.

Hayyam, Ö. (1338/1959). Külliyat-ı Asâr-ı Hekim Ömer Hayyam, tah. Muhammed Abbasî, Barânî Kitapçılık, Tahran.

Hayyâm, Ö. (1354/ 1975). Rubaiyât-ı Hayyâm, tash. Muhammed Ali Furuğî, Emir Kebir Yayınları, Tahran.

Hayyâm, Ö. (1973). *Hayyâm ve Rubâîleri*. Haz. Abdülbaki Gölpınarlı. İstanbul: İnkılâp Kitabevi.

Karagözoğlu, B. (2023). "Büyük Selçuklu Döneminin Ünlü Astronomu Ömer Hayyâm ve Astronomi Çalışmalarının Rubâilerine Yansımaları", Akademik Tarih ve Düşünce Dergisi 10 (6), 2512-2525.

Najafı, F.(2021). Ebû Sa'id Ebu'l-Hayr Ve Hayyam İle Kadı Burhaneddin Ve Nesîmî'nin Dörtlüklerinin Mukayesesi, (Y. L.Tezi), Marmara Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları Enstitüsü Türk Dili ve Edebiyatı A.D.

Sadıkî Semercanî, H.; A. Yahyayî. (1397/2018), "Hayyam der Makam-ı İtiraz be Siyasetha-yi Hired-Setiz-i Asr-ı Selcukî", Pejuhişha-yi Nazm u Nesr-i Farsî 2(5), 127-144.

Unat, Y. (2007). "Ömer Hayyâm", *TDV İslâm Ansiklopedisi* (34), 68-70.

ÖFKENİN HİKÂYELEŞTİRİLMESİ VE KARAKTER TİPOLOJİSİ: MESNEVÎ'YE RETORİK BİR YAKLAŞIM

THE NARRATİVİZATİON OF ANGER AND CHARACTER TYPOLOGY: A RHETORİCAL APPROACH TO THE MASNAVİ

Dr. Oğuz Çetin
Bağımsız Araştırmacı, Ankara, Türkiye
oguzcet@yahoo.com | ORCID: 0000-0001-9623-7819

ÖZET

Mevlânâ Celâleddîn-i Rûmî'nin Mesnevî'si, ahlâkî ve tasavvufî öğretilerini soyut nasihatler hâlinde değil, çoğunlukla somut karakterlerin eylem ve akıbetleri üzerinden aktarmaktadır. Bu çalışmada Mesnevî'de öfke duygusunun bizzat esas tema olarak işlendiği ve söz konusu duygunun belirli bir karakterin eylemi, dönüşümü ya da akıbeti üzerinden hikâyeleştirildiği üç kıssa ele alınmaktadır: Hz. Ali'nin yüzüne tükürülen düşman savaşçıyı bağışlaması, öfkeli aslanın tavşan tarafından kendi aksine düşürülmesi ve annesini öfkeyle öldüren adam meselesi. Çalışmanın esas zemini tasavvuf ve ilâhiyat alanıdır; James Phelan'ın *Reading People, Reading Plots* (1989) adlı eserinde geliştirdiği retorik karakter kuramı ise bu zeminin daha yakından görülebilmesi için bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Phelan'a göre bir anlatı karakteri mimetik (olası bir insan olma), tematik (bir fikri temsil etme) ve sentetik (kurgusal bir yapı olma) olmak üzere üç bileşenin etkileşiminden meydana gelmekte, bu bileşenler anlatının ilerleyişi içerisinde birbirine tâbi kılınabilmekte (subordination) yahut kaynaşabilmektedir (fusion). Yapılan çözümlemede Hz. Ali kıssasında mimetik işlevin tematik işleve tâbi kılındığı, aslan-tavşan kıssasında mimetik ve tematik işlevlerin kaynaştığı, anne katli meselesinde ise bu tâbi kılınmanın en radikal biçimine ulaşarak sentetik bileşenin belirgin biçimde öne çıktığı görülmektedir. Farklı anlatı stratejilerine rağmen üç kıssanın da aynı tasavvufî hükme — öfkenin asıl kaynağının nefis olduğuna ve çaresinin hilim olduğuna— vardığı tespit edilmektedir. Çalışma, Mevlânâ'nın öfke temasını işlerken başvurduğu anlatı tekniklerinin, verdiği tasavvufî dersin etkisini nasıl güçlendirdiğini göstermeyi amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Mesnevî, öfke, hikâyeleştirme, James Phelan, retorik karakter kuramı, tasavvuf

ABSTRACT

Rather than conveying its ethical and Sufi teachings through abstract exhortation, Rūmī's *Masnavi* most often transmits them through the actions and fates of concrete characters. This study examines three narratives in which anger itself constitutes the central theme and is narrativized through a specific character's action, transformation, or fate: ʿAlī's pardoning of an enemy warrior who spat in his face, an angry lion's undoing by a hare who leads it to mistake its own reflection for a rival, and the story of a man who kills his mother in anger. The study

is grounded primarily in the field of Sufism and Islamic theology; James Phelan's rhetorical theory of character, developed in *Reading People, Reading Plots* (1989), is employed as a method for viewing this ground more closely rather than as the study's substantive centre. For Phelan, a narrative character emerges from the interplay of three components — mimetic, thematic and synthetic — which may become subordinated to one another or fused as the narrative progresses. The analysis finds that in the ʿAlī narrative the mimetic component is subordinated to the thematic; in the lion-and-hare narrative the mimetic and thematic components fuse; and in the matricide narrative this subordination reaches its most radical form, with the synthetic component becoming markedly foregrounded. Despite these differing narrative strategies, all three stories converge on the same Sufi teaching: that the true source of anger lies in the nafs, and that its remedy is hilm.

Keywords: Masnavi, anger, narrativization, James Phelan, rhetorical theory of character, Sufism

1. GİRİŞ

Mevlânâ Celâleddîn-i Rûmî'nin (ö. 672/1273) Mesnevî'si, ahlâkî ve tasavvufî öğretilerini soyut bir vaaz üslubuyla değil, büyük ölçüde hikâyeler aracılığıyla aktarmaktadır. Mevlânâ bir düşünceyi anlatırken çoğu zaman doğrudan bir hüküm bildirmek yerine, o düşünceyi yaşayan, ondan dolayı bir şey kazanan ya da kaybeden somut bir karakter üzerinden anlatmayı tercih etmektedir. Eserin görünüşte dağınık —hikâyeden vaaza, bir benzetmeden başka bir hikâyeye sıçrayan— anlatı yapısı, tesadüfî bir dağınıklık değil, kendi içinde tutarlı bir ilerleme mantığı taşımaktadır; zira hikâye ile öğretici söylev birbirini kesmemekte, birbirini tamamlamaktadır (Hamid, 1999, s. 27-28, 48-49).

Söz konusu anlatı tekniği, bu çalışmada öfke teması üzerinden incelenmektedir. Sorulan soru "Mevlânâ öfke hakkında ne düşünmektedir?" değil, "Mevlânâ öfkeyi anlatırken hangi karakteri öne çıkarmakta ve bizi bu karakterin akıbetiyle nereye götürmektedir?" sorusudur. Kullanılan anlatı kuramı, tasavvuf ve ilâhiyat zeminini daha yakından görebilmek için başvurulan bir yöntem, bir araçtır — çalışmanın kendisi değildir.

Mesnevî'de öfke, çoğunlukla başka duygu ve hâllerle iç içe geçerek, pek çok sahnede bir biçimde yer almaktadır; çalışma bunlar arasından iki ölçüte göre bir örneklem oluşturmaktadır. Birinci ölçüt, hikâyenin esas ve merkezî temasının bizzat öfke olmasıdır; ikinci ölçüt ise bu öfkenin somut bir karakterin eylemi, dönüşümü ya da akıbeti üzerinden hikâyeleştirilmiş olmasıdır. Çalışma, bu iki ölçüte göre öfkenin merkezî bir anlatı kuvveti hâline geldiği üç temsilî kıssaya odaklanmaktadır: Hz. Ali'nin yüzüne tükürülen düşman savaşçıyı bağışlaması

(Mesnevî, I, 3721-3989) ile öfkeli bir aslanın tavşan tarafından kendi aksine düşürülmesi (Mesnevî, I, 899-1389) ve annesini öfkeyle öldüren adamın meseli (Mesnevî, II, 776-787). Nitekim Hz. İsa'ya en çetin şeyin ne olduğu sorulduğunda onun öfkeye uymamayı öğütlediği beyitler de bulunmaktadır (Mesnevî, IV, 113-115). Lâkin söz konusu soru-cevap somut bir karakterin akıbeti üzerinden kurulmadığı, soyut ve öğretici bir nitelik taşıdığı için örneklem dışında bırakılmıştır; çalışma, belirtilen iki ölçüte göre seçilmiş bu örneklemi esas almaktadır. Türkçe literatürde Mesnevî'nin karakter dünyasına dair çalışmalar bulunmaktadır: Hz. Ali (r.a.) ayrı bir insan tipi olarak ele alınmış (Köroğlu, 2014, s. 164-165), hayvan karakterlerinin ahlâkî-metaforik işlevi incelenirken aslan-tavşan kıssasına doğrudan yer verilmiş (Nur, 2017, s. 32-33), nefs kavramının metaforik kuruluşu araştırılırken "kötü huylu ana" meseli aktarılmıştır (Çatak, 2012, s. 73). Bu çalışmalar, üç kıssanın Mesnevî şerh ve yorum geleneğinde tanınan, sıkça atıfta bulunulan hikâyeler olduğunu göstermektedir. Hâsılı, üç kıssanın bir arada ve bilhassa bir *anlatı stratejisi* farklılığı ekseninde yani Mevlânâ'nın öfkeyi her defasında farklı bir karakteri öne çıkararak işlediği gözlemi etrafında okunması, mevcut literatürde ayrı bir inceleme konusu olarak tebârüz etmemektedir. Çalışma, söz konusu çerçeveyi belirginleştirmeyi amaçlamaktadır.

Çalışmada başvurulan yöntem, Amerikalı anlatıbilimci James Phelan'ın *Reading People, Reading Plots* (1989) adlı eserinde geliştirdiği retorik karakter kuramıdır; nitekim Phelan, kendi kategori ve ilkelerini incelediği örneklerle sınırlı tutmayıp "yeni durumlara uygulanabilecek kadar esnek" kılmayı amaçladığını bizzat belirtmekte (Phelan, 1989, s. 189), bu da kuramın burada bir yöntem olarak devreye alınmasına zemin hazırlamaktadır. Phelan'a göre bir anlatı karakteri aynı anda üç bileşenin etkileşiminden oluşmaktadır: mimetik bileşen karakteri olası bir insan olarak, tematik bileşen bir fikrin temsilcisi olarak, sentetik bileşen ise yazarın belirli bir amaç için kurguladığı yapay bir yapı olarak sunmaktadır (Phelan, 1989, s. 1-3). Bu üç bileşen hikâyenin ilerleyişi içinde sabit kalmamakta; bir karakterin taşıdığı izole bir nitelik (dimension), anlatı ilerledikçe olay örgüsünü belirli bir sonuca taşıyan işlevsel bir mekanizmaya (function) dönüşmektedir (Phelan, 1989, s. 9-11). Söz konusu geçiş, mahiyeti itibariyle farklı biçimler alabilmektedir: bir bileşen diğerine tâbi kılınabilmekte (subordination, s. 206), iki bileşen birbiriyle kaynaşabilmekte (fusion, s. 69-71) yahut sentetik bileşen açıkça ön plana çıkarılabilmektedir (foregrounding, s. 14). Çalışmanın temel iddiası, Mevlânâ'nın üç kıssada da aynı tasavvufî hükme —öfkenin kaynağının nefis, çaresinin ise hilim olduğuna— ulaşırken, her defasında farklı bir anlatı stratejisi izlediği, bu farklılığın da Phelan'ın

kavramlarıyla farklı biçimde okunabildiği, dolayısıyla anlatı tekniğinin kendisinin de bu tasavvufî dersin bir parçası hâline geldiğidir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE YÖNTEM

Gazap, acı veren bir davranışın kişinin ruhunda uyandırdığı kızgınlık, intikam duygusu ve cezalandırma isteği olarak tarif edilebilecek ahlâkî bir terimdir; zira bu duygunun fizyolojik bir karşılığı da bulunmakta, intikam arzusuyla birlikte kan dolaşımının hızlanması aklın sağlıklı işleyişini engellemektedir (Çağrıcı, 1996, s. 436-437). Ölçülü bir öfke şecaat (kahramanlık) sayılabilse de, bu ancak hilim ile birlikte düşünüldüğünde anlam kazanmaktadır (Çağrıcı, 1996, s. 436-437). Hilim ise gazabın mukabili olup, beşerî münasebetlerde ölçülü ve medenî bir tavrı ifade eden ahlâkî bir erdem olarak tanımlanmaktadır. Zihnî cihetten akıllılık ve bilgelik, ahlâkî cihetten ise öfkeyi yenme, af, sabır ve vakar bu kavramın kapsamına girmektedir (Çağrıcı, 1998, s. 33-36). Hilim, cehaletten ya da güçsüzlükten kaynaklanan bir edilgenlik değil, tam tersine bilgi ve güç sahibi olduğu hâlde kendini tutabilmenin adıdır (Çağrıcı, 1998, s. 33-36).

Gazap ile hilim arasındaki bu karşıtlık, Mevlânâ'nın düşüncesinde tek başına bir duygu-denetimi meselesi olarak kalmamakta, nefis terbiyesinin daha geniş bir tasavvufî çerçevesine yerleşmektedir. Ayrıca nefis ile akıl arasındaki çatışma, insanın kendi benliğiyle giriştiği kapsamlı bir manevî sınamanın merkezinde yer almaktadır (Chittick, 1983, s. 33-35). Şöyle ki, Mesnevî'de nefis kavramı ejderha, eşek ve diken gibi çok sayıda hayvan ve nesne metaforuyla somutlaştırılmaktadır (Kaval, 2011, s. 154, 158, 161). Aslan imgesi ise tek bir karşılığa indirgenememektedir. Mevlânâ'nın hayvan benzetmelerinde belirli bir kalıba bağlı kalmadığı, aynı hayvanı konusuna göre farklı biçimlerde nitelendirdiği belirtilmektedir; nitekim kuvvet ve kudret vasıflarıyla Allah'a benzettiği aslanı, aynı vasıflarla nefs-i emmâreye de benzetmektedir (Baykal, 1985, s. 603). Bununla birlikte, ilerleyen bölümlerde görüleceği üzere bazı beyitlerde aslan doğrudan öfkeyi karşılayacak biçimde kullanılmaktadır (Omidali, 2021, s. 70-71). Bu iki kavram —gazap ve hilim— aşağıda ele alınan üç kıssanın da ortak kavramsal zeminini oluşturmaktadır.

Phelan'ın kuramı, bir karakterin “kim olduğu” sorusundan çok, o karakterin metin içinde “nasıl işlediği” sorusuna odaklanmaktadır. Aşağıda ele alınan üç kıssada bu soru sırasıyla tâbi kılınma, kaynaşma ve son kıssada birlikte işleyen radikal tâbi kılınma ile öne çıkarma kavramları eşliğinde cevaplanmaya çalışılmaktadır. Phelan'ın retorik anlatıbilim çerçevesinin yakın tarihli bir uygulama örneği de bulunmaktadır (Oruç Kesici, 2026).

3. HZ. ALİ VE YÜZÜNE TÜKÜRÜLEN DÜŞMAN SAVAŞÇI KISSASI

Kıssa (Mesnevî, I, 3721-3989), Hz. Ali'nin bir savaşta yendiği düşman savaşçının, öldürüleceği anda Ali'nin yüzüne tükürmesiyle başlamaktadır. Savaşçının beklentisinin aksine Hz. Ali kılıcını hemen indirmemekte, bu beklenmedik duraklama savaşçıyı şaşırtmaktadır. Hz. Ali, kendisini "heva ve heves aslanı değil, Allah'ın aslanı" olarak tanımlayarak hiddetin kendisine değil kendisinin hiddete hâkim olduğunu, hilim kılıcının kendi kızgınlığının boynunu vurduğunu ifade etmektedir. Anlatının kilit noktası, Hz. Ali'nin yüzüne tükürülünce nefsinin kabardığını, dolayısıyla o anda kılıcını indirmiş olsaydı savaşının yarısının Allah için değil kendi nefsi için olacağını itiraf etmesidir. Nitekim kıssa, düşman savaşçının bu tavır karşısında imana gelmesi, zünnarını kesmesi ve beraberindekilerin de Müslüman olmasıyla sonuçlanmakta; anlatı, hilim kılıcının demir kılıçtan daha keskin, yüzlerce orduya bedel olduğu hükmüyle kapanmaktadır (Mesnevî, I, 3975-3989).

Kıssa, Mesnevî üzerine yapılan çalışmalarda da sıkça ele alınmaktadır: "hiddet ve asabiyette ölü gibi ol" öğüdü çerçevesinde aynı rivayet aktarılmakta ve hiddet-gazap-hilim üçlüsü doğrudan tartışılmaktadır (Yaran, 2007, s. 36-38). Hz. Ali ayrı bir karakter tipi olarak ele alınmış; "Allah'ın aslanı" sıfatının Mevlânâ tarafından da sıklıkla kullanıldığı, yüzüne tükürülme sahnesinin bu tip içinde merkezî bir yer tuttuğu vurgulanmaktadır (Köroğlu, 2014, s. 164-165). Kezâ konunun Mesnevî dışı bir bağlamda da işlendiği görülmektedir: Mesnevî'deki Hz. Ali imgesi "Haydar" (aslan) lakabı ve mürşid/rehber sembolizmi ekseninde incelenmiş, aynı yüzüne-tükürülme sahnesi ve Hz. Ali'nin öfkeye rağmen bağışlayıcı tavrı da işlenmektedir (Demirci, 2009, s. 398-400, 404).

Phelan'ın kavramlarıyla okunduğunda bu kıssa yalın bir insan portresi sunmamaktadır: karakterin mimetik bileşeni, Hz. Ali'nin insanî öfke anını itiraf etmesi, nefsinin kabardığını söylemesi, güçlü biçimde işlenmekte, fakat bu insanî an kendi başına durmamaktadır. Anlatının ilerleyişinde bu mimetik işlev, ihlâs ve hilim idealini kanıtlamak üzere tematik işleve tâbi kılınmaktadır. Phelan'ın kendi yaklaşımında bu kategoriyi örneklendirmek için andığı *1984*, *The French Lieutenant's Woman* ve *The Armies of the Night* gibi eserlerde olduğu üzere (Phelan, 1989, s. 206), mimetik ayrıntı burada da bağımsız bir gerçekçilik kaygısından çok, tematik önermeyi güçlendirmek amacıyla işlev görmektedir. Düşman savaşçı da bu çerçevede ayrıca değerlendirilebilir: mimetik derinlikten büyük ölçüde yoksun bırakılan bu figür, şaşkınlığı ve nihayetinde imana gelişi üzerinden, Ali'nin ihlâsını sınayan işlevsel bir unsur olarak da okunabilir (Phelan, 1989, s. 14). Kısacası hikâye önce bir insan göstermekte, ardından bu insanı bir derse dönüştürmektedir.

4. ÖFKELİ ASLAN VE TAVŞAN KISSASI

Kelile ve Dimne geleneğinden gelen bu fabl (Mesnevî, I, 899-1389), av hayvanlarının bir aslanla anlaşma yapmasıyla başlamaktadır. Aslan, sırası gelen tavşanın gecikmesine hiddetlenmekte ve öfkeyle bağırmaktadır. Tavşan ise aslanı bir hile ile bir kuyunun başına götürmektedir. Aslan, kuyudaki kendi yansımasını rakip bir aslan sanarak üzerine atlamakta ve boğulmaktadır; tavşan bu haberi diğer av hayvanlarına müjdelemektedir. Esasen Mevlânâ, hikâyeyi hemen tasavvufî bir hükme bağlamaktadır: insan da tıpkı bu aslan gibi kendi aksini kendi düşmanı sanmakta, başkalarında gördüğü kötülüklerin aslında kendi huyunun bir yansıması olduğunu fark edememektedir. Bu dünya kuyusunun dibinde mahpus kalan asıl aslanın insanın kendisi olduğu, onu tavşan misali zayıf görünen nefsin nasıl da kahrettiği vurgulanmakta, içteki bu düşmanın dışarıdaki her hasımdan daha güçlü olduğu belirtilmektedir. Anlatı, aynı Hz. Ali kıssasında da geçen hükümle kapanmaktadır: asıl aslan, nefsini yenen kişidir (Mesnevî, I, 1373-1389).

Aslan-tavşan fablı üzerinde duran çalışmalar ise kıssayı birden fazla eksenden okuyabilmektedir. Kıssa tevekkül-çalışma karşıtlığı ekseninde de okunduğunda, tavşanın tevekkülü, aslanın ise çalışmayı temsil ettiği değerlendirilmesi yapılabilmektedir (Nur, 2017, s. 32-33). Çalışmanın burada izlediği öfke-nefis okuması, kıssanın taşıdığı bu çoğul yorum imkânının yalnızca bir boyutunu öne çıkarmaktadır. Söz konusu hikâye, uluslararası masal tipleri sınıflandırmasında (Aarne-Thompson tip indeksi) "AaTh 92: Aslanın Kendi Yansımasına Dalması" tipiyle özdeşleştirilmekte, böylece kıssanın Hint kökenli bir fabl geleneğinden geldiği, fakat Mevlânâ'nın onu kendi tasavvufî yorumuna eklemlediği ileri sürülmektedir (Marzolph, 1995, s. 281); bu tespit, eski motif ile Mevlânâ'nın kattığı yorumun birbirinden ayrı değerlendirilmesi gerektiğini hatırlatması bakımından önemlidir. Mesnevî genelinde öfkenin aslan imgesiyle özdeşleştirildiği birkaç beyit bir araya getirildiğinde, aslan-öfke metaforunun bu tek kıssaya özgü olmadığı görülmektedir (Omidali, 2021, s. 70-71).

Phelan'ın kavramlarıyla bakıldığında bu kıssa, Hz. Ali kıssasına nispetle farklı bir tertip üzere kurulmaktadır. Bu kıssada aslanın öfkeli mizacı, kendi yansımasını düşman sanmasına ve böylece kendi yıkımına yol açan tematik işlevinden ayrılamaz hâle gelmekte; mimetik ve tematik işlevler arasına net bir sınır çizilememektedir. Bu durum, Phelan'ın Henry James'in *The Beast in the Jungle* çözümlemesinde geliştirdiği füzyon kavramıyla örtüşmektedir (Phelan, 1989, s. 69-71). Ayrıca hikâyenin bir fabl olması, sentetik bileşenin baştan itibaren belirgin biçimde öne çıkmasına yol açmaktadır (Phelan, 1989, s. 14): okuyucu, konuşan bir aslanın "gerçek bir hayvan" değil, öfkeyi yenilgiye uğratmak üzere kurgulanmış bir araç olduğunu

baştan bilmektedir. Kuyudaki yansıma da bu bağlamda salt bir sahne ayrıntısı değil, aslanın kendi kuruntusuyla yüzleştiği sentetik bir unsur olarak okunabilir (Phelan, 1989, s. 14).

5. ANNESİNİ ÖLDÜREN ADAM MESELESİ

Annesini öfkeyle öldüren bir adamın meselesi (Mesnevî, II, 776-787), halkın bu eylem karşısında adamı kınamasıyla açılmaktadır. Adam, kendi eylemini savunurken "her gün başka birini öldüreceğime, kaynağı boğazladım" demektedir. Hikâyenin örgüsü burada kapanmakta, Mevlânâ hemen ardından doğrudan te'vile geçmektedir. Söz konusu te'vil, hikâyenin ana hükmünü teşkil etmektedir: asıl öldürülmesi gereken "kötü huylu ana", her yerde fesat çıkaran insanın kendi nefsidir; kişi kendine gelip nefsini öldürürse özür dilemeye gerek kalmadan kurtulacak, ülkesinde hiçbir düşmanı kalmayacaktır (Mesnevî, II, 783-787).

Nefs kavramının Mevlânâ tarafından hangi metaforik alanlar üzerinden kurulduğunu inceleyen bir çalışmada, tam olarak bu mesel "kötü huylu ana" başlığı altında aktarılmakta ve dış düşmanlık algısının kaynağı tezkiye edilmemiş nefse bağlanmaktadır (Çatak, 2012, s. 73). Esasen bu tespit, çalışmanın kendi okumasıyla birebir örtüşmekte; mesel, Mesnevî şerh ve yorum geleneğinde nefs-tezkiyesi bağlamında tanınan bir hikâye olarak öne çıkmaktadır.

Phelan'ın kavramlarıyla değerlendirildiğinde bu üçüncü kıssa, tâbi kılınmayı ilk ikisine nazaran çok daha ileri bir dereceye taşımaktadır. Adamın bir ismi, bir geçmişi yoktur; mimetik bileşen hemen hiç işlenmemekte, adamın şok edici eylemi neredeyse anında tematik bir önermeye dönüştürülmektedir. Söz konusu dönüşüm, Phelan'ın özetlediği tâbi kılınma derecelendirmesiyle paralel biçimde, mimetik işlevin tematik işleve *radikal* denebilecek ölçüde tâbi kılınması olarak okunabilir (Phelan, 1989, s. 206); şu kadar ki bu "radikal" niteleme Phelan'ın kendi terimi değil, çalışmanın kendi derecelendirmesidir. Aynı anda, Mevlânâ'nın "asıl öldürülmesi gereken nefsindir" diyerek hikâyeyi anında ve açıkça sembolik bir okumaya yönlendirmesi, sentetik bileşeni de belirgin biçimde öne çıkarmaktadır (Phelan, 1989, s. 14): Mevlânâ âdeta okuyucuya, bunun bir gerçek olay kaydı değil, bir sembol olduğunu ilan etmektedir.

6. ÜÇ KISSANIN ORTAK ANLATI MANTIĞI

Üç kıssanın ortak bir iskelet üzerinde kurulduğu görülmektedir: girişte bir öfke anı sahnelenmekte, gelişmede bu öfke bir eyleme ya da karara dönüşmekte, sonuçta ise bu eylemin bir bedeli yahut bir aydınlanması ortaya çıkmakta ve Mevlânâ hemen ardından doğrudan tasavvufî hükmü vermektedir: gerçek düşman dışarıda değil insanın kendi nefsindedir, öfkeyi yenmek de bir hilim meselesidir. Farklı olan, Mevlânâ'nın bu hükmü her seferinde farklı bir anlatı stratejisiyle vermesidir: Hz. Ali kıssasında insanî anı derse tâbi kılmakta, aslan-tavşan

kıssasında iki işlevi kaynaştırmakta, anne katli meselesinde ise karakteri neredeyse tamamen sembole indirgemektedir. Nihayetinde, bu üç kıssada da anlatı ile te'vil arasındaki geçiş bir kopuş değil, aynı öğretinin farklı yoğunluk derecelerinde tekrarı mahiyetindedir (Hamid, 1999, s. 27-28, 48-49).

Üç kıssanın imge düzeyinde de aynı çizgide birleştiği görülmektedir: aslan-tavşan kıssasındaki "asıl aslan, nefsini mağlup edendir" hükmü, Hz. Ali kıssasındaki hilim kılıcı imgesi ve anne katli meselesindeki nefs-i emmâre teşhisi tek bir tasavvufî hükmün farklı yüzleri olarak belirmektedir. Anlatı kuramı, tekrarın altında duran bu farkı görünür kılmakta; görünür hâle gelen ise kuramın kendisi değil, Mevlânâ'nın nefis terbiyesi bahsinde her defasında aynı hakikate açılan telkinidir.

7. SONUÇ

Çalışma, Mesnevî'de öfkenin ne söylendiğinden çok nasıl söylendiğiyle ilgilenmiş; öfkenin bizzat esas tema olduğu ve somut bir karakter üzerinden hikâyeleştirildiği üç kıssayı —Hz. Ali'nin bağışlaması, aslan-tavşan fablı ve anne katli meseli— James Phelan'ın retorik karakter kuramı eşliğinde incelemiştir. Yapılan çözümleme, üç kıssanın da aynı tasavvufî hükme, öfkenin kaynağının nefis ve çaresinin hilim olduğu hükmüne, farklı anlatı stratejileriyle ulaştığını göstermektedir: Hz. Ali kıssasında insanî öfke anı tematik ideale tâbi kılınmakta, aslan-tavşan kıssasında insanî ve tematik işlevler kaynaşmakta, anne katli meselesinde ise bu tâbi kılınma en radikal biçimine ulaşarak karakter neredeyse doğrudan bir sembole dönüşmektedir. Bu çeşitlilik, Mevlânâ'nın tek bir dersi tek bir kalıpla değil, okuyucunun farklı duygusal ve bilişsel kapılarından geçerek aynı sonuca ulaşmasını sağlayacak biçimde çeşitlendirilmiş bir anlatı repertuvarıyla verdiğini düşündürmektedir.

İleride yapılacak çalışmalar, burada kullanılan üç kıssalık yapıyı genişleterek Mesnevî'deki diğer duygu temalarına (kibir, hırs, korku) aynı retorik çerçeveyi uygulayabilir; ayrıca Greimas'ın eyleyen (actant) modeli gibi tamamlayıcı bir anlatıbilimsel çerçeveyle karşılaştırmalı bir okuma da verimli olabilir. Hâsılı, Mevlânâ'nın öfke temasını işlerken başvurduğu anlatı teknikleri, verdiği tasavvufî dersin tesirini güçlendiren işlevsel bir tercih olarak yorumlanabilir: nefis, asıl aslan olarak kalmakta; onu yenen kişi de asıl kahraman olmaktadır (bk. yukarıda, Mesnevî, I, 1373-1389).

KAYNAKÇA

Baykal, Ö. (1985). Mevlânâ'nın Mesnevî'sinde hayvan hikâyeleri. *Erdem*, 1(3), 601-613.

Chittick, W. C. (1983). *The Sufi path of love: The spiritual teachings of Rumi*. Albany: State University of New York Press.

Çağrıcı, M. (1996). Gazap. *TDV İslâm Ansiklopedisi* içinde (C. 13, s. 436-437). İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları. https://islamansiklopedisi.org.tr/gazap--insan

Çağrıcı, M. (1998). Hilim. *TDV İslâm Ansiklopedisi* içinde (C. 18, s. 33-36). İstanbul: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları. https://islamansiklopedisi.org.tr/hilim

Çatak, A. (2012). Mevlânâ Celâleddin-i Rûmî'nin nafs kavramına getirdiği metaforik yaklaşımlar. *A.Ü. Türkiyat Araştırmaları Enstitüsü Dergisi*, (48), 71-102.

Demirci, M. (2009). Mesnevi'de Hz. Ali imajı. İçinde *Hazreti Ali Sempozyumu Bildirileri* (24-25 Ekim 2007) (s. 397-411). İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi İlahiyat Fakültesi, İzmir İlahiyat Fakültesi Vakfı ve Diyanet İşleri Başkanlığı İzmir İl Müftülüğü.

Hamid, F. (1999). Storytelling techniques in the *Masnavi-yi Ma'navi* of Mowlana Jalal al-Din Rumi: Wayward narrative or logical progression? *Iranian Studies*, 32(1), 27-49. https://doi.org/10.1080/00210869908701944

Kaval, M. (2011). Mevlânâ'nın Mesnevî'sinde nefis kavramı. *Uşak Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 4(2), 149-163.

Köroğlu, U. (2014). *Mevlânâ'nın Mesnevîsi'nde insan tipleri* [Yayımlanmamış doktora tezi]. Atatürk Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

Marzolph, U. (1995). Popular narratives of Jalāloddīn Rumi's Masnavi. *The Arabist*, (13-14), 275-287. https://doi.org/10.58513/arabist.1995.13-14.22

Mevlânâ Celâleddîn-i Rûmî. (2016). *Mesnevî* (C. 1-6) (V. Ç. İzbudak, Çev.; A. Gölpınarlı, Gözden geçiren) (2. bs.). Konya Büyükşehir Belediyesi.

Nur, İ. H. (2017). Mesnevî'de hayvan karakterleri (metaforları). *Türk & İslam Dünyası Sosyal Araştırmalar Dergisi (TURKSOSBİLDER)*, 2(1), 29-47.

Omidali, H. (2021). Mevlânâ'nın Mesnevî'sinde öfke analizi: Lakoff'un kavramsal metafor teorisi temelinde. *Matn Pazhūhī-ye Adabī (Literary Text Research)*, 25(88), 59-85. https://doi.org/10.22054/ltr.2019.38652.2533

Oruç Kesici, S. (2026). *Rhetorical narratological approach to narrative space and progression in Thomas Hardy's The Return of the Native, The Mayor of Casterbridge, and Tess of the d'Urbervilles* [Yayımlanmamış doktora tezi]. Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İngiliz Edebiyatı Bölümü.

Phelan, J. (1989). *Reading people, reading plots: Character, progression, and the interpretation of narrative*. Chicago: University of Chicago Press.

Yaran, C. S. (2007). "Mevlânâ'nın yedi öğüdü": Evrensel erdemler, kozmik temellendirmeler ve aidiyet meselesi. *İstanbul Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi*, (16), 21-48.

DERGİABANT DERGİSİNDE YAYIMLANAN İSLAM HUKUKU ALANINDAKI MAKALELERİN BİBLİYOMETRİK VE TEMATİK ANALİZİ (2013–2026)

Prof. Dr. Said Nuri AKGÜNDÜZ
Bolu Abant İzzet Baysal University, Faculty of Theology, Department of Basic Islamic Sciences, 14030 Gölköy, Bolu
ORCID ID: 0000-0002-0145-7921
Doç. Dr. Cemalettin ŞEN
Bolu Abant İzzet Baysal University, Faculty of Theology, Department of Basic Islamic Sciences, 14030 Gölköy, Bolu
ORCID ID: 0000-0002-3999-5426
Doç. Dr. Seyyid SANCAK
Bolu Abant İzzet Baysal University, Faculty of Theology, Department of Philosophy and Religious Sciences, 14030 Gölköy, Bolu
ORCID ID: 0000-0003-0206-0237
Doç. Dr. Murat KOBYA
Bolu Abant İzzet Baysal University, Faculty of Theology, Department of Philosophy and Religious Sciences, 14030 Gölköy, Bolu
ORCID ID: 0000-0002-3221-1430
Doç. Dr. Murat TARHAN
Bolu Abant İzzet Baysal University, Faculty of Theology, Department of Philosophy and Religious Sciences, 14030 Gölköy, Bolu
ORCID ID: 0000-0001-8262-8130
Dr. Öğr. Üyesi Yasin GÖKGÖZ
Bolu Abant İzzet Baysal University, Faculty of Theology, Department of Basic Islamic Sciences, 14030 Gölköy, Bolu
ORCID ID: 0000-0002-0925-9786

ÖZET

Bu çalışmada, Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi İlahiyat Fakültesi tarafından yayımlanan ve TR Dizin'de taranan Dergiabant dergisinin 2013 (Cilt 1, Sayı 1) – 2026 (Cilt 14, Sayı 1) arasındaki 27 sayısı taranarak İslam hukuku (fıkıh) alanında yayımlanmış makalelerin bibliyometrik ve tematik analizi yapılmıştır. Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi (BAİBÜ) BAP projesi (Proje No: 2025-BDP-023) olarak devam etmekte olan Dergiabant'ta Yayınlanmış Fıkıh Konulu Makalelerin Yapay Zekâ Desteğiyle Değerlendirilmesi: Meta Analiz Örneği başlıklı projenin çıktıları esas alınarak hazırlanan bu bildiride yapay zekâ desteği kullanılmıştır. Doküman incelemesine dayalı taramada 49 makale temel listeye alınmış; fıkıh ile hadis, tarih, tasavvuf ve edebiyat kesişiminde konumlanan 5 çalışma ise "alanlar arası" etiketiyle ayrı bir kategori olarak analize dâhil edilmiştir (toplam n = 54). Bulgular; yayınların yıllara, cilt/sayılara, yazar üretkenliğine, yazarlık desenine, yayın dili ve türüne göre dağılımını ve sekiz tematik kategori altında yoğunlaşma alanlarını ortaya koymaktadır. İslam hukuku yayınlarının 2020 ve özellikle 2024–2025 döneminde belirgin biçimde arttığı; tematik olarak fıkıh usûlü ile fıkıh tarihi/literatür-tahkik çalışmalarının öne çıktığı; üretimin büyük oranda tek yazarlı olduğu tespit edilmiştir. Çalışmanın sonucunda öneri olarak; derginin İslam hukuku

birikimi üzerine atıf temelli bir izleme çalışması yapılabileceği, muâmelât/İslam iktisat hukuku ve karşılaştırmalı hukuk temalarındaki görece düşük üretimin artırılması amacıyla, özel sayı veya dosya konusu planlamasıyla desteklenebileceği, çok yazarlı ve alanlar arası çalışmaların teşvikinin üretim desenini zenginleştireceği ve aynı analiz modelinin, fakültenin diğer temel İslam bilimleri alanlarına genişletilebileceği bildirilmiştir.

Anahtar kelimeler: İslam Hukuku, Fıkıh, Dergiabant, Bibliyometrik Analiz, Tematik Analiz.

BIBLIOMETRIC AND THEMATIC ANALYSIS OF ARTICLES ON ISLAMIC LAW PUBLISHED IN DERGİABANT JOURNAL (2013–2026)

ABSTRACT

This study presents a bibliometric and thematic analysis of articles in the field of Islamic law (fiqh) published in Dergiabant, the TR Dizin-indexed journal of the Faculty of Theology at Bolu Abant İzzet Baysal University. All 27 issues published between 2013 (Vol. 1, No. 1) and 2026 (Vol. 14, No. 1) were examined through document analysis. This paper, prepared based on the outputs of the project titled "Evaluation of Fiqh Articles Published in Dergiabant with Artificial Intelligence Support: A Meta-Analysis Example," which is ongoing as a BAP project (Project No: 2025-BDP-023) of Bolu Abant İzzet Baysal University (BAİBÜ), utilizes artificial intelligence support. Forty-nine articles were included in the core list, while five studies positioned at the intersection of fiqh with hadith, history, Sufism, and literature were included as a separate "interdisciplinary" category (total n = 54). The findings reveal the distribution of publications by year, volume/issue, author productivity, authorship pattern, language, and article type, as well as thematic concentrations under eight categories. Islamic law publications increased notably in 2020 and especially in 2024–2025; methodology of Islamic law (usūl al-fiqh) and studies on the history, literature, and critical editions of fiqh emerged as the leading themes; and production was predominantly single-authored. As a result of the study, it was suggested that: a citation-based monitoring study could be conducted on the journal's body of Islamic law knowledge; the relatively low output in the areas of Islamic economic law and comparative law could be increased through the planning of special issues or thematic sections; encouraging multi-authored and interdisciplinary studies would enrich the output pattern; and the same analytical model could be extended to other fundamental Islamic sciences fields within the faculty.

Keywords: Islamic Law, Fiqh, Dergiabant, Bibliometric Analysis, Thematic Analysis.

KORONER ARTER BYPASS CERRAHİSİ SONRASI YAPILANDIRILMIŞ SAĞLIK DANIŞMANLIĞININ POSTOPERATİF BİRİNCİ YILDA YAŞAM TARZI VE RİSK FAKTÖRLERİ YÖNETİMİ ÜZERİNE ETKİSİ

Dr. Öğr. Üyesi Ertürk KARAAĞAÇ
Izmir Katip Celebi University, Faculty of Medicine, Department of Cardiovascular Surgery, 35150 Karabaglar, Izmir
ORCID ID: 0000-0002-4935-0816

ÖZET

Koroner arter hastalığı aterosklerotik patogenezi sebebiyle mortalite ve morbiditeye sebep olan ilerleyici bir hastalıktır. Ancak operasyon sonrası hastaların yakın takibi, optimal medikal tedavilerinin düzenlenmesi ve yaşam tarzı değişikleri ile sağkalımı arttırabilmek mümkün olabilmektedir. Bu çalışmanın amacı koroner arter bypass greftleme (KABG) uygulanan hastalarda, taburculuk sonrası yapılandırılmış sağlık ve yaşam tarzı danışmanlığının postoperatif birinci yıldaki kardiyovasküler risk faktörlerinin kontrolü ve hastaların yaşam tarzı değişikliklerine uyumu üzerindeki etkinliğini değerlendirmektir. 2022–2025 yılları arasında tek merkezde KABG uygulanan 364 hasta çalışmaya dahil edildi. Hastalar taburculuk sonrası düzenli sağlık danışmanlığı alanlar (Grup 1, n=180) ve standart poliklinik takibi yapılanlar (Grup 2, n=184) olarak iki gruba ayrıldı. Hastaların preoperatif demografik, klinik ve alışkanlık verileri ile postoperatif birinci yıldaki risk faktörü parametreleri ve yaşam tarzı uyum düzeyleri karşılaştırıldı. Veriler SPSS v26.0 programı ile analiz edildi ($p<0,05$ anlamlı kabul edildi). Preoperatif dönemde yaş, cinsiyet, komorbiditeler (hipertansiyon, diyabet, hiperlipidemi) ile birlikte bazal VKİ (28,4 ± 3,5 vs. 28,5 ± 3,6 kg/m²; p=0,789), aktif sigara (%67,8 vs. %68,5; p=0,887) ve düzenli alkol kullanım oranları (%32,2 vs. %33,7; p=0,764) açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı fark saptanmadı ($p>0,05$). Postoperatif birinci yıl kontrollerinde ise; danışmanlık almayan Grup 2'de aktif sigara kullanımı (%34,8 vs. %21,7; p=0,017) ve düzenli alkol tüketimi (%28,3 vs. %16,7; p=0,017) ile ortalama VKİ (28,6 ± 3,4 vs. 26,8 ± 3,1 kg/m²; p=0,023) anlamlı derecede daha yüksek bulundu. Buna karşın Grup 1'deki hastaların düzenli egzersiz ve fiziksel aktiviteye uyum oranları anlamlı düzeyde daha yüksek izlendi (%71,1 vs. %51,1; $p<0,001$). Preoperatif risk profilleri benzer olan hasta gruplarında, postoperatif dönemde verilen düzenli sağlık danışmanlığı; kilo kontrolünün sağlanmasında, sigara ve alkolün bırakılmasında/azaltılmasında ve düzenli egzersiz alışkanlığının kazanılmasında belirgin üstünlük sağlayabilmektedir. KABG sonrası uzun dönem greft açıklığı ve sağkalım için cerrahi başarı kadar yapılandırılmış yaşam tarzı takibi de esastır.

Anahtar kelimeler: Koroner arter bypass cerrahisi, Sağlık danışmanlığı, Egzersiz uyumu, Kardiyovasküler risk faktörleri, Sekonder koruma, Yaşam tarzı değişikliği.

THE EFFECT OF STRUCTURED HEALTH COUNSELING AFTER CORONARY ARTERY BYPASS SURGERY ON LIFESTYLE AND RISK FACTOR MANAGEMENT IN THE FIRST POSTOPERATIVE YEAR

ABSTRACT

Coronary artery disease is a progressive disease-causing mortality and morbidity due to its atherosclerotic pathogenesis. However, it is possible to increase survival through close postoperative follow-up of patients, optimization of medical treatments, and lifestyle modifications. The aim of this study is to evaluate the effectiveness of post-discharge structured health and lifestyle counseling on the control of cardiovascular risk factors and patients' adherence to lifestyle changes in the first postoperative year among patients who underwent coronary artery bypass grafting (CABG). A total of 364 patients who underwent CABG at a single center between 2022 and 2025 were included in the study. Patients were divided into two groups: those who received regular health counseling after discharge (Group 1, n=180) and those who received standard outpatient follow-up (Group 2, n=184). Preoperative demographic, clinical, and habit data of the patients were compared with risk factor parameters and lifestyle adherence levels at the first postoperative year. Data were analyzed using the SPSS v26.0 program ($p<0.05$ was considered significant). In the preoperative period, no statistically significant difference was found between the groups in terms of age, gender, comorbidities (hypertension, diabetes, hyperlipidemia), baseline BMI (28.4 ± 3.5 vs. 28.5 ± 3.6 kg/m²; p=0.789), active smoking (67.8% vs. 68.5%; p=0.887), and regular alcohol consumption rates (32.2% vs. 33.7%; p=0.764) ($p>0.05$). At the first-year postoperative controls, active smoking (34.8% vs. 21.7%; p=0.017), regular alcohol consumption (28.3% vs. 16.7%; p=0.017), and mean BMI (28.6 ± 3.4 vs. 26.8 ± 3.1 kg/m²; p=0.023) were found to be significantly higher in Group 2, which did not receive counseling. In contrast, adherence rates to regular exercise and physical activity were observed to be significantly higher in the patients in Group 1 (71.1% vs. 51.1%; $p<0.001$). In patient groups with similar preoperative risk profiles, regular health counseling provided in the postoperative period can provide distinct superiority in achieving weight control, quitting or reducing smoking and alcohol, and acquiring regular exercise habits. For long-term graft patency and survival after CABG, structured lifestyle follow-up is as essential as surgical success.

Keywords: Coronary artery bypass surgery, Health counseling, Exercise adherence, Cardiovascular risk factors, Secondary prevention, Lifestyle modification.

MİKROBİYOLOJİK BİLGİNİN HEMŞİRELİK UYGULAMALARINDA İZOLASYON ÖNLEMLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Dr.Öğretim Üyesi Sevil YILMAZ
Izmir Katip Celebi University, Health Care Vocational School, Cigli, Izmir
ORCID ID: 0000-0003-4750-8672
Öğretim Görevlisi Dr. Ozge OZTUNA ARAS
Izmir Katip Celebi University, Health Care Vocational School, Cigli, Izmir
ORCID ID: 0000-0003-0886-4367

ÖZET

Mikrobiyolojik bilgi, hemşirelik uygulamalarının temel dayanağını oluşturmakta; klinisyenlerin bulaş yollarını tanımlamasına ve patojenlerin yayılımını sınırlandırmaya yönelik kanıta dayalı stratejiler uygulamasına olanak sağlamaktadır. Bu derleme, temas, damlacık ve hava yoluyla bulaşan patojenlerin özelliklerini, standart ve bulaşma yoluna dayalı izolasyon önlemlerinin klinik uygulamasını ve hemşirelerin bilgi, tutum ve uygulamalarının enfeksiyon kontrolüne uyumu nasıl etkilediğini incelemektedir. Bulgular, el hijyeni, kişisel koruyucu ekipman kullanımı ve çevresel dezenfeksiyonun sağlık hizmeti ilişkili enfeksiyonların önlenmesinde kritik rol oynadığını; ancak yüksek hasta yükü, personel eksikliği ve yetersiz eğitim gibi kurumsal engellerin bu uygulamaların tutarlılığını zayıflattığını göstermektedir. Simülasyon temelli, uzun soluklu ve yetkinlik odaklı eğitim programlarının, teorik bilgi ile klinik uygulama arasındaki boşluğu kapatmada etkili olduğu vurgulanmaktadır. Sonuç olarak, mikrobiyolojik bilginin klinik uygulamayla bütünleştirilmesi, hasta güvenliğinin ve sağlık çalışanı korunmasının sağlanmasında vazgeçilmez bir unsurdur; bu doğrultuda kurumsal eğitim yatırımlarının ve müfredat reformlarının sürdürülmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mikrobiyoloji, izolasyon önlemleri, enfeksiyon kontrolü, hemşirelik uygulaması, sağlık hizmeti ilişkili enfeksiyonlar

MICROBIOLOGICAL KNOWLEDGE AND ITS IMPLICATIONS FOR ISOLATION PRECAUTIONS IN NURSING PRACTICE

ABSTRACT

Microbiological knowledge forms the essential foundation of nursing practice, enabling clinicians to identify transmission pathways and apply evidence-based strategies to limit the spread of pathogens. This review examines the characteristics of contact-, droplet-, and airborne-transmitted pathogens, the clinical application of standard and transmission-based isolation precautions, and how nurses' knowledge, attitudes, and practices shape compliance with infection control measures. The findings indicate that hand hygiene, the use of personal protective equipment, and environmental disinfection play a critical role in preventing healthcare-associated infections, while institutional barriers such as high patient loads, staffing

shortages, and inadequate training undermine the consistency of these practices. Simulation-based, longitudinal, and competency-focused educational programs are highlighted as effective means of bridging the gap between theoretical knowledge and clinical application. In conclusion, integrating microbiological knowledge with clinical practice is indispensable for safeguarding patient safety and protecting the healthcare workforce, and sustained investment in institutional training and curricular reform is recommended.

Keywords: Microbiology, isolation precautions, infection control, nursing practice, healthcare-associated infections

1. INTRODUCTION

Microbiological knowledge serves as the foundational pillar for nursing practice, enabling clinicians to identify transmission pathways and apply evidence-based strategies to mitigate the spread of pathogens (Puro et al., 2022). This cognitive framework allows nurses to systematically implement isolation precautions—categorized by contact, droplet, or airborne transmission routes—to effectively isolate infectious reservoirs (Chang et al., 2023). By integrating this clinical expertise with robust infection prevention and control strategies, such as the consistent use of personal protective equipment and rigorous hand hygiene, practitioners can significantly reduce the incidence of healthcare-associated infections (Hill et al., 2024). Ultimately, this adherence to evidence-based protocols is essential for safeguarding both patient populations and the healthcare workforce, as individual compliance remains a critical predictor of institutional infection control success (Alhumaid et al., 2021; Tafere et al., 2024). Given that nosocomial infections are associated with adverse outcomes such as extended hospitalizations and heightened mortality, mastery of these concepts is indispensable for effective clinical decision-making (Teixeira et al., 2025). Furthermore, bridging the gap between theoretical understanding and practical application of aseptic techniques is vital, as inconsistent knowledge and compliance directly heighten the risk of cross-contamination within clinical settings (Jarelnape, 2023; Salu et al., 2023). Consequently, enhancing nursing education regarding transmission dynamics and antimicrobial stewardship is essential to align clinical practice with rigorous safety standards (Courtenay et al., 2021; Ekakoro et al., 2025). By prioritizing the integration of these competencies, nurses not only minimize the transmission of hospital-acquired infections but also serve as primary educators for patients and families on essential hygiene practices (Hammoud et al., 2021). Moreover, because microorganisms exhibit varying survival durations on environmental surfaces, this specialized knowledge dictates the necessity of frequent disinfection protocols to prevent indirect contact

transmission (Vadala & Princess, 2021). This clinical vigilance is directly linked to the mitigation of occupational hazards, as nurses remain the most vulnerable frontline workers for acquiring and transmitting pathogens during routine care delivery (Harun et al., 2022). By fostering a culture of specialized infection control training, healthcare institutions can better equip nursing staff to manage complex transmission risks while improving overall patient outcomes (Gorjian et al., 2024).

2. MATERIAL AND METHODS

This article was developed as a narrative literature review addressing the role of microbiological knowledge in guiding isolation precautions within nursing practice. The reviewed material consists of peer-reviewed journal articles, systematic reviews, and expert consensus statements, predominantly published between 2021 and 2025, that examine microbial transmission pathways, infection prevention and control principles, transmission-based isolation categories, and nursing education and practice outcomes related to infection control. Sources were drawn from the nursing, infectious disease, and hospital epidemiology literature and were selected for their relevance to three thematic areas: (1) the microbiological foundations of healthcare-associated pathogens and their transmission characteristics, (2) the clinical application of standard and transmission-based isolation precautions, and (3) the nursing knowledge, practice, and educational factors that influence compliance with infection prevention protocols. Findings from the selected sources were synthesized narratively and organized thematically rather than through a systematic, protocol-driven search, consistent with the aim of providing an integrative overview rather than an exhaustive systematic synthesis.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Microbiological Foundations

Healthcare-associated infections are primarily driven by resilient pathogens such as Staphylococcus aureus, Clostridium difficile, and multidrug-resistant Gram-negative bacteria that exploit vulnerabilities in clinical environments. These microorganisms often persist on high-touch surfaces or medical devices, necessitating strict adherence to contact precautions to prevent the cross-transmission of resistant strains (Kubde et al., 2023). Furthermore, the specific transmission pathways of these pathogens—ranging from direct patient contact to indirect contact through contaminated equipment—demand that nurses differentiate between standard and transmission-based precautions based on the microbe's unique survival characteristics (Alrubaiee et al., 2021; Ghorbanmovahhed et al., 2023). For instance,

identifying airborne-transmissible organisms requires the immediate implementation of negative-pressure isolation and high-efficiency respiratory protection to mitigate the risk of inhalation exposure (Mumma et al., 2023). Conversely, pathogens such as Clostridioides difficile or vancomycin-resistant Enterococcus necessitate vigilant environmental sanitation, as their ability to persist on surfaces creates continuous reservoirs for indirect transmission (Poster et al., 2021). This strategic differentiation in isolation measures is fundamental, as the duration and frequency of physical interactions between healthcare workers and patients are strongly correlated with the localized diffusion of these pathogens (Valdano et al., 2021).

3.1.1. Infection Prevention Principles

The cornerstone of effective infection prevention involves implementing standardized bundles that align specific barrier requirements with the known transmission profile of prevalent pathogens. For instance, the adoption of rigorous hand hygiene protocols, particularly through alcohol-based hand rub, serves as the primary defense against the transient contamination of healthcare workers' hands, which act as the most common vector for cross-transmission (Lotfinejad et al., 2021). Beyond hand hygiene, the systematic application of non-pharmaceutical interventions—including the judicious use of personal protective equipment and environmental disinfection—effectively interrupts these transmission pathways at both individual and systemic levels (Leung, 2021). Integrating these risk-based approaches with standardized cleaning of frequently touched surfaces remains crucial, as comprehensive environmental decontamination directly reduces the reservoir load for pathogens like Staphylococcus aureus (Assadian et al., 2021; Birgand et al., 2022). Furthermore, the isolation of carriers harboring multidrug-resistant organisms serves as a critical strategy to contain the spread of reservoirs within the facility, thereby reducing the clinical necessity for broad-spectrum antibiotic administration (Denkel et al., 2024; Sartelli et al., 2024). Innovative technologies, such as ultraviolet light or hydrogen peroxide vapor, further enhance these containment efforts by eliminating persistent surface contaminants that conventional cleaning may miss (Ji & Ye, 2024). By integrating these diagnostic and environmental strategies, nursing leadership can ensure that precaution selection remains evidence-based, effectively balancing patient comfort with the rigorous demands of pathogen containment (Carling et al., 2023).

3.2. Isolation Precautions

Isolation precautions are categorized by the distinct transmission pathways of pathogens, requiring nurses to apply standard, contact, droplet, or airborne protocols accordingly. Contact

precautions mandate the use of gloves and gowns for direct or indirect patient contact, whereas droplet precautions require medical face masks, and airborne protocols necessitate the use of well-fitted respirators in specialized isolation rooms (Plachouras et al., 2023). Effective patient placement strategies prioritize private rooms for patients requiring contact or droplet precautions, or those with significant wound drainage or fecal incontinence to mitigate cross-contamination (Kociolek et al., 2023; Labovská, 2021). For airborne precautions, patients must be placed in an Airborne Infection Isolation Room maintained under negative pressure to ensure that air is exhausted directly outside or through high-efficiency particulate air filters, thereby preventing the migration of infectious droplet nuclei to adjacent areas. Beyond these spatial controls, healthcare facilities must ensure rigorous cleaning and disinfection of the environment and equipment to neutralize persistent microbial reservoirs (Popovich et al., 2023; Yokoe et al., 2023).

3.2.1. Precaution Categories

The selection of these categories relies on the clinical assessment of known or suspected infectious agents, necessitating rapid initiation of enhanced barriers for patients presenting with symptoms such as persistent cough, acute diarrhea, or unexplained febrile illness. While traditional frameworks distinguish between droplet and airborne categories based on particle size and settling distances, emerging evidence suggests these classifications may be overly simplistic, as respiratory viruses often exist across a broad spectrum of aerosol sizes (Klompas et al., 2021). Consequently, relying solely on contact and droplet protocols may be insufficient to protect healthcare workers from pathogens capable of significant airborne transmission (Greenhalgh et al., 2024; Rabin et al., 2024). Clinical conditions such as pulmonary tuberculosis, measles, and varicella mandate the use of airborne precautions, whereas droplet precautions are indicated for pathogens like influenza, requiring healthcare staff to don surgical masks upon room entry. Conversely, contact precautions are indicated for multidrug-resistant organisms or enteric pathogens like Clostridioides difficile, necessitating the use of dedicated equipment and enhanced terminal cleaning of the patient environment (Ling et al., 2023; Rodríguez-Nava et al., 2023). Furthermore, the efficacy of these protective barriers depends heavily on the correct sequence of donning and doffing personal protective equipment to prevent self-contamination, as pathogens can survive for extended periods on gowns, gloves, and respirators (Du et al., 2021). Beyond these measures, the rapid triage and early diagnosis of symptomatic patients are essential to preventing nosocomial transmission, as delayed

identification significantly elevates the risk of exposure for healthcare personnel (Edgar et al., 2022; Shbaklo et al., 2021).

3.2.2. Implementation Practices

Nurses play a pivotal role in the operationalization of these strategies by ensuring strict adherence to the sequence of donning and doffing personal protective equipment to minimize the risk of self-contamination. Furthermore, clinicians must prioritize rigorous hand hygiene—the most fundamental strategy for reducing healthcare-associated infections—by strictly following the WHO "Five Moments" before and after interacting with the patient or their immediate environment (Kim & Lee, 2022). Effective room procedures demand the immediate placement of designated disposal containers near the point of care to facilitate safe waste management (Angeloni et al., 2023). Additionally, nurses must supervise the terminal cleaning process for equipment used in isolation rooms, ensuring all surfaces are disinfected with EPA-approved agents that target the specific pathogen's environmental resilience (Ghabayen et al., 2023). Beyond these procedural technicalities, nurse leaders must advocate for adequate staffing levels and ongoing competency training to mitigate the risks associated with fatigue and suboptimal compliance during periods of high-acuity care (Ünüvar et al., 2021). Cultivating a culture of sustained vigilance is vital, as research indicates that healthcare workers serve as a primary conduit for pathogen transmission (Lau et al., 2024).

3.3. Nursing Knowledge and Practice

Deepening the clinical understanding of microbial pathogenesis enables nurses to shift from rote adherence to adaptive decision-making, allowing for the critical evaluation of risk even when symptoms are atypical. This informed approach reinforces the necessity of periodic, evidence-based educational programs that bridge the gap between microbiological theory and routine clinical application (Fadl et al., 2023). Specifically, continuous training workshops and the appointment of dedicated personal protective equipment champions can foster consistent adherence to these protocols by providing supervised practice and addressing technical barriers (Ayed et al., 2024; Driscoll & Evans, 2022). Moreover, fostering an organizational culture that prioritizes infection control alongside professional development significantly enhances individual nurse performance and compliance with standardized guidelines (Kim & Park, 2023). Furthermore, clinical leadership and role modeling are essential to ensure that student nurses and staff prioritize rigorous adherence to these infection prevention and control guidelines (Bouchoucha et al., 2021). Competency frameworks must extend beyond theoretical knowledge to include regular audit-based feedback, as evidence demonstrates that nursing

practice often requires targeted reinforcement to align with high-level clinical standards (Harun et al., 2022; McCauley et al., 2021). Effective communication strategies within nursing teams, such as multidisciplinary huddles and real-time safety briefings, are essential to address knowledge deficits and ensure collective accountability for protective practices (Bangani et al., 2023; Elshaer & Agage, 2022). These collaborative efforts must be bolstered by structured educational curricula that address gaps in antimicrobial stewardship and infection control, as research indicates that awareness often relies heavily on individual initiative rather than institutional training.

3.4. Clinical Implications

The integration of microbiological literacy into daily bedside practice directly correlates with reduced rates of healthcare-associated infections, as clinicians become better equipped to anticipate transmission risks and implement preemptive control measures. By fostering a deeper comprehension of pathogen-specific survival times and resistance mechanisms, nurses can more effectively tailor their interventions to prevent the cross-transmission of multidrug-resistant organisms (Vita et al., 2024). Moreover, this advanced clinical proficiency supports the optimization of antibiotic stewardship by reducing the necessity for empiric therapy through earlier, more precise infection containment (Danielis et al., 2022). However, the successful translation of this theoretical knowledge into practice is frequently hindered by organizational barriers, such as excessive workloads and suboptimal staffing levels, which diminish the consistency of infection prevention adherence (Abalkhail & Alslamah, 2022; Silva et al., 2021). Furthermore, the lack of robust institutional commitment to multidisciplinary collaboration often leaves individual staff isolated, complicating the establishment of consistent safety protocols and hindering the development of comprehensive infection control committees (Camerini et al., 2024). Addressing these structural constraints requires a commitment to reformative curricula that integrate practice-oriented, clinical-context learning to bridge the persistent gap between professional knowledge and bedside execution (Macho et al., 2021).

3.4.1. Practice Challenges

Operational consistency is often compromised by heavy patient-to-nurse ratios, which limit the time available for meticulous aseptic techniques and essential infection control monitoring (Tencic & Roche, 2023). Moreover, knowledge-related deficits and the pressures of high-acuity environments frequently lead to the incorrect use of precautions, which significantly exacerbates the risk of pathogen dissemination (Azak et al., 2023). Such lapses often stem from

a fundamental misunderstanding of microbial transmission dynamics, where nurses may inadvertently prioritize efficiency over the rigorous application of isolation measures (Bobbitt et al., 2023; Lalithabai et al., 2022). These procedural failures are compounded by limited clinical exposure and inadequate hands-on training, leaving nursing staff less prepared to manage complex isolation scenarios effectively (Park et al., 2023). Furthermore, systemic barriers such as inadequate staffing levels and the perceived burden of time-intensive donning and doffing procedures often result in "missed care," which compromises patient safety and increases the potential for environmental contamination. Ultimately, these systemic pressures exacerbate the burden of healthcare-associated infections, which are linked to higher morbidity, prolonged hospital stays, and increased mortality rates (Collaborators et al., 2023).

3.4.2. Educational Strategies

To address these practice challenges, curricula must transition toward simulation-based learning and case-based reasoning to reinforce the practical implications of microbial transmission. Furthermore, implementing longitudinal educational interventions rather than isolated training modules is essential, as singular sessions often fail to produce meaningful, sustained improvements in clinical practice or reduce healthcare-associated infection rates (Kakkar et al., 2021; Koota et al., 2024). These longitudinal programs should be complemented by routine, audit-based competency assessments that ensure clinical proficiency remains aligned with evolving antimicrobial resistance patterns and institutional safety standards (Singh et al., 2023; Zhang et al., 2024). Additionally, leveraging innovative technologies such as virtual reality applications can enhance engagement and knowledge retention regarding standard precautions, serving as a scalable solution to combat the variability observed in traditional clinical training (AL-Mugheed et al., 2022). Prioritizing these evidence-based training methods is critical to narrowing the known "know-do" gap, thereby ensuring that nursing interventions are consistently grounded in both theoretical proficiency and practical application (Sharma & Bachani, 2023). Ongoing efforts must also emphasize the demonstration of procedural proficiency, as research indicates that passive learning methods often fail to confirm that healthcare workers possess the necessary skills for consistent, high-stakes infection control (Qureshi et al., 2022). Integrating these competency-based assessments within a culture of continuous institutional surveillance is vital, as data suggest that such targeted training initiatives are fundamental to mitigating the alarming rise of healthcare-associated infections (Kopsidas et al., 2021; Razzaque, 2023).

4. CONCLUSION

Synthesizing rigorous microbiological knowledge with consistent clinical application remains the cornerstone of modern nursing practice and patient safety. To sustain these gains, healthcare institutions must prioritize the integration of comprehensive, evidence-based training programs that mandate regular competency assessments for all personnel, including new hires (Bouza et al., 2023; Habtie et al., 2025). Furthermore, academic and healthcare organizations must collaborate to revise undergraduate curricula, ensuring that infection control programs incorporate both classroom theory and field-based internship training to bridge existing knowledge-practice gaps (Al-Faouri et al., 2021; Gulia et al., 2022). Advancing such educational reforms is essential to elevating compliance with hand hygiene and isolation protocols, ultimately fostering a culture of safety that proactively mitigates the risk of pathogen transmission (Chakma et al., 2024; Reis et al., 2021). Finally, future pedagogical efforts should prioritize objective skill verification and self-assessment accuracy to combat overconfidence in clinical hand hygiene performance (Chen et al., 2024; Seidel-Fischer et al., 2024). By embedding these rigorous standards into professional development and utilizing interactive, evidence-based methods, healthcare systems can effectively normalize high-fidelity infection prevention behaviors (Glowicz et al., 2023). Moreover, strategic investment in accessible microbiology laboratory resources and the professionalization of infection prevention and control nursing roles must be prioritized to support these educational advancements (Rooslamiati et al., 2023).

REFERENCES

Abalkhail, A., & Alslamah, T. (2022). Institutional Factors Associated with Infection Prevention and Control Practices Globally during the Infectious Pandemics in Resource-Limited Settings. Vaccines, 10(11), 1811. https://doi.org/10.3390/vaccines10111811

Al-Faouri, I., Okour, S., Al-Akour, N., & Alrabadi, N. (2021). Knowledge and compliance with standard precautions among registered nurses: A cross-sectional study. Annals of Medicine and Surgery, 62, 419--424. https://doi.org/10.1016/j.amsu.2021.01.058

Alhumaid, S., Mutair, A. A., Alawi, Z. A., Alsuliman, M., Ahmed, G. Y., Rabaan, A. A., Al-Tawfiq, J. A., & Al-Omari, A. (2021). Knowledge of infection prevention and control among healthcare workers and factors influencing compliance: a systematic review. Antimicrobial Resistance and Infection Control, 10(1), 86. https://doi.org/10.1186/s13756-021-00957-0

AL-Mugheed, K., Bayraktar, N., Al-Bsheish, M., Alsyouf, A., Aldhmadi, B. K., Jarrar, M., & Alkhazali, M. N. (2022). Effectiveness of game-based virtual reality phone application and online education on knowledge, attitude and compliance of standard precautions among nursing students. PLoS ONE, 17(11). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275130

Alrubaiee, G. G., Baharom, A., Faisal, I., Shahar, H. K., Daud, S. M., & Basaleem, H. (2021). Implementation of an educational module on nosocomial infection control measures: a randomised hospital-based trial. BMC Nursing, 20(1), 33. https://doi.org/10.1186/s12912-021-00551-0

Angeloni, N. L. N., Silva, M. H. do N., Valle, L. A. R., Sousa, Á. F. de, Valim, M. D., Andrade, D. de, Fronteira, I., & Santos, A. G. dos. (2023). Impact of an educational intervention on standard

precautions during the COVID-19 pandemic. PubMed, 76(4). https://doi.org/10.1590/0034-7167-2022-0750
Assadian, O., Harbarth, S., Vos, M. D., Knobloch, J. K. -M., Asensio, Á., & Widmer, A. F. (2021). Practical recommendations for routine cleaning and disinfection procedures in healthcare institutions: a narrative review. Journal of Hospital Infection, 113, 104--114. https://doi.org/10.1016/j.jhin.2021.03.010
Ayed, A., Malak, M. Z., Ayed, M. B., Allayed, R., & Shouli, M. (2024). Knowledge, attitudes, and practices toward infection control precautions among nurses in Palestinian hospitals. International Journal of Nursing Education Scholarship, 21(1). https://doi.org/10.1515/ijnes-2023-0117
Azak, E., Sertçelik, A., Ersöz, G., Çelebi, G., Eser, F., Batırel, A., Çağ, Y., Türe, Z., Öztürk-Engin, D., Yetkin, M. A., Kaygusuz, S., Candevir, A., Tartari, E., Rello, J., Alp, E., ALPAY, A. S., Yıldırım, A. A., Vatan, A., Yahşi, A., ... Yuluğkural, Z. (2023). Evaluation of the implementation of WHO infection prevention and control core components in Turkish health care facilities: results from a WHO infection prevention and control assessment framework (IPCAF)---based survey. Antimicrobial Resistance and Infection Control, 12(1), 11. https://doi.org/10.1186/s13756-023-01208-0
Bangani, O., English, R., & Dramowski, A. (2023). Intensive care unit nurses' knowledge, attitudes and practices of COVID-19 infection prevention and control. Southern African Journal of Infectious Diseases, 38(1), 478. https://doi.org/10.4102/sajid.v38i1.478
Birgand, G., Ahmad, R., Bulabula, A. N. H., Singh, S., Bearman, G., Castro-Sánchez, E., & Holmes, A. (2022). Innovation for infection prevention and control---revisiting Pasteur's vision. The Lancet, 400(10369), 2250--2260. https://doi.org/10.1016/s0140-6736(22)02459-x
Bobbitt, L. J., Cimino, C., Garvey, K. V., Craft, L. S., Eichenseer, N. A., & Nelson, G. E. (2023). An app a day: Results of pre- and post-surveys of knowledge, attitudes, and practices (KAP) regarding antimicrobial stewardship principles among nurses who utilized a novel learning platform. Antimicrobial Stewardship & Healthcare Epidemiology, 3(1). https://doi.org/10.1017/ash.2023.131
Bouchoucha, S., Phillips, N. M., Lucas, J. J., Kilpatrick, M., & Hutchinson, A. (2021). An investigation into nursing students' application of infection prevention and control precautions. Nurse Education Today, 104, 104987. https://doi.org/10.1016/j.nedt.2021.104987
Bouza, E., Navarro, J. A. G., Alonso, S., Alonso, J. C. D., Escobar, C., Gómez, B. J. F., Borrás, M. I. G., Rojas, A. J. G., Pavón, F. J. G., Gracia, D., Rodríguez, J. G., Kestler, M., Cuervo, F. M., Sánchez, F. J. M., Moreno, C. M., Menéndez, R., Muñóz, P., Palomo, E., Garrote, J. M. P.-C., ... Vidán, M. T. (2023). Infection control in long term care institutions for the elderly: A reflection document on the situation in Spain. Revista Española de Quimioterapia, 36(4), 346--379. https://doi.org/10.37201/req/002.2023
Camerini, F. G., Cunha, T. L., Fassarella, C. S., Henrique, D. de M., & Fortunato, J. G. S. (2024). Nursing strategies in antimicrobial stewardship in the hospital environment: a qualitative systematic review. BMC Nursing, 23(1), 147. https://doi.org/10.1186/s12912-024-01753-y
Carling, P., Parry, M. F., & Olmstead, R. N. (2023). Environmental approaches to controlling Clostridioides difficile infection in healthcare settings. Antimicrobial Resistance and Infection Control, 12(1), 94. https://doi.org/10.1186/s13756-023-01295-z
Chakma, S. K., Hossen, S., Rakib, T. M., Hoque, S., Islam, R., Biswas, T., Islam, Z. U., & Islam, M. M. (2024). Effectiveness of a hand hygiene training intervention in improving knowledge and compliance rate among healthcare workers in a respiratory disease hospital. PubMed Central, 10(5). https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27286
Chang, Sung Ok, Sohng, K., Kim, K., Won, J., Chaung, S., & Choi, M. (2023). How nursing students learn infection control education through undergraduate nursing programs: a phenomenographic research study. BMC Nursing, 22(1), 297. https://doi.org/10.1186/s12912-023-01465-9
Chen, J., Yang, L., Mak, Y. W., O'Donoghue, M. M., Chen, S., Tsang, H., Lu, S., Zou, J., Qin, J., Xie, Y. J., Lai, T., Li, C., Cao, J., & Pittet, D. (2024). Hand Hygiene Education Components Among First-Year Nursing Students. JAMA Network Open, 7(6). https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2024.13835
Choi, H., Chatterjee, P., Lichtfouse, É., Martel, J. A., Hwang, M., Jinadatha, C., & Sharma, V. K. (2021). Classical and alternative disinfection strategies to control the COVID-19 virus in healthcare

facilities: a review. Environmental Chemistry Letters, 19(3), 1945--1951. https://doi.org/10.1007/s10311-021-01180-4
Collaborators, W. A. R. N. N. G. (WARNING), Sartelli, M., Barie, P. S., Coccolini, F., Abbas, M., Abbo, L. M., Abdukhalilova, G. K., Abraham, Y., Abubakar, S., Abu-Zidan, F. M., Adebisi, Y. A., Adamou, H., Afandiyeva, G., Agastra, E., Alfouzan, W., Al-Hasan, M. N., Ali, S., Ali, S. M. S., Allaw, F., ... Catena, F. (2023). Ten golden rules for optimal antibiotic use in hospital settings: the WARNING call to action. World Journal of Emergency Surgery, 18(1), 50. https://doi.org/10.1186/s13017-023-00518-3
Courtenay, M., Castro-Sánchez, E., Gallagher, R., Gould, D., Hawker, C., Hennefer, D., Liptrott, C., Cooper, D., Smith, E. J., Craig, R., Halewood-Muse, G., Aires, P., Hinkin, J., Holmes, A., Ness, V., Merriman, C., Whatley, L., Beresford, S., Bate, J., ... Monks, S. (2021). Delivery of antimicrobial stewardship competencies in UK pre-registration nurse education programmes: a national cross-sectional survey. Journal of Hospital Infection, 121, 39--48. https://doi.org/10.1016/j.jhin.2021.09.027
Danielis, M., Regano, D., Castaldo, A., Mongardi, M., & Webber, T. B. (2022). What are the nursing competencies related to antimicrobial stewardship and how they have been assessed? Results from an integrative rapid review. Antimicrobial Resistance and Infection Control, 11(1), 153. https://doi.org/10.1186/s13756-022-01189-6
Denkel, L. A., Voß, A., Caselli, E., Dancer, S. J., Leistner, R., Gastmeier, P., & Widmer, A. F. (2024). Can probiotics trigger a paradigm shift for cleaning healthcare environments? A narrative review. Antimicrobial Resistance and Infection Control, 13(1), 119. https://doi.org/10.1186/s13756-024-01474-6
Driscoll, B., & Evans, D. (2022). Nursing Infection Control Practice Adherence, Related Barriers, and Methods of Intervention. JONA The Journal of Nursing Administration, 52(3), 132--137. https://doi.org/10.1097/nna.0000000000001120
Du, Q., Zhang, D., Hu, W., Li, X., Xia, Q., Wen, T., & Jia, H. (2021). Nosocomial infection of COVID-19: A new challenge for healthcare professionals (Review). International Journal of Molecular Medicine, 47(4). https://doi.org/10.3892/ijmm.2021.4864
Edgar, M., Selvaraj, S., Lee, K., Caraballo-Arias, Y., Harrell, M., & Rodríguez-Morales, A. J. (2022). Healthcare workers, epidemic biological risks - recommendations based on the experience with COVID-19 and Ebolavirus. Infezioni in Medicina, 30(2), 168--179. https://doi.org/10.53854/liim-3002-2
Ekakoro, N., Nakayinga, R., Kaddumukasa, M., & Mbatudde, M. (2025). Knowledge and attitude of nosocomial infection prevention and control precautions among healthcare personnel at Kiruddu Referral Hospital in Kampala, Uganda. BMC Health Services Research, 25(1), 161. https://doi.org/10.1186/s12913-025-12219-5
Elshaer, N., & Agage, H. (2022). Nurses' perception and compliance with personal protective equipment and hand hygiene during the third wave of COVID-19 pandemic. Journal of the Egyptian Public Health Association, 97(1), 14. https://doi.org/10.1186/s42506-022-00109-1
Fadl, D. K. A. E., Aly, Y., Darweesh, E., Sabri, N. A., & Ahmed, M. A. (2023). Assessment of neonatal intensive care unit nurses' compliance with standard precautions of infection control and identification of enabling factors. Future Journal of Pharmaceutical Sciences, 9(1), 6. https://doi.org/10.1186/s43094-022-00456-y
Ghabayen, F. G., ALBashtawy, M., Abdelkader, R., Jarrah, S., Eshah, N. F., Abdalrahim, A., Saifan, A. R., Alkhawaldeh, A., Rayan, A., Ayed, A., Al-Amer, R., Mohammad, K., Al-Dwaikat, T., Omari, O. A., ALBashtawy, S., ALBashtawy, B., & Dameery, K. A. (2023). Knowledge and Compliance With Standard Precautions Among Nurses. SAGE Open Nursing, 9. https://doi.org/10.1177/23779608231189966
Ghorbanmovahhed, S., Shahbazi, S., Gilani, N., Ostadi, A., Shabanloei, R., & Gholizadeh, L. (2023). Effectiveness of implementing of an infection control link nurse program to improve compliance with standard precautions and hand hygiene among nurses: a quasi-experimental study. BMC Medical Education, 23(1), 265. https://doi.org/10.1186/s12909-023-04208-1
Glowicz, J., Landon, E., Sickbert-Bennett, E., Aiello, A. E., deKay, K., Hoffmann, K. K., Maragakis, L. L., Olmsted, R. N., Polgreen, P. M., Trexler, P., VanAmringe, M., Wood, A., Yokoe, D. S., & Ellingson, K. (2023). SHEA/IDSA/APIC Practice Recommendation: Strategies to prevent healthcare-

associated infections through hand hygiene: 2022 Update. Infection Control and Hospital Epidemiology, 44(3), 355--376. https://doi.org/10.1017/ice.2022.304
Gorjian, Z., Asadizaker, M., Zarea, K., Irajpour, A., Ahmadi, F., & Rokhafroz, D. (2024). Experiences and attitudes of clinical and academic nurses about infection prevention and control nursing curriculum and duties - a qualitative study. BMC Medical Education, 24(1), 672. https://doi.org/10.1186/s12909-024-05633-6
Greenhalgh, T., MacIntyre, C. R., Baker, M. G., Bhattacharjee, S., Chughtai, A. A., Fisman, D. N., Kunasekaran, M., Kvalsvig, A., Lupton, D., Oliver, M., Tawfiq, E., Ungrin, M., & Vipond, J. (2024). Masks and respirators for prevention of respiratory infections: a state of the science review. UNSWorks (University of New South Wales, Sydney, Australia), 37(2). https://doi.org/10.1128/cmr.00124-23
Gulia, S., Kaur, K., Devi, S., Singh, S., & Rohilla, K. K. (2022). Nurses in NICUs' views on nosocomial infection prevention. Journal of Education and Health Promotion, 11(1), 158. https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_1019_21
Habtie, T. E., Feleke, S. F., Terefe, A. B., Alamaw, A. W., & Abate, M. D. (2025). Nurses' knowledge and its determinants in surgical site infection prevention: A comprehensive systematic review and meta-analysis. PubMed Central, 20(1). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0317887
Hammoud, S., Amer, F., & Kocsis, B. (2021). Examining the effect of infection prevention and control awareness among nurses on patient and family education: A cross-sectional study. Nursing and Health Sciences, 24(1), 140--151. https://doi.org/10.1111/nhs.12905
Harun, Md. G. D., Anwar, M. M. U., Sumon, S. A., Abdullah-Al-Kafi, M., Datta, K., Haque, Md. I., Chowdhury, A. B. M. A., Sharmin, S., & Islam, M. S. (2022). Pre-COVID-19 knowledge, attitude and practice among nurses towards infection prevention and control in Bangladesh: A hospital-based cross-sectional survey. PLoS ONE, 17(12). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0278413
Harun, Md. G. D., Anwar, M. M. U., Sumon, S. A., Hassan, M. Z., Mohona, T. M., Rahman, A., Abdullah, S. A. H. M., Islam, M. S., Kaydos-Daniels, S. C., & Styczynski, A. (2022). Rationale and guidance for strengthening infection prevention and control measures and antimicrobial stewardship programs in Bangladesh: a study protocol. BMC Health Services Research, 22(1), 1239. https://doi.org/10.1186/s12913-022-08603-0
Hill, B., Lamichhane, G., & Wamburu, A. (2024). Infection prevention and control: critical strategies for nursing practice. British Journal of Nursing, 33(17), 804--811. https://doi.org/10.12968/bjon.2024.0286
Jarelnape, A. (2023). The Assessment of Nursing Staff Knowledge and Barriers Regarding Aseptic Techniques in Khartoum Teaching Hospital, Sudan. Cureus, 15(9). https://doi.org/10.7759/cureus.45265
Ji, B., & Ye, W. (2024). Prevention and control of hospital-acquired infections with multidrug-resistant organism: A review. PubMed Central, 103(4). https://doi.org/10.1097/md.0000000000037018
Kakkar, S., Bala, M., & Arora, V. K. (2021). Educating nursing staff regarding infection control practices and assessing its impact on the incidence of hospital-acquired infections. Journal of Education and Health Promotion, 10(1), 40. https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_542_20
Kim, J., & Park, H. (2023). The Influence of Knowledge on Standard Precautions, Nursing Professionalism, and Organizational Culture for Infection Control on Hospital Nurses' Performance with Guidelines for Standard Precautions. Journal of Korean Academy of Fundamentals of Nursing, 30(2), 225--235. https://doi.org/10.7739/jkafn.2022.30.2.225
Kim, J. S., & Lee, E. (2022). Difference between self-reported adherence to standard precautions and surveillance and factors influencing observed adherence: a quantile regression approach. BMC Nursing, 21(1). https://doi.org/10.1186/s12912-022-00984-1
Klompas, M., Milton, D. K., Rhee, C., Baker, M. A., & Leekha, S. (2021). Current Insights Into Respiratory Virus Transmission and Potential Implications for Infection Control Programs. Annals of Internal Medicine, 174(12), 1710--1718. https://doi.org/10.7326/m21-2780
Kociolek, L. K., Gerding, D. N., Carrico, R., Carling, P. C., Donskey, C. J., Dumyati, G., Kuhar, D. T., Loo, V. G., Maragakis, L. L., Pogorzelska-Maziarz, M., Sandora, T. J., Weber, D. J., Yokoe, D. S., & Dubberke, E. R. (2023). Strategies to prevent Clostridioides difficile infections in acute-care

hospitals: 2022 Update. Infection Control and Hospital Epidemiology, 44(4), 527--549. https://doi.org/10.1017/ice.2023.18
Koota, E., Kaartinen, J., & Melender, H. (2024). Impact of educational interventions for professionals on infection control practices to reduce healthcare-associated infections and prevent infectious diseases: A systematic review. Collegian Journal of the Royal College of Nursing Australia, 31(4), 218--231. https://doi.org/10.1016/j.colegn.2024.04.006
Kopsidas, I., Collins, M., & Zaoutis, T. (2021). Healthcare-associated Infections---Can We Do Better? The Pediatric Infectious Disease Journal, 40(8). https://doi.org/10.1097/inf.0000000000003203
Krämer, A., Lexow, F., Bludau, A., Köster, A. M., Misailovski, M., Seifert, U., Eggers, M., Rutala, W. A., Dancer, S. J., & Scheithauer, S. (2024). How long do bacteria, fungi, protozoa, and viruses retain their replication capacity on inanimate surfaces? A systematic review examining environmental resilience versus healthcare-associated infection risk by "fomite-borne risk assessment." PubMed Central, 37(4). https://doi.org/10.1128/cmr.00186-23
Kubde, D., Badge, A., Ugemuge, S., & Shahu, S. (2023). Importance of Hospital Infection Control. Cureus, 15(12). https://doi.org/10.7759/cureus.50931
Labovská, S. (2021). Pseudomonas aeruginosa as a Cause of Nosocomial Infections. In IntechOpen eBooks. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.95908
Lalithabai, D. S., Hababeh, M. O., Wani, T. A., & Aboshaiqah, A. E. (2022). Knowledge, Attitude and Beliefs of Nurses Regarding Antibiotic use and Prevention of Antibiotic Resistance. SAGE Open Nursing, 8. https://doi.org/10.1177/23779608221076821
Lau, L. H. W., Lam, Q. S. K., Siu, M. M. Y., Tang, T. S. K., Suen, L. K. P., & Lam, S. C. (2024). Compliance of healthcare workers in a psychiatric inpatient ward to infection control practices during the COVID-19 pandemic: a participant observation study supplemented with a self-reported survey. BMC Infectious Diseases, 24(1), 592. https://doi.org/10.1186/s12879-024-09429-3
Leung, N. (2021). Transmissibility and transmission of respiratory viruses. Nature Reviews Microbiology, 19(8), 528--545. https://doi.org/10.1038/s41579-021-00535-6
Ling, M. L., Ching, P., Cheng, J., Lang, L., Liberali, S., Poon, P., Shin, Y., & Sim, C. P. C. (2023). APSIC dental infection prevention and control (IPC) guidelines. Antimicrobial Resistance and Infection Control, 12(1), 53. https://doi.org/10.1186/s13756-023-01252-w
Lotfinejad, N., Peters, A., Tartari, E., Fankhauser-Rodriguez, C., Pires, D., & Pittet, D. (2021). Hand hygiene in health care: 20 years of ongoing advances and perspectives. The Lancet Infectious Diseases, 21(8). https://doi.org/10.1016/s1473-3099(21)00383-2
Macho, A. Y., Mayens, A. L. W., Valverde, E. M. P., Ordaz, R. G., Méndez, J. A. J., Iglesias, J. L. P., Canelo, J. A. M., Pinto, M. do R., Reis, A., Simões, J., Torres, A. L., Silén-Lipponen, M., Korhonen, U., Koponen, L., Myllymäki, M., Jankowiak-Bernaciak, A., Patrzała, A., Bączyk, G., Basa, A., ... Parreira, P. (2021). Nursing Students' Perceptions on Healthcare-Associated Infection Control and Prevention Teaching and Learning Experience: Development and Validation of a Scale in Four European Countries. Frontiers in Psychology, 12, 701208. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.701208
McCauley, L., Kirwan, M., & Matthews, A. (2021). The factors contributing to missed care and non-compliance in infection prevention and control practices of nurses: A scoping review. International Journal of Nursing Studies Advances, 3, 100039. https://doi.org/10.1016/j.ijnsa.2021.100039
Mumma, J., Weaver, B. W., Morgan, J. S., Ghassemian, G., Gannon, P. R., Burke, K. B., Berryhill, B. A., MacKay, R. E., Lee, L., & Kraft, C. S. (2023). Connecting pathogen transmission and healthcare worker cognition: a cognitive task analysis of infection prevention and control practices during simulated patient care. BMJ Quality & Safety, 33(7), 419--431. https://doi.org/10.1136/bmjqs-2023-016230
Nygren, E., Gonzales-Siles, L., Logenius, J., Husmark, U., Löfström, C., & Bergström, B. (2023). Potential sources of contamination on textiles and hard surfaces identified as high-touch sites near the patient environment. PubMed Central, 18(7). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0287855
Park, E., Park, H., & Lee, J.-H. (2023). Barriers to Learning Healthcare-Associated Infections Prevention and Control during Clinical Practicum among Nursing Students in Korea: A Focus Group Study. International Journal of Environmental Research and Public Health, 20(14), 6430. https://doi.org/10.3390/ijerph20146430

Peters, A., Parneix, P., Kiernan, M., Severin, J. A., Gauci, T., & Pittet, D. (2023). New frontiers in healthcare environmental hygiene: thoughts from the 2022 healthcare cleaning forum. Antimicrobial Resistance and Infection Control, 12(1), 7. https://doi.org/10.1186/s13756-022-01185-w

Plachouras, D., Kacelnik, O., Rodríguez-Baño, J., Birgand, G., Borg, M., Kristensen, B., Kubele, J., Lyytikäinen, O., Presterl, E., Reilly, J., Voß, A., Zingg, W., Suetens, C., & Monnet, D. L. (2023). Revisiting the personal protective equipment components of transmission-based precautions for the prevention of COVID-19 and other respiratory virus infections in healthcare. Eurosurveillance, 28(32). https://doi.org/10.2807/1560-7917.es.2023.28.32.2200718

Popovich, K. J., Aureden, K., Ham, D. C., Harris, A. D., Hessels, A., Huang, S. S., Maragakis, L. L., Milstone, A. M., Moody, J., Yokoe, D. S., & Calfee, D. P. (2023). SHEA/IDSA/APIC Practice Recommendation: Strategies to prevent methicillin-resistant Staphylococcus aureus transmission and infection in acute-care hospitals: 2022 Update. Infection Control and Hospital Epidemiology, 44(7), 1039--1067. https://doi.org/10.1017/ice.2023.102

Poster, D. L., Miller, C. C., Martinello, R. A., Horn, N. R., Postek, M. T., Cowan, T. E., Obeng, Y. S., & Kasianowicz, J. J. (2021). Ultraviolet Radiation Technologies and Healthcare Associated Infections: Standards and Metrology Needs. Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology, 126, 126014. https://doi.org/10.6028/jres.126.014

Puro, V., Coppola, N., Frasca, A., Gentile, I., Luzzaro, F., Peghetti, A., & Sganga, G. (2022). Pillars for prevention and control of healthcare-associated infections: an Italian expert opinion statement. Antimicrobial Resistance and Infection Control, 11(1), 87. https://doi.org/10.1186/s13756-022-01125-8

Qureshi, M. O., Chughtai, A. A., & Seale, H. (2022). Recommendations related to occupational infection prevention and control training to protect healthcare workers from infectious diseases: a scoping review of infection prevention and control guidelines. BMC Health Services Research, 22(1), 272. https://doi.org/10.1186/s12913-022-07673-4

Rabin, A. S., Marr, L. C., & Blumberg, H. M. (2024). Doff Thy Gown---Shedding Contact Precautions for COVID-19. Clinical Infectious Diseases, 79(3), 585--587. https://doi.org/10.1093/cid/ciae276

Razzaque, M. S. (2023). Healthcare-associated infections in the context of the pandemic. Frontiers in Health Services, 3, 1288033. https://doi.org/10.3389/frhs.2023.1288033

Reis, R. K., Menegüeti, M. G., Toffano, S. E. M., Sousa, L. R. M., Silva, A. C. de O. e, & Gir, E. (2021). Knowledge, Behaviors, and Perceptions of Risk of COVID-19 Among Brazilian Nursing Students. Nurse Educator, 46(6). https://doi.org/10.1097/nne.0000000000001109

Rodríguez-Nava, G., Diekema, D. J., & Salinas, J. (2023). Reconsidering the routine use of contact precautions in preventing the transmission of severe acute respiratory coronavirus virus 2 (SARS-CoV-2) in healthcare settings. Infection Control and Hospital Epidemiology, 44(6), 1035--1037. https://doi.org/10.1017/ice.2023.91

Rooslamiati, I., Haanappel, C. P., Saptawati, L., Widodo, N. H., Sitohang, G., Usman, Y., Anom, I. B., Saraswati, R. D., Heger, M., Doevendans, P. A., Satari, H. I., holt, A. F. V. in 't, & Severin, J. A. (2023). Infection prevention and control in Indonesian hospitals: identification of strengths, gaps, and challenges. Antimicrobial Resistance and Infection Control, 12(1), 6. https://doi.org/10.1186/s13756-023-01211-5

Salu, S., Okyere, J., Charles-Unadike, V. O., & Ananga, M. K. (2023). Nurses' knowledge on nosocomial infections preventive measures and its associated factors in Ghana: a cross-sectional study. BMC Health Services Research, 23(1), 941. https://doi.org/10.1186/s12913-023-09942-2

Sartelli, M., Marini, C. P., McNelis, J., Coccolini, F., Rizzo, C., Labricciosa, F. M., & Petrone, P. (2024). Preventing and Controlling Healthcare-Associated Infections: The First Principle of Every Antimicrobial Stewardship Program in Hospital Settings. Antibiotics, 13(9), 896. https://doi.org/10.3390/antibiotics13090896

Seidel-Fischer, J., Trifunovic-Koenig, M., Gerber, B., Otto, B., Bentele, M., Fischer, M. R., & Bushuven, S. (2024). Interaction between overconfidence effects and training formats in nurses' education in hand hygiene. BMC Nursing, 23(1), 451. https://doi.org/10.1186/s12912-024-02020-w

Sharma, M., & Bachani, R. (2023). Knowledge, Attitude, Practice, and Perceived Barriers for the Compliance of Standard Precautions among Medical and Nursing Students in Central India.

International Journal of Environmental Research and Public Health, 20(8), 5487. https://doi.org/10.3390/ijerph20085487
Shbaklo, N., Lupia, T., Rosa, F. G. D., & Corcione, S. (2021). Infection Control in the Era of COVID-19: A Narrative Review. Antibiotics, 10(10), 1244. https://doi.org/10.3390/antibiotics10101244
Silva, M. T., Galvão, T. F., Chapman, E., Silva, E. N. da, & Barreto, J. O. M. (2021). Dissemination interventions to improve healthcare workers' adherence with infection prevention and control guidelines: a systematic review and meta-analysis. Implementation Science, 16(1), 92. https://doi.org/10.1186/s13012-021-01164-6
Singh, S., Kaur, K., Saini, R., Singh, S., Aggarwal, H. K., & Chandra, H. (2023). Impact of structured training program about Hospital Infection Control practices on Knowledge and Perception of nursing students at public and private nursing teaching institute of Northern India- An interventional study. PubMed Central, 12(1), 168. https://doi.org/10.4103/jehp.jehp_1471_22
Tafere, T. Z., Belachew, T. B., Feleke, D. G., & Adal, G. M. (2024). Assessment of knowledge and practice of nurses regarding infection prevention and associated factors at Debre Tabor Comprehensive Specialized Hospital, Northwest Ethiopia. Frontiers in Public Health, 11, 1225570. https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1225570
Teixeira, J., Reis, N., Chawłowska, E., Rocha, P. B. da, Czech-Szczapa, B., Godinho, A. C., Bączyk, G., Agrelos, J., Jaracz, K., Fontoura, C., Lucas, P., & Pinto, M. do R. (2025). Current Approaches on Nurse-Performed Interventions to Prevent Healthcare-Acquired Infections: An Umbrella Review. Microorganisms, 13(2), 463. https://doi.org/10.3390/microorganisms13020463
Tencic, M., & Roche, M. (2023). Nurse--patient ratios and infection control practices: A cross-sectional study. Collegian Journal of the Royal College of Nursing Australia, 30(6), 828--834. https://doi.org/10.1016/j.colegn.2023.09.003
Tozzo, P., Delicati, A., & Caenazzo, L. (2022). Human microbiome and microbiota identification for preventing and controlling healthcare-associated infections: A systematic review. Frontiers in Public Health, 10, 989496. https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.989496
Ünüvar, G. K., Doğanay, M., & Alp, E. (2021). Current infection prevention and control strategies of COVID-19 in hospitals. TURKISH JOURNAL OF MEDICAL SCIENCES, 51, 3215--3220. https://doi.org/10.3906/sag-2106-156
Vadala, R., & Princess, I. (2021). Clinical Microbiology in the Intensive Care Unit: Time for Intensivists to Rejuvenate this Lost Art. Indian Journal of Critical Care Medicine, 25(5), 566--574. https://doi.org/10.5005/jp-journals-10071-23810
Valdano, E., Poletto, C., Boëlle, P., & Colizza, V. (2021). Reorganization of nurse scheduling reduces the risk of healthcare associated infections. Scientific Reports, 11(1), 7393. https://doi.org/10.1038/s41598-021-86637-w
Vita, E. D., Segala, F. V., Frallonardo, L., Civile, G., Scisciolo, D. D., Novara, R., Vito, A. D., Girolamo, M. G. D., Amendolara, A., Piccolomo, L., Madeddu, G., Terranova, A., Mariani, D., Altavilla, S., Veronese, N., Barbagallo, M., Cicolini, G., Gennaro, F. D., & Saracino, A. (2024). Knowledge, Attitudes, and Practices toward Antimicrobial Resistance among Young Italian Nurses and Students: A Multicenter, Cross-Sectional Study. Annals of Global Health, 90(1), 46. https://doi.org/10.5334/aogh.4488
Yokoe, D. S., Advani, S. D., Anderson, D. J., Babcock, H. M., Bell, M., Berenholtz, S. M., Bryant, K. A., Buetti, N., Calderwood, M. S., Calfee, D. P., Dubberke, E. R., Ellingson, K., Fishman, N. O., Gerding, D. N., Glowicz, J., Hayden, M. K., Kaye, K. S., Klompas, M., Kociolek, L. K., ... Maragakis, L. L. (2023). Executive Summary: A Compendium of Strategies to Prevent Healthcare-Associated Infections in Acute-Care Hospitals: 2022 Updates. Infection Control and Hospital Epidemiology, 44(10), 1540--1554. https://doi.org/10.1017/ice.2023.138
Zhang, M., Wu, S., Ibrahim, M. I., Noor, S. S. M., & Mohammad, W. M. Z. W. (2024). Significance of Ongoing Training and Professional Development in Optimizing Healthcare-associated Infection Prevention and Control. PubMed Central, 14(5), 13. https://doi.org/10.4103/jmss.jmss_37_23

ANTİMİKROBİYAL DİRENCİN ÖNLENMESİ VE KONTROLÜNDE HEMŞİRENİN ROLÜ

Öğretim Görevlisi Dr. Ozge OZTUNA ARAS
Izmir Katip Celebi University, Health Care Vocational School, Cigli, Izmir
ORCID ID: 0000-0003-0886-4367
Dr. Öğretim Üyesi Sevil YILMAZ
Izmir Katip Celebi University, Health Care Vocational School, Cigli, Izmir
ORCID ID: 0000-0003-4750-8672

ÖZET

Antimikrobiyal direnç (AMD), enfeksiyonların tedavisini güçleştiren, hasta güvenliğini tehdit eden ve sağlık sistemleri üzerinde önemli bir yük oluşturan küresel bir halk sağlığı sorunudur. Bu derleme, antimikrobiyal direncin önlenmesi ve kontrolünde hemşirelerin rolünü; enfeksiyonların önlenmesi, akılcı antimikrobiyal kullanımı, hasta ve toplum eğitimi, antimikrobiyal yönetim programlarına katılım ve mesleki eğitim boyutlarıyla ele almaktadır. Hemşireler, hasta bakımının tüm aşamalarında yer almaları nedeniyle el hijyeni, aseptik teknikler, izolasyon önlemleri ve kişisel koruyucu ekipman kullanımının sürdürülmesinde önemli bir konuma sahiptir. Bunun yanında antimikrobiyal ilaçların doğru hasta, doğru doz ve doğru zamanda uygulanması, tedavi yanıtının ve advers etkilerin izlenmesi ile gereksiz antimikrobiyal kullanımının önlenmesine katkı sağlamaktadır. Hemşirelerin multidisipliner antimikrobiyal yönetim programlarına aktif katılımı, laboratuvar verilerinin klinik süreçlere aktarılması ve direnç gelişimi açısından risklerin erken fark edilmesi hasta güvenliğini desteklemektedir. Hasta ve toplum eğitiminde ise tedaviye uyum, reçetesiz antimikrobiyal kullanımının önlenmesi ve akılcı ilaç kullanımına yönelik farkındalığın geliştirilmesi öne çıkmaktadır. Bulgular, sürekli, uygulama odaklı ve yetkinlik temelli eğitimlerin hemşirelerin bilgi, tutum ve klinik yeterliliklerini güçlendirdiğini göstermektedir. Sonuç olarak hemşirelerin karar verme süreçlerine daha etkin katılımının sağlanması, mesleki yetkinliklerinin geliştirilmesi ve disiplinler arası iş birliğinin güçlendirilmesi, antimikrobiyal direncin kontrolünde sürdürülebilir ve etkili bir yaklaşım için gereklidir.

Anahtar Kelimeler: Antimikrobiyal direnç, antimikrobiyal yönetim, hemşirelik, enfeksiyon kontrolü, akılcı antimikrobiyal kullanımı, hasta güvenliği

THE ROLE OF NURSES IN THE PREVENTION AND CONTROL OF ANTIMICROBIAL RESISTANCE

ABSTRACT

Antimicrobial resistance (AMR) is a global public health problem that complicates the treatment of infections, threatens patient safety, and places a substantial burden on healthcare systems. This narrative review examines the role of nurses in the prevention and control of antimicrobial resistance, focusing on infection prevention, rational antimicrobial use, patient

and community education, participation in antimicrobial stewardship programs, and professional education. As nurses are involved in all stages of patient care, they have a critical position in maintaining hand hygiene, aseptic techniques, isolation precautions, and appropriate use of personal protective equipment. In addition, nurses contribute to the rational use of antimicrobial agents by ensuring the administration of the correct drug at the appropriate dose and time, monitoring treatment responses and adverse effects, and identifying situations that may require reassessment of antimicrobial therapy. Active participation in multidisciplinary antimicrobial stewardship programs, timely integration of microbiological and laboratory data into clinical processes, and early recognition of risks associated with resistance further support patient safety. In patient and community education, nurses play an important role in promoting treatment adherence, preventing non-prescribed antimicrobial use, and improving awareness of appropriate antimicrobial use. The findings emphasize that continuous, practice-oriented, and competency-based education can strengthen nurses' knowledge, attitudes, confidence, and clinical competence in antimicrobial stewardship. However, organizational barriers, including limited time, inadequate administrative support, insufficient staffing, and unclear professional responsibilities, may restrict nurses' effective participation. In conclusion, strengthening nurses' involvement in clinical decision-making, improving professional competencies, and enhancing interprofessional collaboration are essential for developing sustainable and effective strategies to prevent and control antimicrobial resistance.

Keywords: Antimicrobial resistance, antimicrobial stewardship, nursing, infection control, rational antimicrobial use, patient safety

1. INTRODUCTION

Antimicrobial resistance (AMR) is a global public health problem that emerges when bacteria develop survival mechanisms as a result of mutations in existing genes or acquisition of resistance genes through horizontal gene transfer (Sharma et al., 2024). During this process, microorganisms activate mechanisms such as drug inactivation, alteration of target sites, efflux pumps, and biofilm formation, thereby reducing the effectiveness of antibiotics (Ahmed et al., 2024; Shelke et al., 2023).

AMR triggers treatment failures, seriously threatens patient safety, and leads to substantial increases in morbidity and mortality. The management of resistant infections becomes more complex because therapeutic options are limited, prolonging hospital stays and creating a major economic burden on healthcare systems that can reach billions of dollars annually (Camerini

et al., 2024; Danielis et al., 2022). When standard antibiotics are inadequate, the use of broader-spectrum or combination therapies may further prolong hospitalization and increase the risk of secondary complications and pressure on healthcare resources (Tahmasebi et al., 2025). Consequently, limited treatment options increase morbidity, while failure to control infections creates substantial costs for healthcare institutions and challenges the sustainability of patient care (Salam et al., 2023).

2. MATERIALS AND METHODS

This chapter was organized as a literature-based narrative overview of the role of nurses in the prevention and control of antimicrobial resistance. The content was developed from the scientific literature cited in the source document and organized under the major themes of antimicrobial resistance, nursing roles, infection prevention, rational antimicrobial use, education and counseling, implementation strategies, patient safety, and professional education. No original patient-level data, clinical samples, or experimental procedures are presented in the source material.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Core Roles of Nurses

Nurses constitute a critical line of defense against the spread of healthcare-associated infections through rigorous implementation of aseptic techniques and sustained adherence to hand hygiene protocols. Because nurses participate in every stage of patient care, they simultaneously fulfill implementation, education, and management responsibilities in infection prevention (Özkan & Sürmeli, 2023). In particular, active nursing participation in clinical decision-making and improvement of care quality is essential for the success of antimicrobial stewardship strategies aimed at reducing healthcare-associated infections related to invasive devices (Azak et al., 2023; Vita et al., 2024).

Nurses' extensive responsibilities in the preparation and administration of antibiotics allow close monitoring of treatment effects and early recognition of possible resistance, making nursing observations important to clinical decision-making (Abuhammad & Ababneh, 2022). Nurses also act as patient advocates in multidisciplinary treatment processes by assessing antibiotic allergies, evaluating the appropriateness of tests, and identifying adverse effects (Bos et al., 2023). Strengthening nurses' education in microbiology and resistance mechanisms is important for overcoming cultural barriers to interdisciplinary communication (Tinker et al., 2021).

Active participation in multidisciplinary structures such as Antimicrobial Stewardship Programs is an evidence-based strategy for reducing unnecessary antibiotic use (Manning et al., 2021). Continuous training in infection-control knowledge and skills can improve professional competence and contribute to a safer care environment (Gorjian et al., 2024). Nurses should also be able to voice concerns when they observe inappropriate antibiotic management in clinical practice, as this is essential for patient safety and professional responsibility (Davey & Aveyard, 2022). However, insufficient recognition of clinical nurses as strategic stakeholders in multidisciplinary guidelines may contribute to uncertainty in professional roles (Chater et al., 2022; Rout et al., 2021). Tailored education modules and clearly defined authority in clinical decision-making may strengthen professional autonomy and support a more comprehensive approach to resistance control (Ayton et al., 2022; Bobbitt et al., 2023). Digital learning modules may also provide accessible and time-efficient tools for improving nurses' awareness and competence in antimicrobial stewardship (Catanzaro, 2022).

3.2. Infection Prevention

Strict implementation of hand hygiene and isolation protocols is a fundamental defense mechanism for minimizing cross-transmission and limiting the spread of resistant microorganisms in healthcare settings. Integrating standard precautions into routine care, consistent use of personal protective equipment, and appropriate vaccination strategies further strengthen this preventive framework (Courtenay et al., 2021).

Nurse-led infection-control strategies are particularly important for preventing healthcare-associated complications such as catheter-associated urinary tract infections and surgical site infections, thereby improving patient safety and quality of care (Hill et al., 2024). Structured institutional interventions that improve nurses' attitudes toward infection prevention and antimicrobial stewardship are also necessary to overcome organizational barriers to nursing autonomy (Hansen et al., 2023). In invasive procedures such as intravenous catheter care, continuous updating of nurses' infection-control competencies through structured training programs is critical for improving patient outcomes (Dayan et al., 2021).

Proactive communication with multidisciplinary teams enables laboratory data to be rapidly integrated into clinical processes, allowing nurses to monitor the effectiveness of antimicrobial therapy in real time (Mula et al., 2021; Nie et al., 2023). Incorporating infection-control strategies based on local epidemiological data into nursing care is essential for limiting the spread of resistant strains at the local level (Ponzo et al., 2024). Hand hygiene compliance and correct use of personal protective equipment should become established professional practices

from the beginning of nursing education (Şensoy, 2021). Regular auditing and competency assessment of standard operating procedures, including hand hygiene and isolation, are necessary to ensure sustainability of infection-control practices (Puro et al., 2022).

3.3. Rational Antimicrobial Use

Nurses have an important responsibility for ensuring that antimicrobial medicines are administered at the correct dose and at the correct time, thereby supporting treatment success and reducing the need for broad-spectrum antibiotics (Sartelli et al., 2024). This responsibility requires rigorous application of medication-safety principles, including the right patient and the right dose, in order to minimize subtherapeutic serum concentrations and the associated risk of resistance development (Lalithabai et al., 2022).

Nurses systematically observe and document adverse effects of antibiotic therapy and may be among the first professionals to identify and respond to unfavorable developments during treatment (YARAMIŞ & Ulupınar, 2021). By monitoring the clinical course and effects of antimicrobial therapy, nurses contribute information that can guide physicians and support timely review of treatment protocols (Giamarellou et al., 2023). This proactive approach may facilitate de-escalation or discontinuation of antibiotics when treatment response is inadequate or continued exposure is unnecessary, thereby limiting avoidable antimicrobial exposure (Mustafa et al., 2022).

3.4. Education and Counseling

Nurses play a critical role in improving treatment adherence by counseling patients about antimicrobial use, dosing intervals, and the risks associated with prematurely discontinuing treatment. Patient education can help correct misconceptions about antibiotics and reduce unnecessary community use while supporting continuity of therapy (Saleem et al., 2021). Nurses also guide individuals to avoid non-prescribed medication use, follow appropriate storage conditions, and adhere to recommended dosing schedules, thereby contributing to public health protection (UÇMAN & Uysal, 2021).

Clinical education can be reinforced through community-level awareness campaigns, contributing to sustainable public understanding of rational antibiotic use (Akbar et al., 2021; Mudenda et al., 2023). Digital platforms and visual educational materials may improve health literacy and facilitate adoption of appropriate attitudes toward antibiotic use (Raju et al., 2024). Nurse-led community information programs may therefore have strategic importance in reducing the global threat posed by antimicrobial resistance (Bonacaro et al., 2024).

Nurses can integrate preventive education into institutional policies and contribute to proactive approaches for limiting the development of antimicrobial resistance (Aparicio-Blanco et al., 2024). Their multidimensional participation positions them as both patient advocates and key leaders in safeguarding care processes within Antimicrobial Stewardship Programs (Bos et al., 2023). Counseling directed toward disadvantaged populations in rural and remote areas may strengthen treatment adherence and support the relationship between health literacy and appropriate antibiotic use (Yau et al., 2021). Education targeting parents may also help change inappropriate antibiotic-use behaviors in childhood illnesses and improve community awareness of resistance (El–Kader & Mohammed, 2021). Because information alone may not be sufficient to produce behavioral change, meaningful and systematic community engagement should be incorporated into nursing communication strategies (Mitchell et al., 2021).

3.5. Implementation Strategies

Evidence-based strategies for addressing antimicrobial resistance in nursing practice require continuous updating of clinical protocols and the development of care standards that are responsive to local resistance profiles. Technological integration, including biomarker use and electronic decision-support systems, may help optimize antimicrobial use and prescribing practices and improve clinical outcomes (Araújo et al., 2022).

Within hospitals, multidisciplinary One Health strategies can facilitate nurses' active participation in infection surveillance and support early detection and containment of resistant strains (Oliveira et al., 2024). Clinical processes should be based on reliable microbiological surveillance data, with antimicrobial stewardship programs rapidly integrated with these data (Yılmaz et al., 2023). Screening approaches such as point-prevalence surveys may provide a strategic basis for identifying quality-improvement priorities and reducing unnecessary antibiotic use (Godman et al., 2021).

Integrating evidence-based practices into nursing education and reinforcing these skills through continuous in-service training can strengthen nurses' self-efficacy and clinical autonomy in resistance management (ŞEN & Yurt, 2021). Structuring clinical processes to minimize resistance risk also requires development of nurse-led diagnostic stewardship practices and systematic strengthening of multidisciplinary collaboration in the prevention of healthcare-associated infections (Donà et al., 2025).

3.6. Patient Safety

Coordinated communication between nurses and multidisciplinary teams provides an important monitoring mechanism for minimizing medication errors and maintaining dosing

accuracy. Collaboration with physicians and pharmacists, particularly in diagnostic stewardship and appropriate antimicrobial use, constitutes an important defense against healthcare-associated infections (Camerini et al., 2024). These collaborative processes can provide a forum for sharing local resistance data, enabling clinical management strategies to be updated dynamically and treatment goals to remain consistent (Elshenawy et al., 2023).

As part of continuity of care, nursing follow-up after discharge may influence the management of resistant infections and the successful completion of treatment (Bai et al., 2024; Petrakis et al., 2023). In high-risk areas such as intensive care units, where highly resistant pathogens may be endemic, rigorous nurse-led implementation of environmental cleaning and infection-control measures can substantially reduce cross-transmission (Almutairy, 2024; Schinas et al., 2023). Increasing nursing staff density should also be considered an important variable in controlling serious risk factors such as carbapenem resistance in clinical settings (Kaba & Scheithauer, 2022). Continuity of care can further support monitoring of adherence to antibiotic therapy after discharge and help prevent incomplete or unnecessary treatment that may contribute to resistance (Collaborators et al., 2023; Schmid et al., 2022). Comprehensive infection-control and surveillance measures implemented by nurses can therefore limit the spread of resistant organisms in healthcare environments and support sustainable patient safety (Ji & Ye, 2024; Mody et al., 2021).

3.7. Professional Education Requirements

Rapid epidemiological changes in antimicrobial resistance make it necessary to dynamically incorporate current clinical guidelines into nursing curricula and continuing professional development programs. Education developed at postgraduate level can strengthen nurses' professional competence by supporting decision-making related to antimicrobial management in complex clinical cases (Danielis et al., 2022). Continuous, practice-oriented educational modules directly linked to clinical practice are also important for increasing nurses' confidence in antibiotic selection and treatment-protocol management (Tjilos et al., 2023).

Continuing education can improve nurses' knowledge and quality of practice and facilitate the development of positive attitudes toward resistance management (Jainlabdin et al., 2021). Supporting distance or digital educational content with face-to-face practical training is important for overcoming barriers to transferring knowledge into clinical practice and for enabling nurses to participate more effectively in antimicrobial stewardship processes (Khan et al., 2022). However, lack of administrative support, time constraints, and absence of clear

policies remain major structural barriers to nurses' full participation in this field (Lutfiyati et al., 2023).

4. CONCLUSION

The strategic position of nursing in combating antimicrobial resistance should be considered not only as a clinical practice domain but also as a fundamental operational force that influences the resilience of healthcare systems. Sustainable success requires strengthening nurse-led governance models and interprofessional collaboration as a strategic necessity for extending the clinical effectiveness of antibiotics (Reddy et al., 2023).

Expanding nurses' authority within antimicrobial stewardship programs and monitoring their performance using standardized metrics may provide tangible gains in resistance control (Johnson et al., 2022). Higher-education institutions and professional organizations should prioritize aligning nursing curricula with the competency framework of the World Health Organization and establishing modern competency structures supported by practical education (Balliram et al., 2021; Vita et al., 2024).

Increasing interdisciplinary education and enabling nurses to internalize One Health principles across fields such as veterinary medicine and dentistry may broaden the capacity to combat antimicrobial resistance through a holistic approach (Alzard et al., 2024). At the institutional level, behavioral-change strategies and integration of nurses into decision-making processes are fundamental to building a safety culture that promotes rational antimicrobial use (Nemr et al., 2023; Wojcik et al., 2021). Finally, collaborative models in which nurses share their evidence-based care practices with other team members should be expanded to support the success of institutional antimicrobial-resistance strategies (Aygün & Yıldırım, 2021).

REFERENCES

Abuhammad, S., & Ababneh, H. (2022). Nurses' knowledge, motivation, behaviors, and information sources on antibiotic use and resistance in Jordan. Electronic Journal of General Medicine, 20(1). https://doi.org/10.29333/ejgm/12571

Ahmed, S. K., Hussein, S., Qurbani, K., Ibrahim, R. H., Fareeq, A., Mahmood, K. A., & Mohamed, M. G. (2024). Antimicrobial resistance: Impacts, challenges, and future prospects. Journal of Medicine Surgery and Public Health, 2, 100081. https://doi.org/10.1016/j.glmedi.2024.100081

Akbar, Z., Alquwez, N., Alsolais, A., Thazha, S. K., Ahmad, D., & Cruz, J. P. (2021). Knowledge about antibiotics and antibiotic resistance among health-related students in a Saudi University. The Journal of Infection in Developing Countries, 15(7), 925–933. https://doi.org/10.3855/jidc.12329

Almutairy, B. (2024). Extensively and multidrug-resistant bacterial strains: case studies of antibiotics resistance. Frontiers in Microbiology, 15, 1381511. https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1381511

Alzard, S., Exintaris, B., Sarkar, M., Grieve, A., Chuang, S., Coetzee, R., & Lim, A. (2024). A global investigation into antimicrobial knowledge in medicine, pharmacy, nursing, dentistry and veterinary undergraduate students: A scoping review to inform future planetary health multidisciplinary education. BMC Medical Education, 24(1), 1227. https://doi.org/10.1186/s12909-024-06253-w

Aparicio-Blanco, J., Vishwakarma, N., Lehr, C., Prestidge, C. A., Thomas, N., Roberts, R. J., Thorn, C. R., & Melero, A. (2024). Antibiotic resistance and tolerance: What can drug delivery do against

this global threat? Drug Delivery and Translational Research, 14(6), 1725–1734. https://doi.org/10.1007/s13346-023-01513-6
Araújo, B. C. de, Melo, R. C. de, Bortoli, M. C. de, Bonfim, J. R. de A., & Toma, T. S. (2022). Prevenção e controle de resistência aos antimicrobianos na Atenção Primária à Saúde: evidências para políticas. Ciência & Saúde Coletiva, 27(1), 299–314. https://doi.org/10.1590/1413-81232022271.22202020
Aygün, Ö., & Yıldırım, M. (2021). HEMŞİRELERİN KANITA DAYALI UYGULAMALARA YÖNELİK TUTUMLARI: TANIMLAYICI BİR ÇALIŞMA. Izmir Democracy University Health Sciences Journal, 4(3), 327–338. https://doi.org/10.52538/iduhes.1033115
Ayton, D., Watson, E., Betts, J. M., Doyle, J., Teh, B. W., Valoppi, G., Cotta, M. O., Robertson, M., & Peel, T. (2022). Implementation of an antimicrobial stewardship program in the Australian private hospital system: qualitative study of attitudes to antimicrobial resistance and antimicrobial stewardship. BMC Health Services Research, 22(1), 1554. https://doi.org/10.1186/s12913-022-08938-8
Azak, E., Sertçelik, A., Ersöz, G., Çelebi, G., Eser, F., Batırel, A., Çağ, Y., Türe, Z., Öztürk-Engin, D., Yetkin, M. A., Kaygusuz, S., Candevir, A., Tartari, E., Rello, J., Alp, E., ALPAY, A. S., Yıldırım, A. A., Vatan, A., Yahşi, A., … Yuluğkural, Z. (2023). Evaluation of the implementation of WHO infection prevention and control core components in Turkish health care facilities: results from a WHO infection prevention and control assessment framework (IPCAF)—based survey. Antimicrobial Resistance and Infection Control, 12(1), 11. https://doi.org/10.1186/s13756-023-01208-0
Bai, H., Geng, Q.-F., Fang, J., & Yang, Y. (2024). Epidemiologic analysis of antimicrobial resistance in hospital departments in China from 2022 to 2023. Journal of Health Population and Nutrition, 43(1), 39. https://doi.org/10.1186/s41043-024-00526-2
Balliram, R., Sibanda, W., & Essack, S. Y. (2021). The knowledge, attitudes and practices of doctors, pharmacists and nurses on antimicrobials, antimicrobial resistance and antimicrobial stewardship in South Africa. Southern African Journal of Infectious Diseases, 36(1), 262. https://doi.org/10.4102/sajid.v36i1.262
Bobbitt, L. J., Cimino, C., Garvey, K. V., Craft, L. S., Eichenseer, N. A., & Nelson, G. E. (2023). An app a day: Results of pre- and post-surveys of knowledge, attitudes, and practices (KAP) regarding antimicrobial stewardship principles among nurses who utilized a novel learning platform. Antimicrobial Stewardship & Healthcare Epidemiology, 3(1). https://doi.org/10.1017/ash.2023.131
Bonacaro, A., Solfrizzo, F. G., Regano, D., Negrello, F., Domeniconi, C., Volpon, A., Taurchini, S., Toselli, P., & Baesti, C. (2024). Antimicrobial Stewardship in Healthcare: Exploring the Role of Nurses in Promoting Change, Identifying Barrier Elements and Facilitators—A Meta-Synthesis. Healthcare, 12(21), 2122. https://doi.org/10.3390/healthcare12212122
Bos, M., Schouten, J., Bot, C. de, Vermeulen, H., & Hulscher, M. (2023). A hidden gem in multidisciplinary antimicrobial stewardship: a systematic review on bedside nurses' activities in daily practice regarding antibiotic use. JAC-Antimicrobial Resistance, 5(6). https://doi.org/10.1093/jacamr/dlad123
Camerini, F. G., Cunha, T. L., Fassarella, C. S., Henrique, D. de M., & Fortunato, J. G. S. (2024). Nursing strategies in antimicrobial stewardship in the hospital environment: a qualitative systematic review. BMC Nursing, 23(1), 147. https://doi.org/10.1186/s12912-024-01753-y
Catanzaro, M. (2022). Antibiotic stewardship for nurses: Using e-learning modules to bridge the education gap. Antimicrobial Stewardship & Healthcare Epidemiology, 2(1). https://doi.org/10.1017/ash.2021.216
Chater, A., Family, H., Abraão, L. M., Burnett, E., Castro-Sánchez, E., Toit, B. D., Gallagher, R., Gotterson, F., Manias, E., McEwen, J., Figueiredo, R. M. de, Nathan, M., Ness, V., Olans, R. D., Padoveze, M. C., & Courtenay, M. (2022). Influences on nurses' engagement in antimicrobial stewardship behaviours: a multi-country survey using the Theoretical Domains Framework. Journal of Hospital Infection, 129, 171–180. https://doi.org/10.1016/j.jhin.2022.07.010
Collaborators, W. A. R. N. N. G. (WARNING), Sartelli, M., Barie, P. S., Coccolini, F., Abbas, M., Abbo, L. M., Abdukhalilova, G. K., Abraham, Y., Abubakar, S., Abu-Zidan, F. M., Adebisi, Y. A., Adamou, H., Afandiyeva, G., Agastra, E., Alfouzan, W., Al-Hasan, M. N., Ali, S., Ali, S. M. S., Allaw, F., … Catena, F. (2023). Ten golden rules for optimal antibiotic use in hospital settings: the

WARNING call to action. World Journal of Emergency Surgery, 18(1), 50. https://doi.org/10.1186/s13017-023-00518-3
Courtenay, M., Castro-Sánchez, E., Gallagher, R., Gould, D., Hawker, C., Hennefer, D., Liptrott, C., Cooper, D., Smith, E. J., Craig, R., Halewood-Muse, G., Aires, P., Hinkin, J., Holmes, A., Ness, V., Merriman, C., Whatley, L., Beresford, S., Bate, J., … Monks, S. (2021). Delivery of antimicrobial stewardship competencies in UK pre-registration nurse education programmes: a national cross-sectional survey. Journal of Hospital Infection, 121, 39–48. https://doi.org/10.1016/j.jhin.2021.09.027
Danielis, M., Regano, D., Castaldo, A., Mongardi, M., & Webber, T. B. (2022). What are the nursing competencies related to antimicrobial stewardship and how they have been assessed? Results from an integrative rapid review. Antimicrobial Resistance and Infection Control, 11(1), 153. https://doi.org/10.1186/s13756-022-01189-6
Davey, K., & Aveyard, H. (2022). Nurses' perceptions of their role in antimicrobial stewardship within the hospital environment. An integrative literature review. Journal of Clinical Nursing, 31, 3011–3020. https://doi.org/10.1111/jocn.16204
Dayan, A., Ansah, N. O., & İnce, S. (2021). HEMŞİRELERİN KANIT TEMELLİ UYGULAMALARDAN HABERDARLIK DÜZEYİ: PERİFERİK İNTRAVENÖZ KATETER UYGULAMALARI. Samsun Sağlık Bilimleri Dergisi, 6(2), 235–254. https://doi.org/10.47115/jshs.895736
Donà, D., Barbieri, E., Brigadoi, G., Liberati, C., Bosis, S., Castagnola, E., Colomba, C., Galli, L., Lancella, L., Vecchio, A. L., Meschiari, M., Montagnani, C., Luca, M. D., Mercadante, S., & Esposito, S. (2025). State of the Art of Antimicrobial and Diagnostic Stewardship in Pediatric Setting. Antibiotics, 14(2), 132. https://doi.org/10.3390/antibiotics14020132
El–Kader, R. G. A., & Mohammed, H. H. (2021). EFFECT OF AN EDUCATIONAL INTERVENTION ON MOTHERS' KNOWLEDGE, ATTITUDE AND PRACTICE ABOUT PROPER ANTIBIOTIC USE IN A SELECTED FAMILY HEALTH CENTER. The Malaysian Journal of Nursing, 12(3). https://doi.org/10.31674/mjn.2021.v12i03.003
Elshenawy, R. A., Umaru, N., Alharbi, A. B., & Aslanpour, Z. (2023). Antimicrobial stewardship implementation before and during the COVID-19 pandemic in the acute care settings: a systematic review. BMC Public Health, 23(1), 309. https://doi.org/10.1186/s12889-023-15072-5
Giamarellou, H., Galani, L., Karavasilis, T. L., Ioannidis, K., & Karaiskos, I. (2023). Antimicrobial Stewardship in the Hospital Setting: A Narrative Review. Antibiotics, 12(10), 1557. https://doi.org/10.3390/antibiotics12101557
Godman, B., Egwuenu, A., Haque, M., Malande, O. O., Schellack, N., Kumar, S., Saleem, Z., Sneddon, J., Hoxha, I., Islam, S., Mwita, J. C., Nascimento, R. C. R. M. do, Godói, I. P. D., Niba, L. L., Amu, A. A., Acolatse, J. E. E., Incoom, R., Sefah, I. A., Opanga, S., … Seaton, R. A. (2021). Strategies to Improve Antimicrobial Utilization with a Special Focus on Developing Countries. Life, 11(6), 528. https://doi.org/10.3390/life11060528
Gorjian, Z., Asadizaker, M., Zarea, K., Irajpour, A., Ahmadi, F., & Rokhafroz, D. (2024). Experiences and attitudes of clinical and academic nurses about infection prevention and control nursing curriculum and duties - a qualitative study. BMC Medical Education, 24(1), 672. https://doi.org/10.1186/s12909-024-05633-6
Hansen, M. J. T., Storm, M., Syre, H., Dalen, I., & Husebø, A. M. L. (2023). Attitudes and self-efficacy towards infection prevention and control and antibiotic stewardship among nurses: A mixed-methods study. Journal of Clinical Nursing, 32, 6268–6286. https://doi.org/10.1111/jocn.16657
Hill, B., Lamichhane, G., & Wamburu, A. (2024). Infection prevention and control: critical strategies for nursing practice. British Journal of Nursing, 33(17), 804–811. https://doi.org/10.12968/bjon.2024.0286
Jainlabdin, M. H., Zainuddin, N. D. M., & Ghazali, S. A. M. (2021). Knowledge, Attitude, and Practice of Antibiotic Use and Antibiotic Resistance During the COVID-19 Pandemic Among Nursing School Students – A Cross-sectional Study. INTERNATIONAL JOURNAL OF CARE SCHOLARS, 4(2), 30–39. https://doi.org/10.31436/ijcs.v4i2.196
Ji, B., & Ye, W. (2024). Prevention and control of hospital-acquired infections with multidrug-resistant organism: A review. PubMed Central, 103(4). https://doi.org/10.1097/md.0000000000037018

Johnson, C. T., Ridge, L. J., & Hessels, A. (2022). Nurse Engagement in Antibiotic Stewardship Programs: A Scoping Review of the Literature. Journal for Healthcare Quality, 45(2), 69–82. https://doi.org/10.1097/jhq.0000000000000372
Kaba, H., & Scheithauer, S. (2022). Estimating the effect of practicing nursing professionals density on cumulative carbapenem-resistance prevalence in gram-negative invasive Isolates: a 30 European country observational modeling study. Antimicrobial Resistance and Infection Control, 11(1), 41. https://doi.org/10.1186/s13756-022-01076-0
Khan, S., Bond, S., Bakhit, M., Hasan, S. S., Sadeq, A. A., Conway, B. R., & Aldeyab, M. A. (2022). COVID-19 Mixed Impact on Hospital Antimicrobial Stewardship Activities: A Qualitative Study in UK-Based Hospitals. Antibiotics, 11(11), 1600. https://doi.org/10.3390/antibiotics11111600
Lalithabai, D. S., Hababeh, M. O., Wani, T. A., & Aboshaiqah, A. E. (2022). Knowledge, Attitude and Beliefs of Nurses Regarding Antibiotic use and Prevention of Antibiotic Resistance. SAGE Open Nursing, 8. https://doi.org/10.1177/23779608221076821
Lutfiyati, H., Thobari, J. A., Yasin, N. M., & Ikawati, Z. (2023). Impact of Educational Programs on the Knowledge and Attitude of Healthcare Professionals in Antimicrobial Stewardship. Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research, 57(3), 898–904. https://doi.org/10.5530/ijper.57.3.108
Manning, M. L., Pogorzelska-Maziarz, M., Hou, C., Vyas, N., Kraemer, M., Carter, E., & Monsees, E. (2021). A novel framework to guide antibiotic stewardship nursing practice. American Journal of Infection Control, 50(1), 99–104. https://doi.org/10.1016/j.ajic.2021.08.029
Mitchell, J., Cooke, P., Ahorlu, C., Arjyal, A., Baral, S., Carter, L., Dasgupta, R., Fieroze, F., Braga, M. F., Huque, R., Lewycka, S., Kalpana, P., Saxena, D., Tomley, F. M., Tsekleves, E., Quynh, G. V. T., & King, R. (2021). Community engagement: The key to tackling Antimicrobial Resistance (AMR) across a One Health context? Global Public Health, 17(11), 2647–2664. https://doi.org/10.1080/17441692.2021.2003839
Mody, L., Gontjes, K. J., Cassone, M., Gibson, K., Lansing, B., Mantey, J., Kabeto, M. U., Gałecki, A. T., & Min, L. (2021). Effectiveness of a Multicomponent Intervention to Reduce Multidrug-Resistant Organisms in Nursing Homes. JAMA Network Open, 4(7). https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2021.16555
Mudenda, S., Chabalenge, B., Daka, V., Mfune, R. L., Salachi, K. I., Mohamed, S., Mufwambi, W., Kasanga, M., & Matafwali, S. K. (2023). Global Strategies to Combat Antimicrobial Resistance: A One Health Perspective. Pharmacology &amp Pharmacy, 14(8), 271–328. https://doi.org/10.4236/pp.2023.148020
Mula, C., Middleton, L., Muula, A. S., Solomon, V. P., & Varga, C. (2021). Nurses' role in antibiotic stewardship at medical wards of a referral hospital in Malawi: Understanding reality and identifying barriers. International Journal of Africa Nursing Sciences, 15, 100311. https://doi.org/10.1016/j.ijans.2021.100311
Mustafa, Z. U., Manzoor, M. N., Shahid, A., Salman, M., Hayat, K., Yasmin, K., Baraka, M. A., Mathew, S., Kanwal, M., Parveen, S., Jamal, I., Khan, A. H., Godman, B., Saleem, F., & Bashaar, M. (2022). Nurses' Perceptions, Involvement, Confidence and Perceived Barriers Towards Antimicrobial Stewardship Program in Pakistan: Findings from a Multi-Center, Cross-Sectional Study. Journal of Multidisciplinary Healthcare, 2553–2562. https://doi.org/10.2147/jmdh.s376664
Nemr, N., Kishk, R., Elsaid, N. M. A. B., Louis, N., Fahmy, E. M., & Khattab, S. (2023). Knowledge, attitude, and practice (KAP) of antimicrobial prescription and its resistance among health care providers in the COVID-19 era: A cross sectional study. PLoS ONE, 18(8). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0289711
Nie, H., Yue, L., Peng, H., Jin-ping, Z., Li, B., & Cao, Z. (2023). Nurses' engagement in antimicrobial stewardship and its influencing factors: A cross-sectional study. PubMed Central, 11(1), 91–98. https://doi.org/10.1016/j.ijnss.2023.12.002
Oliveira, M., Antunes, W., MOTA, S. R. F., Madureira-Carvalho, Á., Dinis-Oliveira, R. J., & Silva, D. D. da. (2024). An Overview of the Recent Advances in Antimicrobial Resistance. PubMed Central, 12(9), 1920. https://doi.org/10.3390/microorganisms12091920
Özkan, E. A., & Sürmeli, Ş. (2023). Bibliometric Analysis and Science Mapping in Surgical Site Infection: escriptive Research. Turkiye Klinikleri Journal of Nursing Sciences, 15(3), 584–592. https://doi.org/10.5336/nurses.2023-95625

Petrakis, V., Panopoulou, M., Rafailidis, P. I., Lemonakis, N., Lazaridis, G., Terzi, I., Papazoglou, D., & Panagopoulos, P. (2023). The Impact of the COVID-19 Pandemic on Antimicrobial Resistance and Management of Bloodstream Infections. Pathogens, 12(6), 780. https://doi.org/10.3390/pathogens12060780

Ponzo, E., Gaetano, S. D., Midiri, A., Mancuso, G., Giovanna, P., Giuliana, D., Zummo, S., & Biondo, C. (2024). The Antimicrobial Resistance Pandemic Is Here: Implementation Challenges and the Need for the One Health Approach. Hygiene, 4(3), 297–316. https://doi.org/10.3390/hygiene4030024

Puro, V., Coppola, N., Frasca, A., Gentile, I., Luzzaro, F., Peghetti, A., & Sganga, G. (2022). Pillars for prevention and control of healthcare-associated infections: an Italian expert opinion statement. Antimicrobial Resistance and Infection Control, 11(1), 87. https://doi.org/10.1186/s13756-022-01125-8

Raju, R., Srinivas, S. C., Siddalingegowda, S. M., Vaidya, R. U., Gharat, M., & Kumar, T. M. P. (2024). Community pharmacists as antimicrobial resistance stewards: a narrative review on their contributions and challenges in low- and middle-income countries. Journal of Pharmacy & Pharmaceutical Sciences, 27, 12721. https://doi.org/10.3389/jpps.2024.12721

Reddy, K., Ramsamy, Y., Swe-Han, K. S., Nana, T., Black, M., Kolojane, M., & Chibabhai, V. (2023). Antimicrobial resistance and antimicrobial stewardship in South Africa: a survey of healthcare workers in academic and nonacademic hospitals. Antimicrobial Stewardship & Healthcare Epidemiology, 3(1). https://doi.org/10.1017/ash.2023.483

Rout, J., Essack, S. Y., & Brysiewicz, P. (2021). Guidelines for the hospital role of the clinical nurse in antimicrobial stewardship: A scoping review. Southern African Journal of Critical Care, 37(2), 70. https://doi.org/10.7196/sajcc.2021.v37i2.481

Salam, Md. A., Al-Amin, Md. Y., Salam, M. T., Pawar, J. S., Akhter, N., Rabaan, A. A., & Alqumber, M. A. A. (2023). Antimicrobial Resistance: A Growing Serious Threat for Global Public Health. In Preprints.org. https://doi.org/10.20944/preprints202305.0555.v1

Saleem, Z., Godman, B., Azhar, F., Kalungia, A. C., Fadare, J., Opanga, S., Marković-Peković, V., Hoxha, I., Saeed, A., Algethamy, M., Haseeb, A., Salman, M., Khan, A. A., Nadeem, M. U., Rehman, I. U., Qamar, M. U., Amir, A., Ikram, A., & Hassali, M. A. (2021). Progress on the national action plan of Pakistan on antimicrobial resistance (AMR): a narrative review and the implications. Expert Review of Anti-Infective Therapy, 20(1), 71–93. https://doi.org/10.1080/14787210.2021.1935238

Sartelli, M., Marini, C. P., McNelis, J., Coccolini, F., Rizzo, C., Labricciosa, F. M., & Petrone, P. (2024). Preventing and Controlling Healthcare-Associated Infections: The First Principle of Every Antimicrobial Stewardship Program in Hospital Settings. Antibiotics, 13(9), 896. https://doi.org/10.3390/antibiotics13090896

Schinas, G., Polyzou, E., Spernovasilis, N., Gogos, C., Dimopoulos, G., & Akinosoglou, K. (2023). Preventing Multidrug-Resistant Bacterial Transmission in the Intensive Care Unit with a Comprehensive Approach: A Policymaking Manual. Antibiotics, 12(8), 1255. https://doi.org/10.3390/antibiotics12081255

Schmid, S., Schlosser, S., Gülow, K., Pavel, V., Müller, M., & Kratzer, A. (2022). Interprofessional Collaboration between ICU Physicians, Staff Nurses, and Hospital Pharmacists Optimizes Antimicrobial Treatment and Improves Quality of Care and Economic Outcome. Antibiotics, 11(3), 381. https://doi.org/10.3390/antibiotics11030381

ŞEN, E., & Yurt, S. (2021). Hemşirelerin Kanıta Dayalı Uygulamalara Yönelik Tutumlarının Belirlenmesi. Etkili Hemşirelik Dergisi, 14(2), 102–107. https://doi.org/10.46483/deuhfed.737729

Şensoy, E. (2021). Hemşirelik Öğrencilerinin El Hijyeni Ve Eldiven Kullanma Alışkanlıklarının Belirlenmesi. Mersin Üniversitesi Tıp Fakültesi Lokman Hekim Tıp Tarihi ve Folklorik Tıp Dergisi, 11(2), 353–363. https://doi.org/10.31020/mutftd.876950

Sharma, S., Chauhan, A., Ranjan, A., Mathkor, D. M., Haque, S., Ramniwas, S., Tuli, H. S., Jindal, T., & Yadav, V. (2024). Emerging challenges in antimicrobial resistance: implications for pathogenic microorganisms, novel antibiotics, and their impact on sustainability. Frontiers in Microbiology, 15. https://doi.org/10.3389/fmicb.2024.1403168

Shelke, Y., Bankar, N., Bandre, G., Hawale, D., & Dawande, P. (2023). An Overview of Preventive Strategies and the Role of Various Organizations in Combating Antimicrobial Resistance. Cureus, 15(9). https://doi.org/10.7759/cureus.44666
Tahmasebi, H., Arjmand, N., Monemi, M., Babaeizad, A., Alibabaei, F., Alibabaei, N., Bahar, A., Oksenych, V., & Eslami, M. (2025). From Cure to Crisis: Understanding the Evolution of Antibiotic-Resistant Bacteria in Human Microbiota. Biomolecules, 15(1), 93. https://doi.org/10.3390/biom15010093
Tinker, N., Foster, R., Webb, B., Haydoura, S., Buckel, W. R., & Stenehjem, E. (2021). Interventions to optimize antimicrobial stewardship. Antimicrobial Stewardship & Healthcare Epidemiology, 1(1). https://doi.org/10.1017/ash.2021.210
Tjilos, M., Drainoni, M., Burrowes, S., Butler, J., Damschroder, L. J., Goetz, M. B., Madaras-Kelly, K., Reardon, C. M., Samore, M. H., Shen, J., Stenehjem, E., Zhang, Y., & Barlam, T. F. (2023). A qualitative evaluation of frontline clinician perspectives toward antibiotic stewardship programs. Infection Control and Hospital Epidemiology, 44(12), 1995–2001. https://doi.org/10.1017/ice.2023.35
UÇMAN, T., & Uysal, N. (2021). Yetişkin Bireylerde Akılcı İlaç Kullanımı ve Etkileyen Faktörlerin Belirlenmesi. Bandırma Onyedi Eylül Üniversitesi Sağlık Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi, 3(2), 126–133. https://doi.org/10.46413/boneyusbad.859525
Vita, E. D., Segala, F. V., Frallonardo, L., Civile, G., Scisciolo, D. D., Novara, R., Vito, A. D., Girolamo, M. G. D., Amendolara, A., Piccolomo, L., Madeddu, G., Terranova, A., Mariani, D., Altavilla, S., Veronese, N., Barbagallo, M., Cicolini, G., Gennaro, F. D., & Saracino, A. (2024). Knowledge, Attitudes, and Practices toward Antimicrobial Resistance among Young Italian Nurses and Students: A Multicenter, Cross-Sectional Study. Annals of Global Health, 90(1), 46. https://doi.org/10.5334/aogh.4488
Wojcik, G., Ring, N., McCulloch, C., Willis, D., Williams, B., & Kydonaki, K. (2021). Understanding the complexities of antibiotic prescribing behaviour in acute hospitals: a systematic review and meta-ethnography. Archives of Public Health, 79(1), 134. https://doi.org/10.1186/s13690-021-00624-1
YARAMIŞ, M. İ., & Ulupınar, S. (2021). Bir Aile Sağlığı Merkezine Kayıtlı Bireylerin Akılcı İlaç Kullanım Davranışları. Ordu Üniversitesi Hemşirelik Çalışmaları Dergisi, 4(1), 10–20. https://doi.org/10.38108/ouhcd.804379
Yau, J. W., Thor, S. M., Tsai, D., Speare, T., & Rissel, C. (2021). Antimicrobial stewardship in rural and remote primary health care: a narrative review. Antimicrobial Resistance and Infection Control, 10(1), 105. https://doi.org/10.1186/s13756-021-00964-1
Yılmaz, N., Gelmez, G. A., Söyletir, G., İlki, A., Topkaya, A. E., Tosun, A. İ., Dündar, D., Öcal, D., Evren, E., Özbek, E., Özkaya, E., Sağlam, F., Cömert, F., Hazırolan, G., Er, H., Güdücüoğlu, H., Baran, I., Soylu, M., Yaşar, M., … Kipritçi, Z. (2023). The Change in Antimicrobial Resistance During the COVID-19 Pandemic in Türkiye. Mikrobiyoloji Bulteni, 57(4), 507–534. https://doi.org/10.5578/mb.20239943

SAĞLIK KURUMLARINDA ÖRGÜTSEL SESSİZLİK: NEDENLERİ, ÖRGÜTSEL FAKTÖRLER VE SONUÇLARI ÜZERİNE BİR LİTERATÜR DEĞERLENDİRMESİ

Fatma İVERENDİ TÜRKMEN
İstanbul Aydın Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
ORCID ID:0009-0006-0809-8120
Dr. Öğr. Üyesi Mustafa METE
İstanbul Aydın Üniversitesi, SBF Sağlık Yönetimi Bölümü
ORCID ID: 0000-002-1332-7905

ÖZET
ABSTRACT
1. GİRİŞ
2. ÖRGÜTSEL SESSİZLİK KAVRAMI VE BOYUTLARI
2.1. Kabullenici Sessizlik
2.2. Savunmacı Sessizlik
2.3. Pro-sosyal ve Diğer Sessizlik Biçimleri
3. SAĞLIK YÖNETİMİNDE ÖRGÜTSEL SESSİZLİĞİN NEDENLERİ VE TETİKLEYİCİ ETMENLER
3.1.Örgütsel etmenler ve Yönetsel etmenler
3.2. Örgütün yapısı
3.3. Liderlik tarzı
3.4.Bireysel etmenler
3.5.Ulusal / kültürel etmenler
3.6. Sağlık Kurumlarında Örgütsel Sessizlik Üzerine Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi
Tablo 1. Sağlık Kurumlarında Örgütsel Sessizlik Üzerine Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi
4. ÖRGÜTSEL SESSİZLİĞİN PROBLEM ÇÖZME BECERİLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ
5. SAĞLIK KURUMLARINDA SESSİZLİĞİ TETİKLEYEN KURUMSAL DİNAMİKLER: GÜVEN VE İLETİŞİM ANALİZİ
6. PERSONEL GRUBU ODAKLI SESSİZLİK DAVRANIŞLARI: HEMŞİRELER VE İDARİ PERSONEL KARŞILAŞTIRMASI
Tablo 2. Sağlık Kurumlarında Örgütsel Sessizlik Üzerine Yapılan Çalışmaların Özeti
7. ÖRGÜT KÜLTÜRÜ VE ÖRGÜTSEL DEMOKRASİNİN SESSİZLİK ÜZERİNDEKİ ROLÜ
8. SAĞLIK ÇALIŞANLARINDA ÖRGÜTSEL SESSİZLİĞİN DEMOGRAFİK VE PSİKOLOJİK YANSIMALARI
Şekil 1. Sağlık kurumlarında örgütsel sessizliğin kavramsal modeli
9. SONUÇ VE ÖNERİLER
- Demokratik Yönetim Anlayışı
- İletişim Kanallarının Güçlendirilmesi:
- Güven ve Şeffaflık:

ÖZET

Sessizlik psikoloji bilimine göre özgüvensizlik, sosyolojide sosyal suskunluk, insan bilimcilerine göre ise sessizliği eylemsizlik olarak tanımlamaktadır. Aşk, öfke, korku, sürpriz gibi duyguların ortak dili olarak da tanımlanır. Örgütsel sessizlik, çalışanların kurumsal gelişime katkı sağlayabilecek bilgi, fikir, endişe veya önerilerini kasıtlı olarak saklamasıdır. Bu durum, örgütsel iletişim kanallarının tıkanmasına ve kurumsal gelişimin sekteye uğramasına neden olmaktadır. Özellikle modern yönetim kültüründe şeffaflık, katılım ve geri bildirimin ön planda olduğu bir dönemde, örgütsel sessizlik olgusu kurumsal başarı ve sürdürebilirlik açısından tehdit oluşturmaktadır. Hata toleransının bulunmadığı ve doğrudan insan hayatını etkileyen sağlık sektöründe bu durum, kurumsal verimliliğin yanı sıra hasta güvenliğini de tehdit eden stratejik bir risk faktörüdür. Bu çalışmanın amacı, sağlık yönetimi alanındaki çalışanların örgütsel sessizlik düzeylerini incelemek ve bu davranışın problem çözme becerileri üzerindeki etkisini analiz etmektir. Literatür taraması ve güncel araştırmalar; toksik liderlik davranışları, örgütsel güven eksikliği ve kariyer engellerinin sağlık çalışanlarını sessizliğe ittiğini göstermektedir. Bu araştırmada Google akademi ve YÖK Tez Arama Merkezi elektronik veri tabanları kullanılmıştır. Ulaşılan çalışmalar belirlenen kriterlere göre elenmiş ve çalışmaya dahil edilmiştir. Araştırma sonuçları, sessizliği bir davranış modeli olarak benimseyen sağlık profesyonellerinin ve yöneticilerinin, kurumda karşılaştıkları problemleri tespit etme ve çözüm üretme becerilerinin anlamlı derecede düşük olduğunu kanıtlamaktadır. Çalışma, sağlık yöneticilerinin katılımcı bir liderlik tarzı benimsemesinin ve örgütsel demokrasiyi güçlendirmesinin sessizliği azaltarak kurumsal performansı artıracağını öngörmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sağlık Yönetimi, Örgütsel Sessizlik, Problem Çözme Becerisi, Hasta Güvenliği, Kurumsal kültür.

ORGANIZATIONAL SILENCE IN HEALTH INSTITUTIONS: A LITERATURE REVIEW ON THE CAUSES, ORGANIZATIONAL FACTORS AND CONSEQUENCES

ABSTRACT

According to psychology, silence is defined as lack of self-confidence; in sociology, it is defined as social reticence; and according to human scientists, it is defined as inaction. It is also defined as the common language of emotions such as love, anger, fear, and surprise. Organizational silence is the deliberate withholding of employees' information, ideas, concerns, or suggestions that could contribute to organizational development. This situation causes organizational communication channels to become clogged and hinders organizational

development. Especially at a time when transparency, participation and feedback are at the forefront of modern management culture, the phenomenon of organizational silence poses a threat to corporate success and sustainability. In the healthcare sector, where there is no tolerance for errors and directly affects human life, this situation is a strategic risk factor that threatens patient safety as well as corporate efficiency. The aim of this study is to examine the organizational silence levels of employees in the field of health management and to analyze the effect of this behavior on problem solving skills. Literature review and current research show that toxic leadership behaviors, lack of organizational trust and career barriers push healthcare professionals into silence. In this research, the electronic databases Google Scholar and the Council of Higher Education Thesis Search Center were used. The studies retrieved were screened according to the specified criteria and included in the study. The research results prove that health professionals and managers who adopt silence as a behavioral model have significantly lower skills to identify the problems they face in the institution and create solutions. The study predicts that health managers adopting a participatory leadership style and strengthening organizational democracy will increase corporate performance by reducing silence.

Keywords: Health Management, Organizational Silence, Problem Solving Skill, Patient Safety, Organizational Culture

1. GİRİŞ

Sessizlik Türk Dil Kurumunda sessiz kalmak olarak geçmektedir. Psikolojide içine kapanma ve özgüvensizlik, sosyolojide ise toplumsal suskunluk olarak ele alınmaktadır. Örgütsel sessizlik, modern yönetim literatüründe çalışanların işle ilgili her türlü bilgi, endişe ve iyileştirme önerisini bilinçli bir biçimde paylaşmaktan kaçınması olarak tanımlanmaktadır (Sarı ve Kırılmaz, 2022). Bu olgu, özellikle personelin görüş bildirmesini riskli bulduğu veya bu çabanın herhangi bir fayda sağlamayacağına inandığı kurumsal iklimlerde kökleşmektedir (Sevim,2022). Sağlık hizmetleri gibi hata toleransının bulunmadığı ve doğrudan insan hayatının merkeze alındığı stratejik sektörlerde, sessizlik yalnızca bireysel bir suskunluk hali değil, kurumsal verimliliği ve hasta güvenliğini doğrudan tehdit eden yapısal bir sorundur (Çakır ve Uğurluoğlu, 2019; Öztürk ve ark., 2019). Sağlık kuruluşları, tıbbi süreçlerin yanı sıra bilimsel yönetim ilkeleriyle yönetilmesi gereken karmaşık organizasyonlar olduğundan, sağlıklı bir işleyiş için sorunların görmezden gelinmemesi ve açıkça tartışılması bir zorunluluktur (Özkan ve ve ark., 2021).

Sağlık kurumlarındaki hiyerarşik yapılar ve çalışma dinamikleri, personeli çeşitli nedenlerle sessizliğe itebilmektedir. Güncel bulgular; sağlık çalışanlarının toksik liderlik davranışları, kariyer engelleri veya kurumsal politika algısı gibi faktörlerin etkisiyle sessizliği bir korunma mekanizması olarak benimsediklerini göstermektedir (Aybar ve Akaçin, 2025; Ordu ve Yörük, 2024; Ünsal, 2025). Özellikle üniversite ve kamu hastaneleri gibi yoğun çalışma temposuna sahip kurumlarda, örgütsel güven eksikliği personeli savunmacı bir tutumla bilgi saklamaya yöneltmektedir (Doğrusöz, 2023; Özkan ve ark., 2021). Bu durum, kurum içindeki aksaklıkların yönetim kademesi tarafından fark edilmesini engelleyerek, hizmet kalitesinin düşmesine ve yönetim süreçlerinin etkinliğinin zayıflamasına yol açmaktadır (Çakır ve Uğurluoğlu, 2019).

Sağlık yönetimi literatüründe örgütsel sessizliğin en somut olumsuz yansımalarından biri, personelin problem çözme kapasitesi üzerindeki etkisidir. Öztürk ve arkadaşları (2019) tarafından kamu hastanelerinde gerçekleştirilen araştırma, sessizliği bir davranış modeli olarak benimseyen sağlık yöneticilerinin ve idari personelin problem çözme becerilerinin anlamlı derecede düşük olduğunu kanıtlamıştır. Sorunların dile getirilmediği bir ortamda kolektif zekâ devre dışı kalmakta; bu da personelin hem iş tatmininin azalmasına hem de "sessiz istifa" (quiet quitting) olarak tanımlanan örgütten duygusal kopuş sürecine girmesine neden olmaktadır (Tosun & Akay, 2024). Ayrıca, demografik değişkenlerin de sessizlik algısı üzerinde etkili olduğu, cinsiyet ve çalışma süresi gibi unsurların personelin sesini çıkarma cesaretini farklılaştırdığı saptanmıştır (Çakır ve ark., 2021; Küçüktepe ve ark., 2022).

Bu çalışma, sağlık yönetimi alanındaki örgütsel sessizlik düzeylerini ve bu davranışın altında yatan nedenleri güncel literatür ışığında incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırma kapsamında, örgütsel sessizliğin çalışanların problem çözme becerileri üzerindeki etkilerini inceleyerek, sağlık yöneticilerinin kurumsal başarı ve güvenli bir hizmet ortamı tesis etmek için benimsemesi gereken stratejik yaklaşımlar tartışmaya açılacaktır

2. ÖRGÜTSEL SESSİZLİK KAVRAMI VE BOYUTLARI

Örgütsel sessizlik, modern yönetim bilimlerinde çalışanların iş süreçlerine dair sahip oldukları kritik bilgileri, iyileştirme önerilerini ve kurumsal endişeleri bilinçli bir niyetle saklaması olarak tanımlanmaktadır (Özkan ve arkadaşları). Bu fenomen, basit bir iletişim kopukluğundan ziyade, çalışanın fikirlerini beyan etmesinin riskli olduğu veya bu çabanın herhangi bir kurumsal değişikliğe yol açmayacağı yönündeki inançlarıyla şekillenen stratejik bir davranıştır (Çakır ve Uğurluoğlu, 2019). Özellikle sağlık kuruluşları gibi yüksek sorumluluk ve uzmanlık

gerektiren organizasyonlarda sessizlik, personelin profesyonel performansını ve kurumsal aidiyetini derinden etkileyen çok boyutlu bir yapı sergilemektedir

Güncel literatür, sessizliği çalışanın motivasyon kaynaklarına göre farklı boyutlarda kategorize etmektedir. Tosun ve Akay (2024) tarafından sunulan çalışmaya göre, sağlık çalışanlarının sessizlik davranışları temel olarak şu boyutlarda yoğunlaşmaktadır:

2.1. Kabullenici Sessizlik Kabullenici sessizlik, çalışanın örgüt içindeki mevcut aksaklıkları değiştiremeyeceğine dair geliştirdiği teslimiyetçi tutumun bir sonucudur (Tosun & Akay, 2024). Bu boyuttaki sağlık profesyonelleri, önerilerinin yönetim tarafından dikkate alınmayacağına veya sistemin değişmeyeceğine dair güçlü bir futilite (faydasızlık) algısına sahiptirler. Özkan ve arkadaşları (2021), kamu hastanelerinde görev yapan sağlık yöneticilerinin sessizlik düzeylerini inceledikleri çalışmada, personelin proaktif katılım göstermek yerine statükoyu kabullenerek geri çekilme eğilimi gösterdiklerini saptamışlardır. Bu tutum, çalışanın örgüte olan adanmışlığını zayıflatarak zamanla profesyonel bir ilgisizliğe dönüşmektedir (Ülger ve Erdoğan).

2.2. Savunmacı Sessizlik Savunmacı sessizlik, çalışanın kendini yöneticilerden gelebilecek olumsuz tepkilerden, cezalandırılmalardan veya kariyerine zarar verebilecek durumlardan korumak amacıyla sergilediği proaktif bir bilgi gizleme davranışıdır (Çakır ve Uğurluoğlu, 2019). Sağlık çalışanları, tıbbi hataları veya yönetimsel eksiklikleri dile getirdiklerinde "sorun çıkaran personel" olarak yaftalanmaktan çekindikleri için bu sessizlik türünü bir kalkan olarak kullanabilmektedir (Tosun ve Akay, 2024; Deniz, 2019). Deniz (2019) tarafından hastane çalışanları üzerinde yapılan araştırma, personelin iş güvenliği ve kariyer kaygıları nedeniyle savunmacı bir sessizliği tercih ettiğini doğrulamaktadır.

2.3. Pro-sosyal ve Diğer Sessizlik Biçimleri Literatürdeki bir diğer boyut olan pro-sosyal sessizlik, bireyin kurumun veya meslektaşlarının iyiliğini gözeterek, iyi niyetli bir motivasyonla bilgiyi saklamasıdır (Tosun ve Akay, 2024). Bununla birlikte, personelin sadece kendi şahsi menfaatlerini korumak için bilgiyi stratejik bir güç olarak kullanması ise fırsatçı sessizlik olarak tanımlanmaktadır ((Üler ve Erdoğan). Sağlık yönetimi perspektifinden bakıldığında, tüm bu sessizlik boyutları kurum içindeki şeffaflığı zedelemekte ve kolektif problem çözme becerilerinin önünde engel teşkil etmektedir (Öztürk ve ark., 2019).

Özetle, örgütsel sessizliğin boyutları, sağlık çalışanlarının kurumsal güven düzeyleri ve yöneticilerin liderlik tarzlarıyla doğrudan ilişkilidir. Kavramın bu çok boyutlu yapısını anlamak, sağlık kurumlarında daha sağlıklı bir iletişim iklimi tesis etmek için atılacak ilk adımdır Gözübüyük ve arkadaşları(2025)

3. SAĞLIK YÖNETİMİNDE ÖRGÜTSEL SESSİZLİĞİN NEDENLERİ VE TETİKLEYİCİ ETMENLER

Sağlık kurumlarında örgütsel sessizliğin oluşumu, bireysel tercihlerden ziyade yönetimsel süreçler ve kurumsal iklimle doğrudan ilişkilidir. Özellikle sağlık çalışanlarının sessiz kalma eğilimleri üzerinde liderlik tarzlarının belirleyici bir rolü bulunmaktadır. Aybar ve Akaçin (2025), sağlık çalışanlarında algılanan **toksik liderlik** davranışlarının örgütsel sessizliği anlamlı ve pozitif yönde etkilediğini ortaya koymuştur. Bu bağlamda, yöneticilerin sergilediği baskıcı veya adil olmayan tutumlar, personelin fikirlerini saklayarak bir korunma mekanizması geliştirmesine neden olmaktadır. Karagöz ve Filiz (2025) ise bu duruma ek olarak, örgütsel körlük algısının sessizlik davranışlarını tetiklediğini ve yöneticilerin sorunları fark edememesinin çalışanları suskunluğa ittiğini belirtmektedir.

Kurumsal faktörler incelendiğinde, örgüt kültürü ve demokratik yapı sessizlik düzeyini doğrudan etkilemektedir. Işık ve arkadaşları (2022), örgüt kültürü ve **örgütsel demokrasinin** sessizlik üzerinde güçlü bir etkisi olduğunu; demokratik bir yönetim anlayışının personelin sesini yükseltme cesaretini artırdığını vurgulamaktadır. Benzer şekilde, Özbezek ve Paksoy (2022) da örgütsel demokrasi düzeyindeki artışın, çalışanların kendilerini ifade etme istekliliğini yükselterek sessizliği azalttığını kanıtlamıştır. Sağlık kurumlarındaki iletişim dinamikleri de bu süreçte kritiktir Bayın ve arkadaşları(2016). örgütsel iletişim ile sessizlik arasındaki ilişkide **psikolojik rahatlığın** aracı bir rol oynadığını, personelin kendini psikolojik olarak güvende hissetmediği ortamlarda iletişimin kesildiğini ifade etmektedir.

Sağlık profesyonellerinin kariyer algıları ve yaşadıkları psikolojik süreçler de sessizlik nedenleri arasında önemli bir yer tutar. Ordu ve Yörük (2024), kariyer engelleri ile örgütsel sessizlik arasındaki ilişkide **duygusal tükenmişliğin** kilit bir aracı değişken olduğunu saptamıştır. Tükenmişlik yaşayan sağlık çalışanı, kurumdaki sorunlara karşı duyarsızlaşarak sessizliği bir kaçış yolu olarak seçebilmektedir. Ünsal (2025) ise kamu hastanelerinde örgütsel politika algısının yüksek olmasının çalışanları sessiz kalmaya yönelttiğini, zira çalışanların politik manevraların olduğu bir ortamda konuşmayı riskli bulduklarını saptamıştır. Doğrusöz (2023) ise üniversite hastaneleri örneğinde, **örgütsel güven** ile sessizlik arasında negatif bir ilişki olduğunu; kuruma ve yöneticiye duyulan güven arttıkça sessizlik eğiliminin azaldığını ortaya koymuştur. Örgütsel sessizliğin oluşumunda yer alan bir takım etmenler; örgütsel etmenler (örgüt kültürü, örgütsel sessizlik iklimi, örgütsel adaletsizlik kültürü), yönetsel etmenler (Yönetimin Homojenliği, Yöneticilerin Olumsuz Geri Bildirim Korkuları, Önyargılı inanışlar, Yöneticinin Yapısı), bireysel etmenler (Geçmiş tecrübeler, izolasyon korkusu, güven

eksikliği, konuşmanın riskli olması, ilişkileri zedeleme korkusu,karakter özellikleri) ve ulusal/ kültürel etmenlerdir.

3.1.Örgütsel etmenler ve Yönetsel etmenler:Örgütsel düzeyde sessizlik, örgütlerin yapısal, yönetsel ve kültürel özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bu bağlamda örgütlerde sessizliğe yol açan başlıca nedenler aşağıda açıklanmıştır. Sağlık kurumlarında örgütsel sessizlik, çalışanların hasta güvenliği, çalışma koşulları, veya idari aksaklıkların oluşması halinde, görüş, öneri, eleştirilerden kaçınma durumudur. Bu durum özellikle yönetimsel uygulamalardan, kurumsal iletişim eksikliğinden ve hiyerarşik yapının katı olmasından da tetiklenir Bayın ve arkadaşları(2016)

3.2. Örgütün yapısı:Örgüt yapısı, örgüt içerisindeki yetki dağılımı, iletişim kanalları ve karar alma mekanizmaları ile ilişkilidir. Özellikle de hiyerarşik yapının katı olması ast-üst arasındaki bilgi alışverişini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu durumda kurumlarda örgütsel sessizliğe neden olmaktadır. bunun yanı sıra şeffaf, kapsayıcı ve genel bir örgüt yapısı sessizliği azaltır, çalışanların sesliliğini arttırır(Egehan.,2015).

3.3. Liderlik tarzı: Kurumlarda örgütsel sessizliği tamamen ortadan kaldırmak ya da en üst seviyeye çıkaran en önemli dinamiklerden biridir. Bu durum sağlık kurumları içinde geçerliliğini korumaktadır. Hastane yöneticilerinin (başhekim, müdürler, sorumlu hemşire ve diğer koordinatörler) sergilediği davranış modelleri sağlık çalışanlarında örgütsel sessizlik riskini veya örgütsel seslilik gibi faydalarını belirleyen faktörlerdendir. Kapsayıcı ve katılımcı liderlik, etik liderlik, dönüşümcü liderlik gibi liderlik türleri örgütsel sessizliği azaltıp, inovasyonu arttır. Doğru söylemeye teşvik ederken toksik ve teokratik liderlik, etkileşimci liderlik gibi liderlik türleri de kurumlarda örgütsel sessizliği doğrudan arttıran liderlik türleri olarak örnek gösterilebilir Gözübüyük ve arkadaşları(2025).

3.4.Bireysel etmenler: Kurumsal yapı farkketmeksizin, çalışanın kendi kişilik özellikleri, geçmiş deneyimler veya psikolojik süreçleri gibi etmenlerden kaynaklanan sessizlik nedenleridir. Çalışanların tamamen kendi içsel muhasebeleri ve risk algılarından ötürü konuşmayı tercih etmemeleridir. Sağlık kurumlarında, sağlık çalışanları (hekim, hemşire, tekniker ve idari personel) kariyer ve statü kaybı, sosyal dışlanma, faydasızlık inancı, özgüven eksikliği ve yetersizlik hissi, sorumluluktan kaçma gibi düşünceler ile konuşmaktan kaçınır. Bireysel etmenler kurumsal kültür ile birleştiğinde ise aşılması zor bir sessizlik duvarı örmüş olur (Üler ve Erdoğan.,2021).

3.5.Ulusal / kültürel etmenler:İçinde yaşanılan toplumun değerleri, inançları, norm ve kültürel yapısı kurumların yönetimine ve çalışanların davranışlarına yansır. Bu durum sağlık

kurumları ve sağlık çalışanları içinde geçerliliğini korumaktadır. Sağlık çalışanları da otoriteye koşulsuz itaat, sorgulamama kültürü, çatışmadan kaçınma, uyumlu görünme çabası, kararı üste bırakma gibi çocukluktan itibaren içine doğdukları toplumun iletişim ve itaat kalıplarını iş yaşamına da taşımaktadır (Yetim ve Erigüç.,2018).

3.6. Sağlık Kurumlarında Örgütsel Sessizlik Üzerine Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi

Sağlık sektörü iş yükü, zaman baskısı ve insan yaşamına dokunan yapısı gereği çalışanların bilgi, birikim, fikir ve kaygılarının dile getirmesini gerektiren bir alandır. Fakat literatür incelendiğinde birçok alanda olduğu gibi sağlık kurumlarında çalışan kişilerin de bireysel nedenler ve örgütsel dinamiklerinde etkisiyle sessiz kaldıkları görülmektedir. Özellikle son yıllarda öne çıkan sesiz istifa kavramı da örgütsel sessizliğin diğer bir kavramı olarak kabul edilebilir. Sessiz istifa işten tam bir ayrılma hali olmamasına rağmen, iste minimum ferformans ile işe devam etme olarak tanımlanabilir. Yapılan çalışmalarda, Sessiz istifa sağlık çalışanının performansını düşürücü etkisi olduğunu ortaya koymaktadır. Sağlık kurumlarında örgütsel sessizlik olgusunu açıklamaya yönelik yapılan çalışmalar incelendiğinde, sessizliğin yalnızca bireysel bir davranış olmadığı; liderlik tarzı, örgütsel güven, örgüt kültürü, iletişim yapısı ve çalışanların psikolojik özellikleri ile şekillenen çok boyutlu bir süreç olduğu görülmektedir (Çalışkan, 2023; Gün, 2024; karalinç, 2024; Küçüktepe vd.,2022; saygılı ve özer, 2024).

Aşağıdaki tabloda sağlık alanında gerçekleştirilen güncel çalışmaların örneklem özellikleri ve temel bulguları özetlenmiştir.

Çalışma	Örneklem	Temel Bulgusu
Aybar ve Akaçin (2025)	n=400	Sağlık çalışanlarında toksik liderlik davranışlarının örgütsel sessizlik üzerinde anlamlı ve pozitif etkisi olduğu belirlenmiştir.
Doğrusöz (2023)	n=377	Örgütsel güven ile örgütsel sessizlik arasında negatif yönlü anlamlı ilişki olduğu; güven arttıkça sessizlik eğiliminin azaldığı belirlenmiştir.
Bilgin, Diğer ve Kaçmaz (2021)	n=306	Hemşirelerde örgütsel sessizliğin temel nedenlerinin yönetici tutumu, çalışma ortamı ve iletişim sorunları olduğu belirlenmiştir.
Işık, Tutgaç ve Gündoğdu (2022)	n=269	Örgüt kültürü ve örgütsel demokrasi düzeyinin örgütsel sessizlik üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir.
Macit, Karaman ve Ekim (2020)	n=123	Psikolojik sermayenin örgütsel sessizliği azaltan önemli bir faktör olduğu tespit edilmiştir.
Küçüktepe, Çetin ve Yıldırım (2022)	n=300	Sosyodemografik özelliklerin örgütsel sessizlik düzeyleri üzerinde etkili olduğu bulunmuştur.
Deniz (2019)	n=199	Hastane çalışanlarında kariyer kaygısı, yönetici tutumu ve örgütsel koşulların sessizlik davranışını etkilediği belirlenmiştir.
Özkan, Çatar, Göçmen ve Gemlik (2021)	n=126	Sağlık yöneticilerinin örgütsel sessizlik düzeylerinin karar alma süreçleri ve yönetsel katılım ile ilişkili olduğu bulunmuştur.
Gözübüyük, Kufacı ve Sarı (2025)	n=511	Sağlık çalışanlarında sesliliği artırmaya yönelik uygulamaların örgütsel sessizliği azaltabileceği ortaya konmuştur.

Çalışma	Örneklem	Temel Bulgusu
Saygın ve Atalay (2022)	n=242	Örgütsel güvenin çalışan sesliliğini desteklediği ve sessizlik davranışını azaltıcı rol oynadığı belirlenmiştir.
Çakır ve Uğurluoğlu (2019)	n=276	Sağlık çalışanlarının sessizlik nedenleri arasında yönetici tutumu, iletişim eksikliği ve olumsuz sonuç korkusunun önemli olduğu belirlenmiştir.
Öztürk, Gemlik ve Öztürk (2022)	n=273	Örgütsel sessizliğin sağlık yöneticileri ve idari personelin problem çözme becerileri üzerinde olumsuz etkisi olduğu bulunmuştur.

Tablo 1. Sağlık Kurumlarında Örgütsel Sessizlik Üzerine Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi

Kaynak: yazar tarafından oluşturulmuştur.

4. ÖRGÜTSEL SESSİZLİĞİN PROBLEM ÇÖZME BECERİLERİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Örgütsel sessizlik, sağlık kurumlarının kolektif zekâsını devre dışı bırakarak problem çözme kapasitesini zayıflatmaktadır. Sağlık yönetimi alanında yapılan güncel araştırmalar, personelin bilgi ve birikimlerini paylaşmamasının, kararlara katılım göstermemesinin olası kurumsal problemlerin çözümünü engellediğini göstermektedir. Özellikle yönetim kademesinde bulunan bireylerin sessizliği tercih etmesi, kurumda meydana gelen aksaklıkların görünürlüğünü azaltmakta ve bu sorunların kronikleşmesine zemin hazırlamaktadır Özkan ve arkadaşları(2021).

Saha araştırmalarından elde edilen bulgular, bu teorik yaklaşımı desteklemektedir. Öztürk ve arkadaşları (2019) tarafından bir kamu hastanesinde gerçekleştirilen araştırma, sessizlik düzeyi yüksek olan yöneticilerin ve idari personelin **problem çözme becerilerinin** anlamlı derecede düşük olduğunu kanıtlamıştır. Sessizlik davranışının benimsenmesi, çalışanların kurum içerisindeki problemleri görme, bu problemlerin çözümünü önemseme ve çözüm konusunda istekli olma tutumlarını negatif yönde etkilemektedir , Sonuç olarak, sessizliğin bir norm haline geldiği sağlık kuruluşlarında, yenilikçi fikirlerin yerini statükocu yaklaşımlar almakta ve kurumsal verimlilik tehlikeye girmektedir (Çakır ve Uğurluoğlu.,2019).

5. SAĞLIK KURUMLARINDA SESSİZLİĞİ TETİKLEYEN KURUMSAL DİNAMİKLER: GÜVEN VE İLETİŞİM ANALİZİ

Sağlık kurumlarında örgütsel sessizliğin temelinde, çalışanın kuruma duyduğu güven ve yönetimle kurduğu iletişimin niteliği yatmaktadır. Güncel saha araştırmaları, bu iki unsurun sessizlik olgusunu ya beslediğini ya da kırdığını göstermektedir. Doğrusöz (2023), üniversite hastaneleri örneğinde gerçekleştirdiği çalışmada, **örgütsel güven** ile sessizlik arasında negatif ve anlamlı bir ilişki saptamıştır; yani çalışanın yöneticisine ve kurumuna duyduğu güven arttıkça, sorunları dile getirme cesareti de artmaktadır. Saygın ve Atalay (2022) ise sağlık

sektöründe güvenin sadece sessizliği azaltmakla kalmadığını, aynı zamanda "çalışan sesliliği" olarak tanımlanan proaktif katılımı doğrudan teşvik ettiğini vurgulamaktadır.

İletişim dinamikleri açısından bakıldığında, kurum içindeki sadece resmi kanallar değil, informal ağlar da sessizlik üzerinde etkilidir. Sarı ve Kırılmaz (2022), sağlık kurumlarında örgütsel sessizlik ile **informal iletişim** arasında güçlü bir bağ olduğunu saptamıştır. Resmi kanalların tıkandığı veya baskıcı olduğu durumlarda, çalışanlar gerçek fikirlerini sadece informal gruplarda paylaşmakta, bu da yönetim kademesinin gerçek sorunlardan haberdar olmasını engelleyerek kurumsal bir körlük yaratmaktadır Sevim(2022).Derin ve Doğan (2022) ise bu süreçte **psikolojik rahatlık** kavramının önemine değinerek, çalışanın kendini güvende hissetmediği bir iletişim ortamında sessizliğin kaçınılmaz bir savunma mekanizmasına dönüştüğünü belirtmektedir. Bunun yanı sıra sağlık kurumlarında çalışanları sessizliğe iten diğer dinamikleri de göz ardı etmemek gerekir. Otoriter ve hiyerarşik yönetim, cezalandırıcı yönetim yapısı, destekleyici örgüt kültürünün bulunmaması, iletişim kanallarının yetersizliği, aşırı iş yükü ve personel yetersizliği, meslekler arası güç dengesizliği ve adalet algısının zayıf olması gibi dinamikler de çalışanları sessizliğe iten etmenler olarak sıralanabilir.

6. PERSONEL GRUBU ODAKLI SESSİZLİK DAVRANIŞLARI: HEMŞİRELER VE İDARİ PERSONEL KARŞILAŞTIRMASI

Örgütsel sessizlik, sağlık kurumlarındaki farklı meslek grupları arasında farklı motivasyonlarla sergilenmektedir. Özellikle hemşirelik hizmetlerinde sessizlik, hem mesleki hiyerarşi hem de yoğun iş yükü ile şekillenmektedir. Bilgin, Diğer ve Kaçmaz (2021) tarafından bir eğitim ve araştırma hastanesinde yapılan araştırma, hemşirelerin sessiz kalma nedenlerinin başında "yöneticilerin tutumu" ve "iş yerindeki huzursuzluk" geldiğini ortaya koymuştur. Hemşireler, özellikle tıbbi süreçlerdeki aksaklıkları dile getirdiklerinde olumsuz bir geri bildirim almaktan veya meslektaşlarıyla sorun yaşamaktan çekinmektedirler .

İdari personel ve yöneticiler tarafında ise sessizlik daha çok stratejik ve korunma odaklı bir yapı sergilemektedir. Deniz (2019), hastane çalışanlarının sessizlik nedenlerini incelediği çalışmasında, idari kadronun kariyer endişeleri ve üst yönetimle olan ilişkilerini koruma arzusu nedeniyle sessizliği bir "kalkan" olarak kullandığını saptamıştır. Bu durum, idari süreçlerdeki verimsizliklerin kronikleşmesine neden olmaktadır. Özkan ve arkadaşlarının (2021) kamu hastaneleri üzerindeki bulguları ise idari yöneticilerin sessizlik düzeylerinin, onların kurumsal karar alma süreçlerine katılım motivasyonlarını zayıflattığını göstermektedir.

Sağlık kurumlarında örgütsel sessizlik konusunu ele alan bazı çalışmaların genel özellikleri ve odaklandıkları araştırma alanları Tablo 1’de sunulmaktadır.

YAZAR	YIL	ÇALIŞMA KONUSU	Çalışma Alanı
Macit, Karaman ve Ekim	2020	PSİKOLOJİK SERMAYE İLE ÖRGÜTSEL SESSİZLİK İLİŞKİSİ	Sağlık Çalışanları
Yılmaz, Pülat ve Söyük	2020	Örgüt kültürü ile örgütsel sessizlik ilişkisi	Kamu Hastane çalışanları
Özkan, Çatar, Göçmen ve Gemlik	2021	Sağlık yöneticilerinin örgütsel sessizlik düzeyleri	Kamu Hastanesi
Aybar ve Akaçin	2025	Toksik liderlik davranışlarının örgütsel sessizlik üzerindeki etkisi	Sağlık çalışanları
Sarı ve Kırılmaz	2022	Örgütsel sessizlik ve informal iletişim ilişkisi	Sağlık Kurumları
Saygın ve Atalay	2022	Örgütsel güven ve çalışan sesliliği ilişkisi	Sağlık sektörü
Küçüktepe, Çetin ve Yıldırım	2022	Sosyodemografik özellikler ile örgütsel sessizlik ilişkisi	Eğitim ve araştırma hastanesi
Bilgin, Diğer ve Kaçmaz	2021	Hemşirelerde örgütsel sessizlik nedenleri	Eğitim ve araştırma hastanesi

Tablo 2. Sağlık Kurumlarında Örgütsel Sessizlik Üzerine Yapılan Çalışmaların Özeti
Kaynak: yazar tarafından oluşturulmuştur.

7. ÖRGÜT KÜLTÜRÜ VE ÖRGÜTSEL DEMOKRASİNİN SESSİZLİK ÜZERİNDEKİ ROLÜ

Sağlık kurumlarının sahip olduğu kültürel yapı, sessizliğin bir norm haline gelip gelmeyeceğini belirleyen ana unsurdur. Doğan ve Yılmaz (2020), sağlık kurumlarında **örgüt kültürü** ile örgütsel sessizlik arasında doğrudan bir ilişki olduğunu, özellikle hiyerarşik ve kuralcı kültürlerin sessizliği tetiklediğini ifade etmektedir. Benzer şekilde, Yılmaz, Pülat ve Söyük (2020) de çalışanların örgüt kültürünü "destekleyici" olarak algıladıkları durumlarda sessizlik eğilimlerinin anlamlı ölçüde azaldığını kanıtlamıştır.

Bu kültürel altyapının en somut yansıması **örgütsel demokrasi** uygulamalarıdır. Işık, Tutgaç ve Gündoğdu (2022), demokratik bir yönetim anlayışının ve şeffaf karar alma mekanizmalarının sağlık çalışanlarının kendilerini ifade etme alanlarını genişlettiğini saptamıştır. Özbezek ve Paksoy (2022) ise örgütsel demokrasinin sadece sessizliği azaltmadığını, aynı zamanda personelin kurumsal aidiyet duygusunu güçlendirerek "kabullenici sessizlik" boyutunu ortadan kaldırdığını vurgulamaktadır.

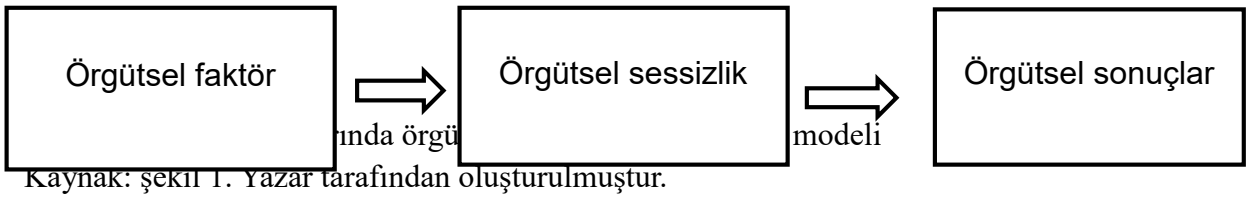
8. SAĞLIK ÇALIŞANLARINDA ÖRGÜTSEL SESSİZLİĞİN DEMOGRAFİK VE PSİKOLOJİK YANSIMALARI

Sağlık kurumlarında örgütsel sessizlik algısı, çalışanların bireysel özellikleri ve psikolojik sermayeleri ile yakından ilişkilidir. Demografik değişkenler bağlamında gerçekleştirilen kapsamlı çalışmalar, yaş, cinsiyet ve mesleki kıdem gibi unsurların sessizlik davranışları üzerinde belirleyici rol oynadığını göstermektedir. Çakır ve arkadaşları (2021), yaptıkları meta-analiz çalışmasında, sağlık çalışanlarının demografik niteliklerinin sessizlik algılarını farklılaştırdığını ve kurumsal aidiyet duygusunun bu süreçte tampon bir rol üstlendiğini saptamıştır. Benzer şekilde, Küçüktepe ve arkadaşları (2022) bir eğitim ve araştırma

hastanesinde yaptıkları araştırmada, sosyodemografik özelliklerin kurumsal sessizlikle doğrudan ilişkili olduğunu; özellikle çalışma süresi arttıkça personelin savunmacı sessizlik eğilimlerinde değişimler gözlendiğini ortaya koymuştur.

Psikolojik faktörler açısından bakıldığında, çalışanın içsel kaynakları sessizliği önlemede kritik bir öneme sahiptir. Macit ve arkadaşları (2020) tarafından yapılan araştırma, sağlık çalışanlarında **psikolojik sermayenin** (umut, dayanıklılık, öz yeterlilik ve iyimserlik) örgütsel sessizliği azaltan temel bir unsur olduğunu kanıtlamıştır. Psikolojik sermayesi güçlü olan bireylerin, karşılaştıkları sorunları dile getirme ve çözüm önerisi sunma konusunda daha cesur davrandıkları görülmektedir. Öte yandan, sessizliğin psikolojik maliyeti çalışanların genel iyilik halini de etkilemektedir; Bilgin ve arkadaşları(2021). örgütsel sessizliğin sağlık çalışanlarında mutsuzluk ve iş tatminsizliği ile doğrudan ilişkili olduğunu vurgulayarak, bu davranışın kronikleşmesinin personelin ruh sağlığı üzerinde yıkıcı etkiler yarattığını belirtmiştir.

Bu çalışmada ele alınan literatür doğrultusunda sağlık kurumlarında örgütsel sessizlik davranışına ilişkin kavramsal model Şekil 1'de sunulmuştur.



ında örgü modeli

Kaynak: şekil 1. Yazar tarafından oluşturulmuştur.

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, sağlık yönetimi perspektifiyle örgütsel sessizliğin nedenleri, boyutları ve kurumsal yansımaları güncel literatür ışığında incelenmiştir. Elde edilen bulgular, sessizliğin özellikle sağlık gibi hata payının düşük olduğu bir sektörde sadece bir iletişim sorunu değil, aynı zamanda yönetimsel bir körlük riski taşıdığını göstermektedir. (Sevim, 2022; Karagöz ve Filiz, 2025) **örgütsel körlük algısının** sessizlik davranışlarını beslediğini; yöneticilerin mevcut sorunları fark edememesinin çalışanlarda "konuşsam da bir şey değişmeyecek" algısını güçlendirerek kabullenici sessizliğe yol açtığını saptamıştır. Sağlık kurumları gibi iç içe geçmiş hizmetlerin sunulmuş olduğu kurumlarda gerek olumlu gerekse olumsuz yönde çalışanların üstlerine bilgi aktarımında bulunmaması kurumun etkinliğini azaltacak ve hizmet kalitesini düşürecek bir durum olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu kısırdöngü, kurumun genel problem çözme becerisini zayıflatarak hizmet kalitesini düşürmektedir. Bu nedenle örgütsel sessizlik düzeyinin azaltılması sağlık kurumlarının etkinliğini artıracaktır. Sağlık yöneticileri için geliştirilen stratejik öneriler şu şekilde özetlenebilir:

- **Demokratik Yönetim Anlayışı:** Özbezek ve Paksoy (2022), örgütsel demokrasinin geliştirilmesinin sessizlik düzeyini düşürmede en etkili yollardan biri olduğunu vurgulamıştır. Çalışanların karar alma süreçlerine dâhil edilmesi, Çalışanların bağlanabilecekleri ortak değerler ve amaçlar oluşturmaları, kurumsal bağlılığı artırarak sessizliğin aşılmasını sağlayacaktır.
- **İletişim Kanallarının Güçlendirilmesi:** Gözübüyük ve arkadaşları (2025), çalışan sesliliğinin güçlendirilmesi için şeffaf bildirim sistemlerinin kurulması gerektiğini ifade etmiştir. Ayrıca, informal iletişimin kurumsal süreçlerle uyumlu hale getirilmesi, personelin endişelerini dile getirmesini kolaylaştıracaktır (Sarı & Kırılmaz, 2022). İletişimin açık olduğu şeffaf bir örgüt yapısı kurmaları, Sağlık çalışanlarının bilgi, düşünce ve fikirlerini paylaşmalarını sağlayacak öğrenen örgüt yaratmaları önerilebilir.
- **Güven ve Şeffaflık:** Saygın ve Atalay (2022), örgütsel güvenin çalışan sesliliği ile doğrudan ilişkili olduğunu; yöneticiye duyulan güvenin artırılmasının sessizlik iklimini dağıtacağını ortaya koymuştur. Çalışanlara bilgi ve becerileri ile orantılı yetki ve sorumluluk vermeleri, hakkaniyetin olduğu bir örgüt kültürü yaratmaları örgütsel sessizliği azaltıp kuruma bağlılığı arttıracaktır.

Sonuç olarak, sağlık kurumlarında çalışan sağlık çalışanlarının oluşabilecek veya mevcut sorunlara katılması sessizliği bir norm olmaktan çıkarmak, yöneticilerin personelin fikirlerine değer verdiği ve psikolojik güvenliğin sağlandığı bir kültürü inşa etmelerine bağlıdır. Bu sayede hem çalışanların mutluluğu sağlanacak hem de hasta güvenliği stratejik bir seviyeye taşınacaktır.

KAYNAKÇA

Aybar, S., & Akaçin, F. (2025). Sağlık çalışanlarında toksik liderlik davranışlarının örgütsel sessizlik üzerindeki etkisini belirlemeye yönelik bir çalışma. Bartın Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 16(31), 19–50.

Bilgin, R., Diğer, H., & Kaçmaz, B. (2021). Hemşirelerde örgütsel sessizliğin nedenleri: Bir eğitim ve araştırma hastanesi uygulaması. Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 9(3), 613–632.

Çakır, Ö., Tanğ, Y., & Gülay, E. (2021). Demografik değişkenler bağlamında çalışanların örgütsel sessizlik algılarının belirlenmesine yönelik bir meta analiz çalışması. Akdeniz İİBF Dergisi, 21(2), 271–296.

Çakır, E., & Uğurluoğlu, Ö. (2019). Sağlık çalışanlarının örgütsel sessizlik, sessizliğin nedenleri ve sonuçlarına ilişkin görüşleri. İşletme Bilimi Dergisi, 7(2), 389–423.

Deniz, Ü. S. (2019). Hastane çalışanlarının örgütsel sessizlik nedenlerini belirlemeye yönelik bir araştırma. Balkan & Near Eastern Journal of Social Sciences, 5(3).

Derin, N., & Doğan, F. (2022). Örgütsel iletişim ve örgütsel sessizlik arasındaki ilişkide psikolojik rahatlığın aracı rolü. Yönetim Bilimleri Dergisi, 20(45), 613–634.

Doğrusöz, L. A. (2023). Örgütsel güven ile örgütsel sessizlik ilişkisi: Bir üniversite hastanesi örneği. Black Sea Journal of Health Science, 6(3), 336–342.

Gözübüyük, O., Kufacı, S., & Sarı, İ. (2025). Sesliliğin güçlendirilmesi: Sağlık çalışanlarına yönelik bir alan araştırması. Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 23(2), 35–49.
Işık, M., Tutgaç, C., & Gündoğdu, B. (2022). Örgüt kültürü ve örgütsel demokrasinin örgütsel sessizlik üzerindeki etkisi. Manisa Celal Bayar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 20(4), 23–42.
Karagöz, Y., & Filiz, M. (2025). Örgütsel körlük algısının örgütsel sessizlik üzerindeki etkisi. Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, 21(2), 497–507.
Küçüktepe, H., Çetin, M., & Yıldırım, M. (2022). Bir eğitim ve araştırma hastanesinde sosyodemografik özelliklerin kurumsal sessizlikle ilişkisinin incelenmesi. Sağlık Akademisyenleri Dergisi, 9(1), 73–81.
Macit, M., Karaman, M., & Ekim, H. (2020). Sağlık çalışanlarında psikolojik sermaye ve örgütsel sessizlik. İnönü Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Dergisi, 8(2), 423–444.
Ordu, A., & Yörük, Ş. (2024). Kariyer engelleri ile örgütsel sessizlik arasındaki ilişkide duygusal tükenmişliğin aracı rolü. Ege Eğitim Dergisi, 25(3), 151–166.
Özbezek, B. D., & Paksoy, H. M. (2022). Örgütsel demokrasinin örgütsel sessizlik düzeyine etkisi üzerine bir araştırma. İşletme Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi, 5(1), 80–101.
Özkan, Ş., Çatar, R., Göçmen, H., & Gemlik, N. (2021). Sağlık yöneticilerinin örgütsel sessizlik düzeyleri: Kamu hastanesi örneği. Uluslararası Sağlık Yönetimi ve Stratejileri Araştırma Dergisi, 7(1), 235–244.
Saygın, E., & Atalay, K. (2022). Sağlık sektöründe örgütsel güvenin çalışan sesliliği ile ilişkisinin incelenmesi üzerine bir araştırma. Ankara Hacı Bayram Veli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 24(1), 304–327.
Ünsal, F. (2025). Sağlık hizmetlerinde örgütsel sessizlik ve örgütsel politika arasındaki ilişkinin incelenmesi: Kamu hastaneleri örneği (Yüksek lisans tezi). İstanbul Aydın Üniversitesi.
Yılmaz, F., Pülat, R., & Söyük, S. (2020). Sağlık çalışanlarında örgütsel sessizlik ve örgüt kültürü ilişkisi üzerine bir inceleme. Cumhuriyet Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi, 9(3). Sarı, B., & Kırılmaz, H. (2022). Sağlık kurumlarında örgütsel sessizlik ve informal iletişim ilişkisi üzerine bir araştırma. Visionary E-Journal / Vizyoner Dergisi, 13(33).
Tosun, N., & Akay, A. C. (2024). ADANMIŞLIKTAN SESSİZLİĞE, SESSİZLİKTEN VAZGEÇİŞE: SAĞLIK ÇALIŞANLARINDA SESSİZ İSTİFA ÜZERİNE KAVRAMSAL BİR ÇERÇEVE. Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 6(2), 72-86.
Alkan Z (2015). Liderlik Tarzlarının Örgütsel Sessizlik İlişkisinde Kariyer Memnuniyetinin Rolü (Yayımlanmış Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.
Öztürk, E. U., Gemlik, N., & Öztürk, İ. (2022). Sağlık Yönetimi AlanındaÇalışan Yöneticilerin Ve İdari Personelin Örgütsel Sessizlik DüzeylerininProblem Çözme Becerileri Üzerine Etkisi: Bir Kamu Hastanesi Örneği. Journalof Healthcare Management and Leadership, (1), 1-20.
Sevim, E. (2022). *Sağlık kurumlarında örgütsel körlüğün tespiti ve oluşumunun önlenmesi* (Master's thesis, Biruni Üniversitesi).
Bayın, G., Yeşilaydın, G., & Yılmaz, G. (2016). SAĞLIK PERSONELİNİN ÖRGÜTSEL SESSİZLİK NEDENLERİNİN BELİRLENMESİ: ÖZEL HASTANE ÖRNEĞİ. *Hitit Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, *8*(2).
Sarı, B., & Kırılmaz, H. (2022). Sağlık Kurumlarında Örgütsel Sessizlik ve İnformel İletişim İlişkisi Üzerine Bir Araştırma. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, *13*(33), 292-308.
Özkan, Ş., Çatar, R., Göçmen, H., & Gemlik, N. (2021). SAĞLIK YÖNETİCİLERİNİN ÖRGÜTSEL SESSİZLİK DÜZEYLERİ: KAMU HASTANESİ ÖRNEĞİ. *Uluslararası Sağlık Yönetimi ve Stratejileri Araştırma Dergisi*, *7*(1), 235-244.
ÜLER, Ö. G. E., & ERDOĞAN, Ö. G. B. SAĞLIK KURUMLARINDA OLUMSUZ ÖRGÜTSEL DAVRANIŞ BOYUTLARI.
Yetim, B., & Erigüç, G. (2018). Sağlık çalışanlarında sessizlik ile ilgili yapılan çalışmalara yönelik bir inceleme. *İş ve İnsan Dergisi*, *5*(1), 19-32.
EGEHAN, T. SAĞLIK ÇALIŞANLARINDA ÖRGÜTSEL SESSİZLİK İKLİMİ VE İŞGÖREN DAVRANIŞLARI ARASINDAKİ ETKİLEŞİM.
DOĞAN, S. (2020). Sağlik Kurumlarinda Örgüt Kültürü İle Örgütsel Sessizlik Arasindaki İlişkinin İncelenmesi. *Business & Management Studies: An International Journal*.
Bozdoğan, C. Örgütsel Sessizlik: Sessizliğin Ardındaki Ses.

ÇOKLU İLACA DİRENÇLİ ENFEKSİYONLARDA BAKTERİYOFAJ TEMELLİ TEDAVİ YAKLAŞIMLARI

Eczacı Nadia MOHAMMADİAN
Ankara Medipol Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, 06570 Altındağ, Ankara
ORCID ID: 0009-0001-1650-0187
Eczacı Melisi SALOOR
Ankara Medipol Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, 06570 Altındağ, Ankara
ORCID ID: 0009-0006-3550-3590
Doç. Dr. Pınar MURSALOĞLU KAYNAR
Ankara Medipol Üniversitesi, Eczacılık Fakültesi, Farmasötik Mikrobiyoloji Anabilim Dalı, 06570 Altındağ, Ankara
ORCID ID: 0000-0002-8451-1777

ÖZET

Antimikrobiyal direnç, günümüzde küresel ölçekte ciddi bir halk sağlığı sorunudur. Bakterilerin mutasyonlar ve yatay gen transferi gibi mekanizmalarla antibiyotiklere karşı direnç kazanması; mevcut antibiyotiklerin etkinliğinin azalmasına, çoklu ilaca dirençli enfeksiyonların yaygınlaşmasına, tedavilerinin güçleşmesine ve sağlık sistemleri üzerindeki ekonomik yükün artmasına yol açmaktadır. Özellikle hastane kaynaklı enfeksiyon etkenlerinin biyofilm oluşturma yeteneği, antibiyotiklerin etkisini sınırlayabilmekte, kronik enfeksiyonların gelişimini kolaylaştırabilmekte ve biyofilm ortamında gerçekleşebilen yatay gen transferi direnç genlerinin yayılımına katkıda bulunabilmektedir. Bu nedenle alternatif antimikrobiyal tedavi yaklaşımlarına duyulan gereksinim artmaktadır. Bakterilere özgül etki gösteren ve dirençli patojenlere karşı potansiyel bir tedavi seçeneği sunan bakteriyofajlar, bu yaklaşımlar arasında öne çıkmaktadır. Bu bildiride, çoklu ilaca dirençli enfeksiyonlarda bakteriyofaj temelli tedavi yaklaşımlarının, güncel teknolojik gelişmelerin ve klinik uygulamaya geçişte karşılaşılan gerekliliklerin incelenmesi amaçlanmıştır. Bakteriyofajlar, litik döngü sırasında konak bakteri hücresine bağlanarak genetik materyallerini hücreye aktarmakta; konak hücrenin biyosentetik mekanizmalarını kullanarak çoğalmakta ve bakteriyel hücrenin lizisi sonucunda yeni faj partikülleri ortama salınmaktadır. Fajların duyarlı konak bakterilerin bulunduğu enfeksiyon bölgesinde çoğalabilmesi, tedavi etkinliğini destekleyebilecek önemli bir özelliktir. Etki mekanizmaları ve kullanım biçimlerine göre faj tedavisine yönelik farklı yaklaşımlar bulunmaktadır. Litik fajların kullanımına dayanan konvansiyonel faj tedavisinin yanı sıra genetik olarak modifiye edilmiş fajlar, faj kaynaklı enzimler ve proteinler ile kombinasyon tedavileri de değerlendirilmektedir. Etkili bir tedavi için doğru patojen-faj eşleşmesini, uygun uygulama yolunu, antibiyotiklerle rasyonel kombinasyonu, biyofilmin hedeflenmesini ve tedavi süresince mikrobiyolojik izlemi bir araya getiren multidisipliner bir yaklaşım gerekmektedir. Faj tedavisinin rutin klinik kullanıma geçebilmesi için standartlaştırılmış faj

duyarlılık testlerine, farmakokinetik/farmakodinamik temelli dozlama yaklaşımlarına, nitelikli faj bankalarına, iyi üretim uygulamalarına (GMP) uygun üretim süreçlerine ve kontrollü klinik çalışmalara gereksinim bulunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Bakteriyofaj, faj tedavisi, antimikrobiyal direnç, çoklu ilaca direnç, biyofilm

BACTERIOPHAGE-BASED THERAPEUTIC APPROACHES FOR MULTIDRUG-RESISTANT INFECTIONS

ABSTRACT

Antimicrobial resistance is currently a serious public health problem on a global scale. The acquisition of antibiotic resistance by bacteria through mechanisms such as mutations and horizontal gene transfer leads to reduced effectiveness of existing antibiotics, the spread of multidrug-resistant infections, increased difficulty in treating these infections, and a greater economic burden on healthcare systems. In particular, the ability of healthcare-associated infectious agents to form biofilms can limit the effects of antibiotics, facilitate the development of chronic infections, and contribute to the dissemination of resistance genes through horizontal gene transfer occurring within the biofilm environment. Therefore, the need for alternative antimicrobial treatment approaches is increasing. Bacteriophages, which act specifically against bacteria and offer a potential treatment option against resistant pathogens, stand out among these approaches. This presentation aims to examine bacteriophage-based treatment approaches for multidrug-resistant infections, current technological developments, and the requirements encountered in translation into clinical practice. During the lytic cycle, bacteriophages attach to the host bacterial cell and transfer their genetic material into the cell; they replicate using the biosynthetic mechanisms of the host cell, and new phage particles are released following lysis of the bacterial cell. The ability of phages to replicate at the site of infection where susceptible host bacteria are present is an important feature that may support treatment efficacy. Different approaches to phage therapy are available according to their mechanisms of action and modes of use. In addition to conventional phage therapy based on the use of lytic phages, genetically modified phages, phage-derived enzymes and proteins, and combination therapies are also being evaluated. Effective treatment requires a multidisciplinary approach that integrates appropriate pathogen-phage matching, a suitable route of administration, rational combination with antibiotics, biofilm targeting, and microbiological monitoring throughout treatment. For phage therapy to enter routine clinical use, standardized phage susceptibility tests, pharmacokinetic/pharmacodynamic-based dosing approaches,

qualified phage banks, manufacturing processes compliant with good manufacturing practices, and controlled clinical trials are required.

Keywords: Bacteriophage, phage therapy, antimicrobial resistance, multidrug resistance, biofilm

SOMALİ, MOGADİŞU'DAKİ ÜÇÜNCÜ BASAMAK BİR HASTANEDE STERİL VÜCUT SIVILARINDAN İZOLE EDİLEN BAKTERİLERİN DAĞILIMI VE ANTİMİKROBİYAL DUYARLILIK PROFİLLERİ: RETROSPEKTİF BİR ÇALIŞMA

Uzman Dr. Serpil DOĞAN
Necip Fazıl Şehir Hastanesi, Tıbbi Mikrobiyoloji Laboratuvarı, 46040, Kahramammaraş
ORCID ID: 0000-0003-0735-2714

ÖZET

Fizyolojik olarak steril kabul edilen beyin omurilik sıvısı, plevral sıvı, periton sıvısı ve sinoviyal sıvı gibi vücut sıvılarında bakterilerin bulunması, ciddi ve yaşamı tehdit edebilen enfeksiyonların göstergesi olabilir. Etken mikroorganizmaların doğru tanımlanması ve antimikrobiyal duyarlılıklarının belirlenmesi, uygun tedavinin başlanması açısından önemlidir. Bununla birlikte, antimikrobiyal direnç ve çoklu ilaca dirençli bakterilerin giderek yaygınlaşması tedavi seçeneklerini sınırlandırmaktadır. Yerel sürveyans verilerinin sınırlı olduğu bölgelerde etken dağılımının ve direnç profillerinin belirlenmesi, ampirik tedavi yaklaşımlarının yönlendirilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, Somali'nin Mogadişu kentindeki üçüncü basamak bir hastanede steril vücut sıvılarından izole edilen bakterilerin dağılımını ve antimikrobiyal duyarlılık profillerini belirlemektir.

Bu retrospektif çalışmada, 2020–2025 yılları arasında incelenen toplam 2.551 steril vücut sıvısı örneği değerlendirildi. Demografik ve klinik özellikler, örnek türleri, kültür sonuçları ve antimikrobiyal duyarlılık verileri analiz edildi. MDR, XDR ve PDR fenotipleri uluslararası kriterlere göre sınıflandırıldı. Örneklerin 866'sında (%33,9) üreme saptandı. En sık incelenen örnekler periton sıvısı (%40,9), plevral sıvı (%31,9) ve beyin omurilik sıvısı (%25,2) idi. Hastaların %62,6'sı erkek, örneklerin %85,5'i yatan hastalara aitti. Mikroorganizma dağılımı yaş grubu, örnek türü ve hasta yatış durumuna göre anlamlı farklılık gösterdi (tümü p<0,001). *Escherichia coli*'de amikasin ve meropenem duyarlılığı sırasıyla %96,0 ve %91,2; *Klebsiella* spp.'de %83,0 ve %81,8 olarak bulundu. *Staphylococcus aureus*'ta linezolid ve daptomisin duyarlılığı %98,5, vankomisin duyarlılığı %97,0 idi. En yüksek MDR oranı *Staphylococcus aureus*'ta (%77,6), en yüksek XDR (%56,3) ve PDR (%31,3) oranları ise *Acinetobacter baumannii*'de saptandı.

Sonuç olarak, steril vücut sıvılarından izole edilen bakterilerde yüksek düzeyde antimikrobiyal direnç ve dirençli fenotiplerin varlığı, düzenli yerel sürveyansın, ampirik tedavinin güncel duyarlılık verilerine göre yönlendirilmesinin ve akılcı antibiyotik kullanımının önemini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Steril vücut sıvıları, bakteriyel enfeksiyonlar, antimikrobiyal duyarlılık, MDR, XDR, PDR.

BACTERIOLOGICAL SPECTRUM AND ANTIMICROBIAL SUSCEPTIBILITY PROFILES OF BACTERIAL ISOLATES FROM STERILE BODY FLUIDS IN A TERTIARY CARE HOSPITAL IN MOGADISHU, SOMALIA: A RETROSPECTIVE STUDY

ABSTRACT

Physiologically sterile body fluids, including cerebrospinal, pleural, peritoneal, and synovial fluids, are expected to be free of microorganisms, and the presence of bacteria may indicate serious and potentially life-threatening infections. Accurate identification of causative microorganisms and determination of their antimicrobial susceptibility are essential for appropriate treatment. However, the increasing prevalence of antimicrobial resistance and multidrug-resistant bacteria limits therapeutic options. In regions where local surveillance data are limited, determining the distribution of bacterial pathogens and current resistance profiles is important for guiding empirical treatment. This study aimed to determine the distribution and antimicrobial susceptibility profiles of bacteria isolated from sterile body fluids at a tertiary care hospital in Mogadishu, Somalia.

In this retrospective study, a total of 2,551 sterile body fluid samples examined between 2020 and 2025 were evaluated. Demographic and clinical characteristics, sample types, culture results, and antimicrobial susceptibility data were analyzed. MDR, XDR, and PDR phenotypes were classified according to internationally accepted criteria. Bacterial growth was detected in 866 (33.9%) samples. The most frequently examined specimens were peritoneal fluid (40.9%), pleural fluid (31.9%), and cerebrospinal fluid (25.2%). Overall, 62.6% of the patients were male, and 85.5% of the samples were obtained from hospitalized patients. The distribution of microorganisms differed significantly according to age group, specimen type, and hospitalization status (all $p<0.001$). Amikacin and meropenem susceptibility rates were 96.0% and 91.2% for *Escherichia coli* and 83.0% and 81.8% for *Klebsiella* spp., respectively. In *Staphylococcus aureus*, susceptibility to linezolid and daptomycin was 98.5%, while vancomycin susceptibility was 97.0%. The highest MDR rate was observed in *S. aureus* (77.6%), whereas the highest XDR (56.3%) and PDR (31.3%) rates were observed in *Acinetobacter baumannii*. In conclusion, the high levels of antimicrobial resistance and resistant phenotypes among bacteria isolated from sterile body fluids highlight the importance of regular local surveillance, evidence-based empirical therapy, and antimicrobial stewardship.

Keywords: Sterile body fluids, bacterial infections, antimicrobial susceptibility, MDR, XDR, PDR.

MADDE KULLANIM BOZUKLUĞU OLAN GEÇ ERGENLERDE ÇOCUKLUK ÇAĞI TRAVMASI VE PSİKOLOJİK SAĞLAMLIK

Kübra GÜNER
Nevsehir Private Cappadocia Hospital, Nevsehir, Türkiye
ORCID ID: 009-0002-2401-942X
Asst. Prof. Dr. İbrahim KARAKAYA
Private Psychiatric Practice, Istanbul, Türkiye
ORCID ID: 000-0002-8027-8365
Prof. Dr. Mustafa Kayhan BAHALI
Private Psychiatric Practice, Istanbul, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-7950-9074

ÖZET

Amaç: Bu çalışma, madde kullanım bozukluğu (MKB) olan geç ergenlerde çocukluk çağı travması ve psikolojik sağlamlığı incelemiş; bu değişkenlerin eğitim düzeyi, hapis öyküsü, aile yapısı, anne tutumları ve çocukluk dönemi bakımı ile disiplini dahil olmak üzere sosyodemografik ve aileyle ilgili faktörlerle nasıl ilişkili olduğunu araştırmıştır.

Yöntem: Çalışmaya 2019-2020 yılları arasında Nevşehir'deki bir hastanenin psikiyatri polikliniğine başvuran madde bağımlılığı olan 44 geç ergen birey (18-22 yaş) ile herhangi bir psikiyatrik bozukluğu bulunmayan 50 sağlıklı kontrol katılımcısı dahil edilmiştir. Örneklem, amaçlı örnekleme yöntemiyle seçilmiştir. Katılımcılara Çocukluk Çağı Travmaları Ölçeği, Yetişkinler İçin Psikolojik Sağlamlık Ölçeği ve araştırmacı tarafından hazırlanan Sosyodemografik Veri Formu uygulanmıştır. Veriler SPSS programında analiz edilmiştir.

Bulgular: Gruplar eğitim düzeyi, hapis öyküsü, aile yapısı, anne tutumları ve çocukluk dönemi bakımı/disiplini açısından farklılık göstermiştir. Kontrol grubuyla karşılaştırıldığında, madde kullanım bozukluğu grubunun eğitim düzeyinin daha düşük olduğu, daha sık hapis öyküsü bulunduğu, geniş ailede yaşama oranlarının daha yüksek olduğu; anne tutumlarının daha çok ilgisiz-otoriter veya tutarsız olduğu ve yetersiz ilgi ile disiplin bildirimlerinin daha fazla olduğu görülmüştür. Madde kullanım bozukluğu grubunda çocukluk çağı travması toplam ve tüm alt boyut (duygusal, fiziksel ve cinsel istismar; duygusal ve fiziksel ihmal) puanları daha yüksek bulunurken, psikolojik sağlamlık puanları daha düşük saptanmıştır (tümü için $p < .05$).

Sonuç: Madde kullanım bozukluğu olan geç ergenler, daha fazla çocukluk çağı travması ve daha düşük psikolojik sağlamlık bildirmiştir. Psikolojik sağlamlık, bu grup için potansiyel olarak koruyucu bir faktör özelliği taşıyabilir.

Anahtar Kelimeler: Ergen; Maddeyle İlişkili Bozukluklar; Çocuk İstismarı; Psikolojik Sağlamlık; Risk Faktörleri

CHILDHOOD TRAUMA AND PSYCHOLOGICAL RESILIENCE IN LATE ADOLESCENTS WITH SUBSTANCE USE DISORDER

ABSTRACT

Objective: This study examined childhood trauma and psychological resilience among late adolescents with substance use disorder (SUD), and explored how these variables were associated with sociodemographic and family-related factors, including educational level, history of imprisonment, family structure, maternal attitudes, and childhood care and discipline.

Method: The study included 44 late adolescent individuals (18–22 years of age) with substance dependence who applied to the psychiatry outpatient clinic of a hospital in Nevşehir between 2019 and 2020, and 50 healthy control participants without any psychiatric disorder. The sample was selected using purposive sampling. The Childhood Trauma Questionnaire, the Adult Psychological Resilience Scale and a researcher-designed Sociodemographic Data Form were administered. Data were analyzed in SPSS.

Results: Groups differed in educational level, incarceration history, family structure, maternal attitudes, and childhood care/discipline. Compared with controls, the substance use disorder group had lower educational attainment, more frequent incarceration history, higher rates of extended-family living, and more uninvolved–authoritarian or inconsistent maternal attitudes, with more reports of insufficient attention and discipline. Childhood trauma total and all subscale scores (emotional, physical, and sexual abuse; emotional and physical neglect) were higher in the substance use disorder group, whereas resilience scores were lower (all $p < .05$).

Conclusion: Late adolescents with substance use disorder reported greater childhood trauma and lower psychological resilience. Resilience may represent a potentially protective factor for this group.

Keywords: Adolescent; Substance-Related Disorders; Child Abuse; Resilience, Psychological; Risk Factors

YAPAY ZEKÂ ÇAĞINDA KÜRESEL TARIM POLİTİKALARI

Savaş NALİNCİ
Amasya University, Social Sciences Vocational School, 05100 Yeşilırmak Campus, Amasya
ORCID: 0000-0001-9981-2698

ÖZET

Küresel iklim krizinin, artan girdi maliyetlerinin ve gıda güvenliği risklerinin tarımsal sistemler üzerindeki baskıyı artırdığı günümüzde, yapay zekânın (YZ) tarım politikalarının dönüşümündeki rolü giderek önem kazanmaktadır. Bu çalışma, yapay zekâ çağında küresel tarım politikalarının dönüşümünü ekonomik, çevresel, teknolojik ve yönetsel boyutlarıyla incelemeyi ve YZ'nin politika kapasitesindeki rolünü ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, 2025 yılında yayımlanan yedi temel uluslararası rapor nitel sentez analizi yaklaşımıyla incelenmiştir. Veri kaynaklarını Dünya Bankası, Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Örgütü (FAO), Uluslararası Gıda Politikası Araştırma Enstitüsü (IFPRI), Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD), Systems Change Lab ve Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından yayımlanan raporlar oluşturmaktadır. Veriler tematik içerik analiziyle çözümlenerek ekonomik baskılar, arazi ve iklim krizi, politika ve yönetişim boşlukları ile YZ'nin risk ve fırsatları olmak üzere dört analitik tema altında karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Bulgular, küresel tarım sistemlerinin iklim değişikliği, arazi bozulması, artan girdi maliyetleri, ticaret kısıtlamaları ve yetersiz politika kapasitesi nedeniyle yapısal bir dönüşüm eşiğinde olduğunu göstermektedir. YZ'nin hassas tarım, verim tahmini, arazi restorasyonu, emisyon izleme, erken uyarı sistemleri, tedarik zinciri optimizasyonu ve politika simülasyonu alanlarında önemli fırsatlar sunduğu; buna karşılık enerji tüketimi, dijital eşitsizlik, veri egemenliği, algoritmik önyargı ve küçük ölçekli üreticilerin dışlanması gibi riskler taşıdığı belirlenmiştir. Çalışmanın özgünlüğü, YZ'nin dağınık biçimde ortaya konulan risk ve fırsatlarını dört analitik tema altında sentezleyerek veri ekosistemi → analitik kapasite → politika zekâsı → uygulama → politika çıktıları şeklinde bütünleşik bir politika kapasitesi modelinde birleştirmesidir. YZ yönetişimi ise bu sürecin tüm aşamalarını çevreleyen yatay bir kapasite olarak konumlandırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ, tarım politikaları, dijital tarım, sürdürülebilirlik, yapay zekâ yönetişimi

GLOBAL AGRICULTURAL POLICIES IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

ABSTRACT

In an era of growing pressures on agricultural systems caused by the global climate crisis, rising input costs, and food security risks, the role of artificial intelligence (AI) in the transformation of agricultural policies has become increasingly important. This study aims to examine the transformation of global agricultural policies in the age of AI from economic, environmental, technological, and governance perspectives and to reveal the role of AI in policy capacity. To this end, seven major international reports published in 2025 were examined using a qualitative synthesis analysis approach. The data sources consisted of reports published by the World Bank, the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), the International Food Policy Research Institute (IFPRI), the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), Systems Change Lab, and the United Nations Environment Programme (UNEP). The data were analyzed through thematic content analysis and comparatively evaluated under four analytical themes: economic pressures, the land and climate crisis, policy and governance gaps, and the risks and opportunities associated with AI. The findings indicate that global agricultural systems are at a critical threshold of structural transformation due to climate change, land degradation, rising input costs, trade restrictions, and insufficient policy capacity. AI offers significant opportunities in precision agriculture, yield forecasting, land restoration, emissions monitoring, early warning systems, supply chain optimization, and policy simulation, while also posing risks related to energy consumption, digital inequality, data sovereignty, algorithmic bias, and the exclusion of small-scale producers. The originality of the study lies in synthesizing the risks and opportunities of AI, which are addressed in a fragmented manner across international reports, under four analytical themes and integrating them into an integrated policy capacity model structured as data ecosystem → analytical capacity → policy intelligence → implementation → policy outcomes. AI governance is positioned as a horizontal capacity encompassing all stages of this process.

Keywords: Artificial intelligence, agricultural policies, digital agriculture, sustainability, AI governance

1. GİRİŞ

Yirmi birinci yüzyılın ikinci çeyreğine girilirken, küresel tarım sistemleri iklim değişikliği, nüfus artışı, doğal kaynakların hızla tükenmesi, biyolojik çeşitlilik kaybı ve gıda güvenliği gibi birbirini besleyen çok boyutlu sorunlarla karşı karşıya kalmıştır. Bu gelişmeler, tarım politikalarının yalnızca üretim artışına odaklanan geleneksel anlayıştan uzaklaşarak çevresel

sürdürülebilirlik, ekonomik dayanıklılık ve teknolojik yenilik ekseninde yeniden yapılandırılmasını zorunlu hâle getirmiştir. Özellikle dijital teknolojilerde yaşanan hızlı ilerleme, tarımsal üretimin planlanması, uygulanması ve yönetilmesinde veri temelli karar alma süreçlerini ön plana çıkarmış; yapay zekâ (Artificial Intelligence-AI) ise bu dönüşümün temel itici güçlerinden biri hâline gelmiştir (OECD, 2019; FAO, 2025).

Yapay zekâ, insan zekâsını gerektiren öğrenme, akıl yürütme, problem çözme, tahmin yapma ve karar verme gibi bilişsel süreçlerin bilgisayar sistemleri tarafından gerçekleştirilebilmesini sağlayan algoritmalar ve hesaplama yöntemleri bütünü olarak tanımlanmaktadır (Russell & Norvig, 2021). Makine öğrenmesi, derin öğrenme, bilgisayarlı görü ve doğal dil işleme gibi alt disiplinlerin gelişmesiyle yapay zekâ, yalnızca otomasyon sağlayan bir teknoloji olmaktan çıkmış; büyük hacimli verilerden anlam üreterek karmaşık sistemlerin yönetimini destekleyen stratejik bir karar destek mekanizmasına dönüşmüştür (UNESCO, 2021). Yüksek düzeyde belirsizlik içeren biyolojik ve çevresel süreçleri bünyesinde barındıran tarım sektörü, bu nedenle yapay zekâ uygulamalarının en hızlı yayıldığı alanlardan biri olarak kabul edilmektedir (Liakos v.d., 2018).

2025 yılı, küresel tarım ve gıda sistemleri için kritik bir değerlendirme dönemi olmuştur. Paris Anlaşması'nın onuncu yıl dönümünde yayımlanan başlıca raporlar — Dünya Bankası'nın Commodity Markets Outlook (Nisan ve Ekim 2025), FAO'nun The State of Food and Agriculture 2025, IFPRI'nin Global Food Policy Report 2025, OECD'nin Agricultural Policy Monitoring and Evaluation 2025, State of Climate Action 2025 ve UNEP'in Emissions Gap Report 2025 — sistemin derin yapısal sorunlarını net biçimde ortaya koymaktadır. Bu raporlar ortak bir tablo çizmektedir: küresel sera gazı emisyonları 2024'te 57,7 $GtCO_2e$'ye ulaşmış, arazi bozulması yaklaşık 1,7 milyar insanı etkilemekte, tarımsal girdi maliyetleri (özellikle gübre) artmakta, ticaret kısıtlamaları yayılmakta ve iklim eylemi göstergelerinin hiçbiri 1,5°C uyumlu hedeflere yaklaşamamaktadır (UNEP, 2025; Systems Change Lab v.d., 2025; World Bank [WB], 2025). Tarım ve arazi kullanımı sektörü, küresel emisyonların yaklaşık %25-30'unu oluşturmakta olup, ormansızlaşma, toprak kaybı ve biyoçeşitlilik erozyonu gibi sorunlar giderek şiddetlenmektedir (FAO, 2025; IPCC, 2023; OECD, 2025).

Bu bağlamda yapay zekâ, tarım politikalarının geleceğinde hem önemli bir risk hem de dönüştürücü bir fırsat olarak öne çıkmaktadır. Bir yandan veri merkezlerinin yüksek enerji talebi fosil yakıt bağımlılığını ve dolayısıyla gübre üretim maliyetlerini artırabilmektedir (WB, 2025; Systems Change Lab v.d., 2025). Diğer yandan hassas tarım uygulamaları, arazi restorasyonu modellemesi, iklim risk tahmini, kaynak optimizasyonu ve politika

simülasyonlarında AI'nin sunduğu olanaklar oldukça geniştir (FAO, 2025; IFPRI, 2025; OECD, 2025). Bu paradoks, literatürde "teknolojik ikilem" olarak adlandırılabilecek bir durum yaratmaktadır: AI günümüzde yalnızca teknik bir yenilik değil, ekonomik, çevresel ve yönetsel dönüşümü aynı anda etkileyen sosyo-teknik bir paradigma olarak değerlendirilmektedir (Rose & Chilvers, 2018). Başka bir ifadeyle, yapay zekâ tarımsal üretimi değiştirdiği kadar tarım politikalarının tasarlanma biçimini de dönüştürmektedir.

"Yapay Zekâ Çağında Küresel Tarım Politikaları" yaklaşımı dört temel ilkeye dayanmalıdır: (1) Veri odaklı ve ölçek duyarlı politika tasarımı, (2) Ticaret-çevre-AI entegrasyonu, (3) Enerji-tarım uyumu ve (4) Adil ve kapsayıcı dönüşüm. Bu çerçeve, geleneksel destek mekanizmalarının reformunu, arazi restorasyonunun hızlandırılmasını, emisyon azaltımının önceliklendirilmesini ve inovasyonun teşvik edilmesini zorunlu kılmaktadır (OECD, 2025; FAO, 2025; UNEP, 2025).

Sonuç olarak, 2025 raporları şunu göstermektedir: zaman daralmaktadır. Geleneksel yaklaşımlar yetersiz kalmıştır. Yapay zekâ, doğru politika tasarımıyla tarım sistemlerini daha verimli, dirençli ve sürdürülebilir kılabilir; ancak bu, ancak bilinçli, adil ve çok aktörlü bir dönüşüm stratejisiyle mümkündür (Systems Change Lab v.d., 2025; UNEP, 2025). Paris Anlaşması'nın onuncu yılında, tarım politikalarının AI destekli bir paradigma değişimine ihtiyacı vardır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Tarım politikası, devletlerin ve uluslararası kuruluşların tarımsal üretim, gıda güvenliği, kırsal kalkınma, doğal kaynak yönetimi ve tarımsal ticareti yönlendirmek amacıyla geliştirdikleri düzenleyici, destekleyici ve yönetsel araçların bütününü ifade etmektedir. Geleneksel tarım politikaları uzun yıllar boyunca üretimin artırılması, fiyat istikrarının sağlanması ve çiftçi gelirlerinin korunmasına odaklanmıştır. Bununla birlikte iklim değişikliği, su kıtlığı, toprak bozulması ve küresel tedarik zincirlerinde yaşanan kırılmalar, bu yaklaşımın tek başına yeterli olmadığını ortaya koymuştur (OECD, 2025). Günümüzde tarım politikalarının temel amacı yalnızca daha fazla üretim gerçekleştirmek değil; aynı zamanda doğal kaynakların korunmasını, sera gazı emisyonlarının azaltılmasını, iklim değişikliğine uyum kapasitesinin artırılmasını ve kırsal toplumların ekonomik dayanıklılığının güçlendirilmesini sağlamaktır (FAO, 2025).

Bu dönüşüm, tarım politikalarının giderek daha fazla veri temelli hâle gelmesine neden olmuştur. Özellikle büyük veri, uzaktan algılama teknolojileri, sensör ağları ve yapay zekâ uygulamalarının gelişmesiyle birlikte politika yapıcılar artık geçmiş verilere dayalı statik

kararlar yerine gerçek zamanlı bilgi akışını kullanarak dinamik politika tasarımları geliştirebilmektedir. OECD (2025), dijital teknolojilerin tarım politikalarında kullanımını yalnızca üretim verimliliğini artıran teknik bir araç olarak değil; aynı zamanda kamu yönetiminin etkinliğini artıran yeni bir yönetişim kapasitesi olarak değerlendirmektedir. Benzer biçimde WB (2025), veri temelli politika tasarımının iklim riskleri, piyasa dalgalanmaları ve gıda güvenliği gibi karmaşık sorunların yönetiminde stratejik önem taşıdığını vurgulamaktadır.

Bu gelişmelerin doğal sonucu olarak "dijital tarım" (digital agriculture) kavramı ortaya çıkmıştır. Dijital tarım, bilgi ve iletişim teknolojilerinin tarımsal üretim süreçlerine sistematik biçimde entegre edilmesini ifade eden geniş kapsamlı bir dönüşüm yaklaşımıdır. Bu yaklaşım; nesnelerin interneti (IoT), küresel konumlama sistemleri (GPS), uzaktan algılama, insansız hava araçları, bulut bilişim, büyük veri analitiği ve yapay zekâ gibi birbirini tamamlayan teknolojilerin bütünleşik kullanımını kapsamaktadır (Wolfert v.d., 2017). Amaç yalnızca üretim süreçlerini dijitalleştirmek değil; üretimden pazarlamaya kadar uzanan tüm tarımsal değer zincirini veri odaklı hâle getirerek daha doğru, hızlı ve sürdürülebilir kararların alınmasını sağlamaktır.

Bununla birlikte dijital tarım yalnızca teknolojik bir modernleşme süreci olarak değerlendirilmemelidir. Dijital dönüşümün başarısı; kırsal altyapının yeterliliği, çiftçilerin dijital okuryazarlık düzeyi, veri paylaşım mekanizmaları ve kamu politikalarının teknolojiye erişimde fırsat eşitliği sağlayabilmesine bağlıdır. Aksi durumda dijital teknolojiler, büyük ölçekli işletmeler lehine rekabet avantajı oluştururken küçük aile işletmelerinin teknolojik dönüşümden dışlanmasına neden olabilmektedir (Rose & Chilvers, 2018). Bu nedenle güncel literatür, dijital tarımın yalnızca teknolojik kapasiteyle değil; yönetişim, kapsayıcılık ve sosyal adalet ilkeleriyle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini savunmaktadır (UNESCO, 2021).

Sonuç olarak yapay zekâ, tarım politikası ve dijital tarım kavramları birbirinden bağımsız süreçler değildir. Yapay zekâ dijital tarımın analitik kapasitesini oluşturan temel teknoloji iken, dijital tarım bu teknolojilerin üretim sistemlerine uygulanmasını sağlayan operasyonel çerçeveyi temsil etmektedir. Tarım politikaları ise bu teknolojik dönüşümün hangi amaçlarla, hangi aktörler tarafından ve hangi etik ilkeler doğrultusunda kullanılacağını belirleyen yönetsel yapıyı oluşturmaktadır. Dolayısıyla yapay zekâ çağında tarım politikalarının başarısı, yalnızca teknolojik yeniliklerin geliştirilmesine değil; bu yeniliklerin sürdürülebilirlik, kapsayıcılık ve veri temelli yönetişim ilkeleri doğrultusunda bütüncül biçimde yönetilmesine bağlıdır.

2.1. Hassas Tarım (Precision Agriculture)

Dijital tarımın gelişmesiyle birlikte tarımsal üretim süreçleri giderek veri temelli ve değişken koşullara uyum sağlayabilen bir yapıya dönüşmüştür. Bu dönüşümün en somut uygulama alanlarından biri hassas tarım (Precision Agriculture-PA) yaklaşımıdır. Hassas tarım, tarımsal üretim alanlarının homojen olmadığı varsayımına dayanmakta ve her üretim alanının biyofiziksel özelliklerine göre farklı yönetim kararları alınmasını öngörmektedir (Gebbers & Adamchuk, 2010). Geleneksel üretim sistemlerinde sulama, gübreleme ve pestisit uygulamaları tüm araziye aynı biçimde uygulanırken, hassas tarım yaklaşımı her bölgenin gerçek ihtiyaçlarını belirleyerek girdilerin değişken oranlarda kullanılmasını hedeflemektedir. Böylece hem üretim maliyetleri azaltılmakta hem de çevresel etkiler önemli ölçüde sınırlandırılmaktadır.

Hassas tarımın gelişmesinde GPS, coğrafi bilgi sistemleri (GIS), uzaktan algılama teknolojileri, insansız hava araçları (UAV), sensör ağları ve büyük veri analitiği belirleyici rol oynamıştır. Ancak bu teknolojilerin ürettiği büyük hacimli verilerin anlamlı bilgiye dönüştürülmesini sağlayan temel unsur yapay zekâ algoritmalarıdır. Makine öğrenmesi ve derin öğrenme teknikleri sayesinde milyonlarca veri noktası analiz edilerek ürün gelişimi, toprak nemi, besin elementleri, hastalık riski ve iklim değişkenleri eş zamanlı olarak değerlendirilebilmektedir (Liakos v.d., 2018). Bu nedenle günümüzde hassas tarım, yalnızca dijital sensörlerin kullanıldığı bir üretim modeli olmaktan çıkmış; yapay zekâ destekli karar sistemleriyle çalışan bütünleşik bir yönetim yaklaşımına dönüşmüştür.

Literatürde hassas tarımın sağladığı yararlar üç temel boyutta ele alınmaktadır. Birinci boyut ekonomik verimliliktir: yapay zekâ destekli değişken oranlı uygulamalar, gereksiz girdi kullanımını azaltarak üretim maliyetlerini düşürmekte ve kaynak kullanım etkinliğini artırmaktadır. İkinci boyut çevresel sürdürülebilirliktir: gübre ve pestisit uygulamalarının yalnızca ihtiyaç duyulan alanlarda gerçekleştirilmesi, su kaynaklarının korunmasına ve nitrojen ile fosfor kaynaklı çevresel kirliliğin azaltılmasına katkı sağlamaktadır. Üçüncü boyut ise karar verme kapasitesidir: gerçek zamanlı veri analizi sayesinde üreticiler yalnızca mevcut duruma göre değil, gelecekte oluşabilecek risklere göre de üretim planlaması yapabilmektedir (Wolfert v.d., 2017).

Yapay zekâ teknolojilerinin hassas tarıma entegrasyonu, yalnızca çiftlik ölçeğinde verimlilik artışı sağlamakla kalmamakta; ulusal tarım politikalarının veri temelli biçimde yeniden tasarlanmasına da katkı sunmaktadır. OECD (2025), dijital teknolojilerin tarım sektöründe kullanımını kamu politikalarının etkinliğini artıran stratejik bir unsur olarak değerlendirmekte;

özellikle üretim tahminleri, erken uyarı sistemleri ve doğal kaynak yönetiminde yapay zekâ tabanlı analizlerin politika yapım süreçlerini önemli ölçüde güçlendirdiğini vurgulamaktadır. Benzer şekilde FAO (2025), arazi bozulmasının izlenmesi, restorasyon önceliklerinin belirlenmesi ve sürdürülebilir arazi yönetimi uygulamalarının yaygınlaştırılmasında yapay zekâ destekli uzaktan algılama sistemlerinin kritik öneme sahip olduğunu belirtmektedir.

Bununla birlikte hassas tarımın yalnızca teknolojik yeniliklerle açıklanması yeterli değildir. Özellikle yüksek yatırım maliyetleri, dijital altyapı eksiklikleri ve teknik uzmanlık gereksinimi nedeniyle hassas tarım teknolojilerinden büyük ölçekli işletmelerin daha fazla yararlanabildiği; küçük aile işletmelerinin ise dijital dönüşüm sürecinde geride kalabildiği ifade edilmektedir (Rose & Chilvers, 2018). Bu durum, teknolojik yeniliklerin tarımsal verimliliği artırırken kırsal eşitsizlikleri de derinleştirebileceğini göstermektedir. Dolayısıyla hassas tarımın başarısı yalnızca teknolojik gelişmelere değil, bu teknolojilere erişimin adil biçimde sağlanmasına da bağlıdır.

2.2. İklim Dostu Tarım (Climate-Smart Agriculture)

Hassas tarım yaklaşımını küresel sürdürülebilirlik hedefleriyle bütünleştiren en önemli politika çerçevesi, FAO tarafından geliştirilen İklim Dostu Tarım (Climate-Smart Agriculture-CSA) yaklaşımıdır. FAO (2013) tarafından ortaya konulan ve sonraki yıllarda geliştirilen bu yaklaşım, tarımsal üretimin karşı karşıya olduğu iklim baskılarını yönetebilmek amacıyla üç temel hedef belirlemektedir: tarımsal verimliliğin sürdürülebilir biçimde artırılması, iklim değişikliğine uyum kapasitesinin güçlendirilmesi ve sera gazı emisyonlarının azaltılması. Bu üç hedef, birbirinden bağımsız politika alanları olarak değil; aynı anda gerçekleştirilmesi gereken bütünleşik sürdürülebilirlik hedefleri olarak değerlendirilmektedir.

İklim dostu tarım yaklaşımı, klasik çevre politikalarından önemli ölçüde ayrılmaktadır. Geleneksel politikalar çoğunlukla çevresel etkilerin azaltılmasına odaklanırken, CSA yaklaşımı ekonomik kalkınma ile çevresel korumayı birbirini dışlayan hedefler olarak görmemektedir; üretim artışı, iklim uyumu ve çevresel sürdürülebilirliğin aynı politika çerçevesi içinde birlikte gerçekleştirilebileceğini savunmaktadır (FAO, 2025). Bu yönüyle CSA, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları'nın özellikle Açlığa Son (SKA 2), İklim Eylemi (SKA 13) ve Karasal Yaşamın Korunması (SKA 15) hedefleriyle doğrudan ilişkilidir.

Yapay zekâ, Climate-Smart Agriculture yaklaşımının uygulanabilirliğini önemli ölçüde artırmaktadır. Makine öğrenmesi algoritmaları sayesinde iklim senaryoları daha yüksek doğrulukla tahmin edilebilmekte; kuraklık, don, sel ve sıcaklık stresi gibi riskler önceden

modellenebilmektedir. Ayrıca uydu görüntülerinin analiz edilmesiyle karbon stokları, arazi kullanım değişimleri ve ormansızlaşma süreçleri gerçek zamanlı olarak izlenebilmekte; bu durum hem iklim uyum stratejilerinin hem de emisyon azaltım politikalarının daha bilimsel verilere dayandırılmasını sağlamaktadır (UNEP, 2025; FAO, 2025).

Ancak burada da yapay zekânın çift yönlü karakteri belirginleşir: yapay zekâ modellerinin eğitimi için gerekli hesaplama kapasitesinin önemli miktarda elektrik tüketmesi, enerji üretiminde fosil yakıt kullanımının devam ettiği ülkelerde karbon ayak izini artırabilmektedir (Systems Change Lab v.d., 2025). Bu nedenle geleceğin tarım politikaları yalnızca dijital dönüşüme değil, aynı zamanda enerji dönüşümüne de odaklanmalıdır: veri merkezlerinin yenilenebilir enerji kaynaklarıyla desteklenmesi, enerji verimli algoritmaların geliştirilmesi ve dijital altyapının düşük karbonlu enerji sistemleriyle bütünleştirilmesi gerekmektedir (OECD, 2025; UNEP, 2025).

Sonuç olarak hassas tarım ve iklim dostu tarım, dijital tarım paradigmasının birbirini tamamlayan iki temel uygulama alanını oluşturmaktadır. Hassas tarım mikro ölçekte üretim süreçlerinin optimizasyonunu hedeflerken, Climate-Smart Agriculture makro ölçekte sürdürülebilir kalkınma ve iklim politikalarıyla bütünleşen stratejik bir yönetişim çerçevesi sunmaktadır. Yapay zekâ ise bu iki yaklaşımı birbirine bağlayan temel analitik altyapıyı oluşturmaktadır.

2.3. Politika Zekâsı ve Yapay Zekâ Yönetişimi (AI Governance)

Tarım sektörünün karşı karşıya olduğu çok boyutlu sorunlar, politika yapım süreçlerinin de önemli ölçüde dönüşmesini zorunlu kılmaktadır. Geleneksel kamu politikaları çoğunlukla geçmiş deneyimlere ve sınırlı istatistiksel verilere dayalı olarak oluşturulurken, günümüzde büyük veri, yapay zekâ ve gelişmiş analitik yöntemler sayesinde politika geliştirme süreçleri daha dinamik, öngörücü ve kanıta dayalı bir yapıya kavuşmaktadır. Bu dönüşüm, literatürde "Politika Zekâsı" (Policy Intelligence) kavramı ile açıklanmaktadır (OECD, 2020).

Politika zekâsı, kamu politikalarının tasarlanması, uygulanması, izlenmesi ve değerlendirilmesi süreçlerinde veri analitiği, yapay zekâ, tahmin modelleri ve karar destek sistemlerinden yararlanılarak politika kalitesinin artırılmasını amaçlayan analitik kapasiteyi ifade etmektedir. Bu yaklaşım, yalnızca mevcut durumun analiz edilmesini değil, aynı zamanda farklı politika seçeneklerinin olası sonuçlarının önceden modellenmesini ve geleceğe yönelik senaryoların geliştirilmesini mümkün kılmaktadır (European Commission [EC], 2020). Böylece kamu yönetimi, krizlere tepki veren reaktif bir yapıdan çıkarak olası riskleri önceden öngören proaktif bir yönetime dönüşmektedir.

Tarım sektörü, politika zekâsının uygulanabileceği en uygun alanlardan biri olarak değerlendirilmektedir; çünkü tarımsal üretim, iklim koşulları, piyasa fiyatları, doğal afetler, hastalıklar, uluslararası ticaret ve çevresel değişkenler gibi birbirini sürekli etkileyen karmaşık süreçlerden oluşmaktadır. Geleneksel politika araçları bu çok değişkenli yapıyı aynı anda analiz etmekte çoğu zaman yetersiz kalırken, yapay zekâ algoritmaları milyonlarca veri noktasını eş zamanlı olarak işleyebilmekte ve karar vericilere çok boyutlu analizler sunabilmektedir (Wolfert v.d., 2017). Son yıllarda özellikle makine öğrenmesi tabanlı tahmin modelleri; ürün verimi tahminleri, kuraklık erken uyarı sistemleri, tarımsal emtia fiyat analizleri, su kaynaklarının yönetimi ve zararlı organizmaların yayılımının modellenmesi gibi alanlarda politika yapıcılar için önemli karar destek araçları hâline gelmiştir (Liakos v.d., 2018). WB (2025), yapay zekâ destekli veri analizlerinin küresel emtia piyasalarındaki belirsizliklerin yönetilmesinde stratejik önem taşıdığını belirtirken; FAO (2025), arazi bozulmasının izlenmesi ve restorasyon önceliklerinin belirlenmesinde AI tabanlı sistemlerin politika etkinliğini artırdığını vurgulamaktadır.

Politika zekâsının en önemli katkılarından biri, politika senaryolarının uygulamaya geçmeden önce simüle edilebilmesidir. Örneğin farklı gübre destek politikalarının ürün verimi, sera gazı emisyonları ve çiftçi gelirleri üzerindeki olası etkileri yapay zekâ destekli modeller aracılığıyla önceden analiz edilebilmektedir. Böylece politika yapımı yalnızca mevcut sorunlara çözüm üretmekten ibaret olmamakta; gelecekte oluşabilecek risklerin önceden yönetildiği öngörücü (anticipatory) bir niteliğe kavuşmaktadır (OECD, 2025).

Bununla birlikte yapay zekânın politika süreçlerine giderek daha fazla entegre edilmesi, yeni etik ve yönetsel sorunları da beraberinde getirmektedir. Algoritmaların hangi verilerle eğitildiği, kararların nasıl üretildiği, veri sahipliğinin kimde olduğu ve algoritmik önerilerin ne ölçüde şeffaf olduğu gibi sorular, son yıllarda AI Governance (Yapay Zekâ Yönetişimi) literatürünün temel tartışma alanlarını oluşturmaktadır (OECD, 2019; UNESCO, 2021).

AI Governance, yapay zekâ sistemlerinin geliştirilmesi, uygulanması ve denetlenmesine ilişkin etik, hukuki, kurumsal ve teknik düzenlemelerin bütününü ifade etmektedir. Amaç yalnızca teknolojik yenilikleri teşvik etmek değil; aynı zamanda bu teknolojilerin güvenilir, açıklanabilir, hesap verebilir ve insan haklarına saygılı biçimde kullanılmasını sağlamaktır (EC, 2019). Özellikle OECD Yapay Zekâ İlkeleri ve UNESCO'nun Yapay Zekâ Etiği Tavsiye Kararı, günümüzde uluslararası AI yönetişiminin temel referans belgeleri olarak kabul edilmektedir (OECD, 2019; UNESCO, 2021).

Tarım sektörü açısından AI yönetişimi ayrı bir önem taşımaktadır. Dijital tarım uygulamaları sayesinde toprak özellikleri, üretim miktarları, sulama verileri, ürün desenleri ve ekonomik faaliyetlere ilişkin çok büyük miktarda veri toplanmaktadır. Bu verilerin kim tarafından depolandığı, nasıl kullanıldığı ve ekonomik değerinin kim tarafından kontrol edildiği, yalnızca teknik değil aynı zamanda ekonomik ve politik bir mesele hâline gelmiştir. Özellikle küresel teknoloji şirketlerinin tarımsal veri altyapıları üzerindeki etkisinin artması, veri egemenliği (data sovereignty) ve dijital bağımlılık tartışmalarını güçlendirmiştir (Bronson & Knezevic, 2016).

Benzer biçimde algoritmik önyargı (algorithmic bias) sorunu da tarım politikaları açısından önemli riskler oluşturmaktadır. Yapay zekâ sistemleri yalnızca beslendikleri veriler kadar tarafsızdır; büyük ölçekli ticari işletmelerden elde edilen verilerle eğitilmiş algoritmalar, küçük aile işletmelerinin üretim koşullarını yeterince temsil edemeyebilir. Bu durum, AI destekli politika önerilerinin belirli üretici gruplarını sistematik biçimde dezavantajlı duruma düşürmesine neden olabilir (UNESCO, 2021). Dolayısıyla yapay zekâ destekli tarım politikalarının başarısı yalnızca algoritmaların doğruluğuna değil, kullanılan verilerin kapsayıcılığına ve temsil gücüne de bağlıdır.

Literatürde son yıllarda öne çıkan bir diğer kavram ise sorumlu yapay zekâdır (Responsible AI). Bu yaklaşım, yapay zekâ sistemlerinin yalnızca teknik performans açısından değil; etik, sosyal ve çevresel etkileri bakımından da değerlendirilmesi gerektiğini savunmaktadır (Floridi & Cowls, 2019). Tarım politikaları bağlamında sorumlu yapay zekâ; küçük çiftçilerin teknolojilere erişimi, veri mahremiyetinin korunması, algoritmik şeffaflığın sağlanması, dijital uçurumun azaltılması ve kamu yararının gözetilmesi gibi ilkeleri içermektedir.

Bu çerçevede politika zekâsı ile AI yönetişimi birbirini tamamlayan iki kavramdır. Politika zekâsı, yapay zekânın kamu politikalarına sağladığı analitik kapasiteyi temsil ederken; AI yönetişimi bu kapasitenin hangi etik, hukuki ve kurumsal ilkeler doğrultusunda kullanılacağını belirlemektedir. Başka bir ifadeyle politika zekâsı "daha doğru kararlar almayı", AI yönetişimi ise "doğru kararların doğru biçimde alınmasını" amaçlamaktadır.

2.4. Bütünleşik Kavramsal Model

Önceki başlıklarda yapay zekâ, dijital tarım, hassas tarım, iklim dostu tarım, politika zekâsı ve yapay zekâ yönetişimi kavramları ayrı ayrı ele alınmıştır. Ancak mevcut literatür incelendiğinde bu kavramların çoğunlukla birbirinden bağımsız değerlendirildiği görülmektedir. Dijital tarım çalışmaları daha çok üretim teknolojilerine odaklanırken (Wolfert v.d., 2017; Liakos v.d., 2018), Climate-Smart Agriculture literatürü ağırlıklı olarak

sürdürülebilir üretim ve iklim uyumunu tartışmaktadır (FAO, 2013; FAO, 2025). Buna karşılık yapay zekâ yönetişimi çalışmaları etik, veri güvenliği ve algoritmik hesap verebilirlik üzerinde yoğunlaşmakta (OECD, 2019; UNESCO, 2021), politika zekâsı literatürü ise veri temelli kamu yönetimini ön plana çıkarmaktadır (EC, 2020). Bu parçalı yapı, AI çağında tarım politikalarının bütüncül biçimde analiz edilmesini zorlaştırmaktadır.

Bu çalışma, söz konusu kavramsal parçalanmayı aşmayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda, yapay zekâyı yalnızca bir üretim teknolojisi olarak değil; veri üretimi, karar verme, yönetişim ve sürdürülebilir kalkınmayı aynı anda etkileyen stratejik bir politika kapasitesi olarak ele alan bütünleşik bir kavramsal model önerilmektedir. Modelin temel varsayımı, geleceğin tarım politikalarının teknolojik yeniliklerden çok, bu yenilikleri yönlendiren kurumsal kapasiteye bağlı olacağıdır. Önerilen model altı temel bileşenden oluşmaktadır.

Veri Ekosistemi (Data Ecosystem): Günümüz tarım sistemleri; uydu görüntüleri, meteorolojik istasyonlar, IoT, sensör ağları, insansız hava araçları, coğrafi bilgi sistemleri ve piyasa verileri gibi çok farklı kaynaklardan sürekli veri üretmektedir. Bu veriler dijital tarımın temel girdisini oluşturmaktadır (Wolfert v.d., 2017); ancak verinin tek başına değer üretmediği, ekonomik ve yönetsel faydanın ancak bu verilerin doğru biçimde işlenmesiyle ortaya çıktığı kabul edilmektedir.

Yapay Zekâ Tabanlı Analitik Kapasite: Makine öğrenmesi, derin öğrenme ve büyük veri analitiği sayesinde tarımsal sistemlerdeki karmaşık ilişkiler analiz edilebilmekte; ürün verimi, iklim riskleri, hastalık yayılımı, piyasa eğilimleri ve doğal kaynak kullanımı yüksek doğrulukla tahmin edilebilmektedir (Liakos v.d., 2018). Bu aşama, ham verinin karar üretmeye uygun bilgiye dönüştürüldüğü süreçtir; yapay zekâ, dijital tarımın altyapısı değil, onu anlamlandıran analitik motor olarak değerlendirilmektedir.

Politika Zekâsı (Policy Intelligence): Yapay zekâ tarafından üretilen analizler, kamu kurumları için karar destek sistemlerine dönüşmektedir. Böylece tarımsal destekleme politikalarının etkileri, iklim değişikliği senaryoları, emisyon azaltım stratejileri ve ticaret politikalarının olası sonuçları uygulamaya geçmeden önce simüle edilebilmektedir (OECD, 2025; EC, 2020).

Uygulama Katmanı: Yapay zekâ tarafından desteklenen politika kararları sahada hassas tarım, iklim dostu tarım, akıllı sulama sistemleri, değişken oranlı gübreleme, karbon izleme sistemleri ve dijital tedarik zincirleri biçiminde uygulanmaktadır. Başka bir ifadeyle hassas tarım ve Climate-Smart Agriculture, yapay zekânın kendisi değil, politika zekâsının üretim sistemlerine yansıyan operasyonel sonuçlarıdır.

AI Governance (Yapay Zekâ Yönetişimi): Veri sahipliği, algoritmik önyargılar, şeffaflık, hesap verebilirlik ve dijital eşitsizlik gibi sorunlar teknolojik kazanımları sınırlayabilmektedir (OECD, 2019; UNESCO, 2021; Floridi & Cowls, 2019). Bu nedenle AI Governance, modelde dışsal bir düzenleme mekanizması değil, sistemin tamamını çevreleyen kurumsal bir çerçeve olarak konumlandırılmıştır.

Çıktılar (Policy Outcomes): Yapay zekâ destekli politika kapasitesinin nihai amacı yalnızca üretim verimliliğini artırmak değildir; hedef gıda güvenliğinin güçlendirilmesi, doğal kaynakların korunması, sera gazı emisyonlarının azaltılması, iklim değişikliğine uyum kapasitesinin geliştirilmesi, kırsal kalkınmanın desteklenmesi ve tarım sistemlerinin uzun dönemli dayanıklılığının artırılmasıdır. Bu hedefler, Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları'nın Açlığa Son (SKA 2), İklim Eylemi (SKA 13), Sorumlu Üretim ve Tüketim (SKA 12) ile Karasal Yaşam (SKA 15) amaçlarıyla doğrudan ilişkilidir (United Nations, 2015).

Bu kavramsal modelin literatüre üç temel katkı sunduğu düşünülmektedir. İlk olarak model, yapay zekâyı yalnızca tarımsal üretim teknolojisi olarak değil, çok düzeyli bir kamu politikası kapasitesi olarak yeniden tanımlamaktadır. İkinci olarak model, dijital tarım, hassas tarım ve Climate-Smart Agriculture yaklaşımlarını tek bir analitik çerçevede bütünleştirmektedir. Üçüncü olarak model, AI Governance ve Policy Intelligence kavramlarını tarım politikalarının merkezine yerleştirerek, güvenilir yönetişim mekanizmaları oluşturulmadan yapay zekânın sürdürülebilir tarımsal dönüşüm sağlayamayacağını savunmaktadır.

Sonuç olarak önerilen bütünleşik kavramsal model, yapay zekâyı veri üretiminden politika tasarımına, uygulamadan yönetişime kadar uzanan çok katmanlı bir dönüşüm sistemi içinde ele almaktadır. Bu yaklaşım, çalışmanın ilerleyen bölümlerinde analiz edilen FAO, OECD, Dünya Bankası, IFPRI, UNEP ve State of Climate Action raporlarının ortak bulgularını açıklamak için kuramsal bir temel sunmakta; aynı zamanda AI destekli küresel tarım politikalarının geleceğine ilişkin analitik bir yol haritası önermektedir.

3. LİTERATÜR TARAMASI

2025 yılında yayımlanan başlıca uluslararası raporlar, küresel tarım sistemlerinin karşı karşıya olduğu çok katmanlı krizleri bütüncül bir biçimde ele almaktadır. Bu literatür taraması, Dünya Bankası'nın Commodity Markets Outlook (Nisan ve Ekim 2025), FAO'nun The State of Food and Agriculture 2025, IFPRI'nin Global Food Policy Report 2025, OECD'nin Agricultural Policy Monitoring and Evaluation 2025, State of Climate Action 2025 ve UNEP'in Emissions Gap Report 2025 raporlarını temel alarak, tarım politikalarının ekonomik, çevresel, iklimsel ve

teknolojik boyutlarını sentezlemektedir. Taramada özellikle yapay zekânın bu sistem içindeki risk ve fırsatları vurgulanmaktadır.

Dünya Bankası raporları, küresel tarım piyasalarındaki belirsizlikleri ön plana çıkarmaktadır. 2025'te tarımsal emtia fiyatlarında genel bir düşüş öngörülmekle birlikte, gübre ve enerji girdilerindeki maliyet artışı çiftçi kar marjlarını önemli ölçüde daraltmaktadır (WB, 2025). Özellikle gübre fiyatlarındaki %7 ila %21'lik artış, enerji yoğun üretim süreçlerinden kaynaklanmakta ve AI'nin veri merkezi talebinin dolaylı etkisiyle daha da belirginleşebilmektedir. OECD'nin destekleme politikaları analizi ise üretici destek tahminlerinin (PSE) nominal olarak yüksek olmasına rağmen, çevre ve iklim hedefleriyle uyumunun yetersiz kaldığını göstermektedir (OECD, 2025). Ticaret kısıtlamaları ve tarife dışı engeller, özellikle soya, kahve ve tahıl piyasalarında arz zincirlerini bozmakta, gıda fiyatlarında volatiliteyi artırmaktadır.

IFPRI raporu bu ekonomik baskıların tarihsel bağlamını sunar. Yeşil Devrim'den bu yana tarım politikalarının verim odaklı bir paradigma izlediğini, ancak günümüzde iklim değişikliği, biyoçeşitlilik kaybı ve eşitsizlik gibi yeni boyutlarla karşı karşıya kaldığını belirtir (IFPRI, 2025). Literatür, küçük ölçekli çiftçilerin (dünya çiftliklerinin %85'i) bu baskılardan en fazla etkilenen grup olduğunu vurgular.

FAO'nun 2025 raporu, literatürde arazi bozulmasının en kapsamlı değerlendirmelerinden birini sunar. Küresel olarak 570 milyon çiftlik arasında, 2 hektardan küçük işletmelerin %85'lik payı sadece %9'luk araziyi kontrol etmekte, büyük çiftlikler ise kaynakların büyük kısmını elinde tutmaktadır (FAO, 2025). Arazi bozulması verim kayıplarına yol açmakta ve 1,7 milyar insanı doğrudan etkilemektedir. Rapor, "önle > azalt > restore" hiyerarşisini (avoid > reduce > reverse) temel alan bir yaklaşımı savunur.

State of Climate Action 2025, ormansızlaşma ve arazi kullanımı emisyonlarının 1,5°C hedefi açısından kritik olduğunu vurgular. Hiçbir göstergenin 2030 hedeflerinde olmadığını belirten rapor, ormansızlaşma azaltımının dokuz kat, kömürden çıkışın on kat hızlandırılması gerektiğini ortaya koyar (Systems Change Lab v.d., 2025). UNEP Emissions Gap Report 2025 ise bu tabloyu küresel emisyon boşluğu bağlamında tamamlar: 2030 ve 2035'te emisyon boşlukları hâlâ çok büyüktür ve yeni NDC'ler bu boşluğu yeterince daraltamamıştır (UNEP, 2025).

OECD, ticaret-çevre nexus'unu merkeze alarak, tarımsal desteklerin çevresel dışsallıkları artırabileceğini belirtir (OECD, 2025). Literatürün ortak bulgusu, arazi yönetimi politikalarının ölçek duyarlı (scale-sensitive) olması gerektiğidir.

UNEP ve State of Climate Action raporları, iklim literatürünün temel referanslarını oluşturur. 2024'te küresel GHG emisyonları 57,7 $GtCO_2e$'ye yükselmiş, LULUCF emisyonlarındaki artış toplam artışın %53'ünü açıklamıştır (UNEP, 2025). Yeni NDC'ler sınırlı etki yaratmış, 2030 emisyon boşluğu 2°C yolu için yaklaşık 12 $GtCO_2e$, 1,5°C yolu için 20 $GtCO_2e$ seviyesinde kalmıştır.

State of Climate Action, tarım ve arazi sektöründe ilerlemenin yetersiz olduğunu, teknolojik karbon giderme (CDR) ve finansman akışlarının hedeflerin çok gerisinde olduğunu vurgular (Systems Change Lab v.d., 2025). Bu bulgular, IFPRI'nin politika tarihi analiziyle birleştiğinde, mevcut tarım politikalarının iklim uyumluluğunun yetersiz kaldığını gösterir (IFPRI, 2025).

Literatürde AI'nin tarım politikalarındaki yeri giderek belirginleşmektedir. Risk boyutu öncelikle enerji talebiyle ilişkilidir. State of Climate Action ve World Bank raporları, AI veri merkezlerinin elektrik talebinin doğal gaz fiyatlarını ve dolayısıyla gübre üretim maliyetlerini artırabileceğini belirtir (Systems Change Lab v.d., 2025; WB, 2025). Bu etki, özellikle küçük çiftçiler ve arazi restorasyonu çabaları için olumsuz sonuçlar doğurabilir.

Fırsatlar ise daha geniştir. FAO, AI destekli hassas tarım araçlarının toprak analizi, değişken oranlı uygulama ve verim tahmininde kullanılabileceğini vurgular (FAO, 2025). OECD, AI'nin karbon ayak izi hesaplaması ve politika modellemesinde etkili olabileceğini belirtir (OECD, 2025). IFPRI, değer zincirlerinde AI'nin izlenebilirlik, israf azaltımı ve pazar erişimi sağladığını gösterir (IFPRI, 2025). UNEP ise AI'nin emisyon senaryo modellemesi ve erken uyarı sistemlerinde kritik rol oynayabileceğini ifade eder (UNEP, 2025).

Literatürün genel değerlendirmesi, AI'nin "çift yönlü" (dual-use) bir teknoloji olduğudur: enerji yoğunluğu risk yaratırken, optimizasyon ve öngörü kapasitesi fırsat sunar. Bu ikilemin çözümü politika tasarımında yatmaktadır.

Raporlar, dönüşüm ihtiyacını ortaklaşa vurgular. OECD, destek reformunun (distorsiyon yaratan desteklerden uzaklaşma) şart olduğunu belirtir (OECD, 2025). FAO, ölçek duyarlı politikaları ve dijital kapsayıcılığı ön plana çıkarır (FAO, 2025). IFPRI, cinsiyet eşitliği ve inovasyon sistemlerinin güçlendirilmesini savunur (IFPRI, 2025). State of Climate Action ve UNEP ise acil eylem çağrısı yapar: gecikme, overshoot'u artırır ve CDR bağımlılığını yükseltir (Systems Change Lab v.d., 2025; UNEP, 2025). Dünya Bankası ise piyasa temelli yaklaşımların (ticaret, fiyat sinyalleri) AI entegrasyonuyla güçlendirilmesi gerektiğini ima eder (WB, 2025).

Mevcut literatür, krizin boyutlarını ve AI'nin potansiyelini güçlü biçimde ortaya koymaktadır. Ancak raporlar arasında sistematik bir sentez ve özellikle AI'nin tarım politikalarına entegrasyonuna dair bütüncül bir çerçeve eksiktir. Bu makale, bir önceki bölümde önerilen kavramsal modelle bu boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır. Literatür, AI destekli tarım politikalarının hem ekonomik verimliliği hem çevresel sürdürülebilirliği hem de sosyal adaleti aynı anda hedefleyebileceğini göstermektedir; ancak bu potansiyelin gerçekleşmesi, bilinçli politika tasarımı, uluslararası işbirliği ve adil geçiş stratejilerine bağlıdır.

4. YÖNTEM

Bu çalışma, nitel bir sentez analizi (qualitative synthesis analysis) yaklaşımıyla hazırlanmıştır. Amaç, 2025 yılında yayımlanan yedi temel uluslararası raporu disiplinlerarası bir perspektiften bütüncül olarak değerlendirmek ve yapay zekânın küresel tarım politikalarındaki rolünü belirlemektir. Çalışma, betimsel, karşılaştırmalı ve normatif unsurları bir arada barındıran bir politika analizi niteliğindedir.

4.1. Veri Kaynakları ve Seçimi

Araştırmanın temel veri kaynakları şunlardır:

- Dünya Bankası Commodity Markets Outlook (Nisan 2025 ve Ekim 2025)
- FAO The State of Food and Agriculture 2025
- IFPRI Global Food Policy Report 2025
- OECD Agricultural Policy Monitoring and Evaluation 2025
- State of Climate Action 2025 (Systems Change Lab)
- UNEP Emissions Gap Report 2025

Bu raporlar, 2025'in en yetkin ve güncel uluslararası değerlendirmelerini temsil etmektedir. Seçim kriterleri şunlardır: (1) Küresel kapsam, (2) Tarım, arazi kullanımı, iklim değişikliği ve politika boyutlarını kapsama, (3) Emisyon, ticaret, arazi bozulması ve inovasyon gibi kesişen temaları içerme.

4.2. Veri Analizi

Çalışmada temalı içerik analizi (thematic content analysis) kullanılmıştır (Braun & Clarke, 2006). Raporlar şu adımlarla incelenmiştir:

1. **İlk Okuma ve Kodlama:** Her rapor ayrı ayrı okunarak ana temalar (ekonomik baskılar, arazi ve iklim, politika çerçeveleri, inovasyon ve teknoloji) belirlenmiştir.
2. **Karşılaştırmalı Matris Oluşturma:** Raporlar arasında ortak ve çelişen bulgular, bir matris yardımıyla karşılaştırılmıştır.

3. **Yapay Zekâ Odaklı Sentez:** Her raporda AI ile dolaylı veya doğrudan ilişkili unsurlar (enerji talebi, hassas tarım, modelleme, karar destek sistemleri) özel olarak kodlanmıştır.

4. **Normatif Değerlendirme:** Bulgular, Paris Anlaşması hedefleri, Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları (özellikle 2, 13 ve 15) ve adil geçiş ilkeleri çerçevesinde yorumlanmıştır.

4.3. Sınırlılıklar

Analiz, raporların 2025 Eylül-Ekim dönemine kadar olan verilerini esas almaktadır. UNEP raporunda belirtilen ABD'nin Paris Anlaşması'ndan çekilme süreci de dikkate alınmıştır. Çalışma, raporların sağladığı ikincil verilere dayanmakta, birincil saha çalışması içermemektedir. Bu durum, genel geçerlik açısından güçlü bir temel sunmakla birlikte, ülke bazında derinlemesine vaka analizleri için sınırlılık yaratmaktadır. AI'nin tarım politikalarına entegrasyonu, raporlarda dolaylı olarak ele alındığı için sentez aşamasında yorumlayıcı bir yaklaşım benimsenmiştir. Bu yorumlar, raporların bulgularına sadık kalınarak yapılmıştır.

4.4. Geçerlilik ve Güvenilirlik

- **Triangülasyon:** Bulgular, birden fazla raporun kesişim noktalarıyla doğrulanmıştır.
- **Şeffaflık:** Kullanılan alıntılar ve sentezler, orijinal rapor sayfalarına atıfla belirtilmiştir.
- **Tarafsızlık:** Analiz, raporların kendi bulgularına dayandırılmış, dışsal yorumlar minimum düzeyde tutulmuştur.

Bu yöntem, mevcut literatürdeki sentez boşluğunu doldurmayı ve yapay zekânın tarım politikalarındaki stratejik rolünü netleştirmeyi hedeflemektedir. Sonraki bölümlerde bu yöntemle elde edilen bulgular sunulacaktır.

5. BULGULAR VE YORUM

Bu bölümde, yedi raporun senteziyle elde edilen ana bulgular sunulmakta ve yapay zekânın küresel tarım politikalarındaki rolü yorumlanmaktadır. Bulgular dört ana temada gruplanmıştır: ekonomik ve piyasa dinamikleri, arazi ve iklim krizi, politika ve yönetişim boşlukları ile AI'nin çift yönlü etkisi.

5.1. Ekonomik ve Piyasa Dinamikleri

Dünya Bankası raporları, 2025'te tarımsal emtia fiyatlarında genel bir düşüş öngörülmesine rağmen, gübre ve enerji girdilerindeki maliyet artışının çiftçi kar marjlarını ciddi şekilde daralttığını ortaya koymaktadır (WB, 2025). Özellikle gübre fiyatlarındaki %7-21'lik artış, enerji yoğun üretim süreçlerinden kaynaklanmakta ve AI'nin veri merkezi talebiyle daha da belirginleşebilmektedir. OECD, tarımsal desteklerin (PSE/CSE) nominal olarak yüksek olmasına rağmen çevre ve iklim hedefleriyle uyumunun yetersiz kaldığını vurgular (OECD, 2025). Ticaret kısıtlamaları, özellikle soya, kahve ve tahıl piyasalarında arz zincirlerini

bozmakta ve gıda fiyatlarında volatiliteyi artırmaktadır. Bu bulgular, tarımın klasik "fiyat sıkışması" (cost-price squeeze) sorunuyla karşı karşıya olduğunu gösterir. AI burada paradoksal bir rol oynar: bir yandan enerji talebiyle maliyeti artırırken, diğer yandan hassas tarım ve tedarik zinciri optimizasyonuyla verimliliği yükseltme potansiyeli taşır.

5.2. Arazi Kullanımı, Bozulma ve İklim Krizinin Birleşimi

FAO, arazi bozulmasının 1,7 milyar insanı etkilediğini ve küçük ölçekli çiftliklerin (%85) sadece %9'luk araziyi kontrol ettiğini belirtir (FAO, 2025). State of Climate Action 2025 ve UNEP Emissions Gap Report 2025, ormansızlaşma ve arazi kullanımı emisyonlarının kritik olduğunu vurgular. 2024'te küresel GHG emisyonları 57,7 $GtCO_2e$'ye ulaşmış, LULUCF emisyonlarındaki artış toplam artışın %53'ünü açıklamıştır (UNEP, 2025; Systems Change Lab v.d., 2025). Hiçbir iklim göstergesi 2030 hedeflerinde değildir; ormansızlaşma azaltımı dokuz kat, kömürden çıkış on kat hızlandırılmalıdır. Arazi krizi, iklim kriziyle iç içe geçmiş durumdadır. Bu durum restorasyonun aciliyetini artırırken, AI'nin uydu görüntüleme, toprak analizi ve restorasyon modellemesiyle büyük katkı sağlayabileceğini gösterir. Ancak AI'nin enerji talebi, restorasyon çabalarını dolaylı olarak engelleyebilir.

5.3. Politika ve Yönetişim Boşlukları

IFPRI, politika tarihinin Yeşil Devrim'den dijital çağa geçişte yetersiz kaldığını vurgular (IFPRI, 2025). OECD, destek reformunun şart olduğunu, ancak mevcut PSE'lerin distorsiyon yarattığını belirtir (OECD, 2025). UNEP, yeni NDC'lerin emisyon boşluğunu yeterince daraltamadığını, 2030'da 2°C yolu için 12 $GtCO_2e$, 1,5°C yolu için 20 $GtCO_2e$ boşluk kaldığını gösterir (UNEP, 2025). State of Climate Action, finansman ve teknolojik CDR'nin hedeflerin çok gerisinde olduğunu ekler (Systems Change Lab v.d., 2025). Politika boşlukları, geleneksel araçların yetersizliğini kanıtlamaktadır. AI, karar destek sistemleri, senaryo modellemesi ve izlenebilirlik araçlarıyla bu boşlukları doldurma potansiyeline sahiptir. Ancak bu, ancak kapsayıcı ve ölçek duyarlı bir yaklaşımla mümkündür.

5.4. Yapay Zekânın Çift Yönlü Etkisi: Riskler ve Fırsatlar

Riskler: State of Climate Action ve World Bank, AI veri merkezlerinin enerji talebinin doğal gaz ve kömür kullanımını artırabileceğini, dolayısıyla gübre maliyetlerini yükseltebileceğini belirtir (Systems Change Lab v.d., 2025; WB, 2025). Bu etki, özellikle gelişmekte olan ülkelerde küçük çiftçileri dezavantajlı konuma düşürebilir.

Fırsatlar: FAO, AI destekli hassas tarımın toprak analizi, değişken oranlı gübreleme ve verim tahmininde kullanılabileceğini vurgular (FAO, 2025). OECD, karbon ayak izi hesaplaması ve politika modellemesinde AI'nin etkili olabileceğini belirtir (OECD, 2025). IFPRI, değer

zincirlerinde izlenebilirlik ve israf azaltımını (IFPRI, 2025); UNEP ise emisyon senaryo modellemesi ve erken uyarı sistemlerini vurgular (UNEP, 2025). State of Climate Action, AI'nin restorasyon modellemesinde rol oynayabileceğini ekler.

AI'nin çift yönlü etkisi, literatürün en kritik bulgusudur. Riskleri yönetmek için enerji verimliliği ve yenilenebilir geçiş şarttır. Fırsatları realize etmek ise veri erişimi, dijital okuryazarlık ve etik çerçevelerle mümkündür. Genel olarak, AI'nin tarım politikalarında "oyun değiştirici" (game changer) olabilmesi için proaktif politika tasarımı gerekmektedir.

Yedi raporun sentezi, küresel tarım sisteminin yapısal bir dönüşüm eşiğinde olduğunu göstermektedir. Ekonomik baskılar, arazi bozulması, iklim boşlukları ve politika yetersizlikleri bir arada, geleneksel yaklaşımların sınırlarını aşmıştır. Yapay zekâ, bu krizleri derinleştirebileceği gibi, verimlilik, restorasyon ve iklim uyumu açısından büyük bir sıçrama da sağlayabilir. Ancak bu potansiyel, ancak bilinçli, adil ve çok aktörlü bir politika çerçevesiyle gerçekleşebilir. Bulgular, AI'nin tarım politikalarına entegrasyonunun kaçınılmaz olduğunu, ancak bu entegrasyonun riskleri minimize edecek ve fırsatları maksimize edecek şekilde tasarlanması gerektiğini ortaya koymaktadır.

6. TARTIŞMA, POLİTİKA ÖNERİLERİ VE SONUÇ

6.1. Tartışma

Yedi raporun sentezi, küresel tarım sisteminin yapısal bir kırılma noktasında olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Ekonomik baskılar (WB, 2025), arazi bozulması (FAO, 2025), emisyon boşlukları (UNEP, 2025; Systems Change Lab v.d., 2025), politika yetersizlikleri (OECD, 2025; IFPRI, 2025) ve iklim aciliyeti bir arada, geleneksel tarım politikalarının sınırlarını aşmıştır. Bu kriz, sadece üretim ve verimlilik sorunu değil, aynı zamanda adalet, dayanıklılık ve sürdürülebilirlik sorunudur.

Yapay zekâ bu tabloda çift yönlü bir rol oynamaktadır. Bir yandan veri merkezlerinin enerji talebi, fosil yakıt bağımlılığını ve gübre maliyetlerini artırarak küçük çiftçileri ve restorasyon çabalarını olumsuz etkileyebilir (Systems Change Lab v.d., 2025; WB, 2025). Diğer yandan, hassas tarım, arazi modellemesi, GHG ölçümü, iklim tahmini ve politika simülasyonu gibi alanlarda dönüştürücü bir potansiyel sunmaktadır (FAO, 2025; OECD, 2025; IFPRI, 2025; UNEP, 2025).

Tartışmanın temel sorusu şudur: AI, tarım politikalarını nasıl dönüştürebilir ve bu dönüşüm nasıl adil ve sürdürülebilir olabilir? Raporlar, AI'nin kendiliğinden olumlu sonuçlar üretmeyeceğini, aksine bilinçli politika tasarımı gerektirdiğini gösterir. Ölçek duyarlılık (smallholder vs. büyük işletme), dijital uçurumun kapanması, veri egemenliği ve etik kullanım

gibi konular kritik öneme sahiptir. Ayrıca, AI'nin enerji talebinin yenilenebilir enerji geçişiyle dengelenmesi şarttır.

Bulgular, Paris Anlaşması'nın 1,5°C hedefinin giderek zorlaştığını, ancak hâlâ ulaşılabilir olduğunu vurgular. Gecikme, overshoot'u artırır ve CDR bağımlılığını yükseltir (UNEP, 2025). Bu nedenle, AI destekli politikalar hem emisyon azaltımını hızlandırmalı hem de adaptasyonu güçlendirmelidir. Bu bulgular ışığında aşağıdaki politika önerileri sunulmaktadır:

6.2. Politika Önerileri

1. **AI Destekli Arazi ve İklim Yönetimi Stratejisi:** FAO'nun restorasyon hiyerarşisi ile UNEP ve State of Climate Action'ın emisyon hedeflerini birleştiren ulusal AI-tabanlı arazi yönetim platformları kurulmalıdır. Uydu görüntüleme, makine öğrenmesi ve gerçek zamanlı izleme ile bozulma tespiti ve restorasyon öncelikleri belirlenmelidir.

2. **Ölçek Duyarlı Dijital Dönüşüm:** Küçük çiftçilere yönelik açık kaynak AI araçları, veri paylaşımı ve dijital okuryazarlık programları geliştirilmelidir (FAO, 2025; IFPRI, 2025). Büyük veri egemenliği korunarak, küçük ölçekli işletmelerin AI'den yararlanmasını sağlayacak kamu-özel iş birlikleri teşvik edilmelidir.

3. **Enerji-Tarım-AI Entegrasyonu:** AI veri merkezlerinin yenilenebilir enerjiyle çalışması zorunlu kılınmalı ve tarım bölgelerinde mikro-şebeke projeleri desteklenmelidir (WB, 2025; Systems Change Lab v.d., 2025). Gübre üretiminde yeşil hidrojen ve AI optimizasyonu teşvik edilmelidir.

4. **Ticaret-Çevre-AI Uyumlu Politikalar:** OECD'nin ticaret-çevre nexus'u, AI destekli sürdürülebilirlik standartları ve karbon ayak izi izleme sistemleriyle güçlendirilmelidir. Ticaret anlaşmalarına AI tabanlı izlenebilirlik şartları eklenmelidir.

5. **Destek Reformu ve Finansman Mekanizmaları:** Distorsiyon yaratan destekler (OECD, 2025) aşamalı olarak azaltılmalı, AI ve dijital tarım yatırımlarına yönlendirilmelidir. UNEP'in vurguladığı finansman boşluğu, uluslararası iklim fonları ve yeşil tahvillerle kapatılmalıdır.

6. **Kapsayıcı ve Etik Çerçeve:** Cinsiyet eşitliği (IFPRI, 2025), veri gizliliği ve etik AI kullanımı ulusal ve uluslararası düzenlemelerle güvence altına alınmalıdır. Gelişmekte olan ülkeler için teknoloji transferi ve kapasite geliştirme mekanizmaları oluşturulmalıdır.

6.3. Sonuç

2025 raporları, küresel tarım sisteminin derin bir dönüşüm ihtiyacı içinde olduğunu net bir şekilde ortaya koymuştur. Ekonomik baskılar, arazi krizi, iklim aciliyeti ve politika boşlukları, geleneksel yaklaşımların yetersiz kaldığını göstermektedir. Yapay zekâ, bu tabloda hem risk

hem de büyük bir fırsat olarak durmaktadır. Enerji talebiyle mevcut sorunları derinleştirebileceği gibi, hassas tarım, restorasyon, emisyon yönetimi ve politika modellemesiyle sistemik bir sıçrama da sağlayabilir.

Bu makale, önerilen bütünleşik kavramsal model ile yedi raporun sentezini birleştirerek AI'nin tarım politikalarındaki stratejik rolünü vurgulamıştır. Bulgular, AI'nin kendiliğinden olumlu sonuçlar üretmeyeceğini, aksine proaktif, adil ve bütüncül politika tasarımı gerektirdiğini göstermektedir. Geleceğin tarım politikaları, veri odaklı, ölçek duyarlı, ticaret-çevre uyumlu, enerji dengeli ve kapsayıcı olmalıdır.

Paris Anlaşması'nın onuncu yılında, zaman daralmaktadır. Gecikme, 1,5°C hedefini kalıcı olarak riske atmakta ve gelecek nesillere daha yüksek maliyetler bırakmaktadır. Yapay zekâ destekli akıllı tarım politikaları hem gıda güvenliğini güçlendirebilir hem iklim hedeflerine katkı sağlayabilir hem de sürdürülebilir kalkınmayı hızlandırabilir. Ancak bu potansiyelin gerçekleşmesi, uluslararası işbirliği, siyasi irade ve etik sorumlulukla mümkündür.

Sonuç olarak, "Yapay Zekâ Çağında Küresel Tarım Politikaları", sadece teknolojik bir mesele değil, aynı zamanda ahlaki ve stratejik bir zorunluluktur. Raporların ortak mesajı açıktır: harekete geçme zamanı gelmiştir.

KAYNAKÇA

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, *3*(2), 77-101.

Bronson, K., & Knezevic, I. (2016). Big data in food and agriculture. *Big Data & Society*, *3*(1), 1-5. https://doi.org/10.1177/2053951716648174

European Commission. (2019). *Ethics guidelines for trustworthy AI*. High-Level Expert Group on Artificial Intelligence.

European Commission. (2020). *Competence Centre on Foresight and Policy Intelligence*.

Floridi, L., & Cowls, J. (2019). A unified framework of five principles for AI in society. *Harvard Data Science Review*, *1*, 2-15. https://doi.org/10.1162/99608f92.8cd550d1

Food and Agriculture Organization. (2013). *Climate-smart agriculture sourcebook*.

Food and Agriculture Organization. (2025). *The State of Food and Agriculture 2025: Addressing land degradation across landholding scales*.

Gebbers, R., & Adamchuk, V. I. (2010). Precision agriculture and food security. *Science*, *327*(5967), 828-831. https://doi.org/10.1126/science.1183899

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). *Climate change 2023: Synthesis report*.

International Food Policy Research Institute. (2025). *Global food policy report 2025*.

Liakos, K. G., Busato, P., Moshou, D., Pearson, S., & Bochtis, D. (2018). Machine learning in agriculture: A review. *Sensors*, *18*(8), 2674. https://doi.org/10.3390/s18082674

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2019). *Recommendation of the Council on Artificial Intelligence*.

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2020). *Strategic foresight for better policies*.

Organisation for Economic Co-operation and Development. (2025). *Agricultural policy monitoring and evaluation 2025*.

Rose, D. C., & Chilvers, J. (2018). Agriculture 4.0: Broadening responsible innovation in an era of smart farming. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *2*, 87. https://doi.org/10.3389/fsufs.2018.00087

Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson.

Systems Change Lab, Bezos Earth Fund, Climate Analytics, ClimateWorks Foundation, & World Resources Institute. (2025). *State of climate action 2025*. State of Climate Action.
United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*.
United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. (2021). *Recommendation on the ethics of artificial intelligence*.
United Nations Environment Programme. (2025). *Emissions gap report 2025: Off target - Continued collective inaction puts global temperature goal at risk*.
Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M.-J. (2017). Big data in smart farming: A review. *Agricultural Systems*, *153*, 69-80. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023
World Bank. (2025). *Commodity markets outlook (April & October editions)*.

ÖĞRETMEN EĞİTİMİNDE BİR YAPAY ZEKÂ OKURYAZARLIĞI MODÜLÜNÜN TASARIMI: TASARIM KARARLARI VE UYGULAMADAN ÇIKARIMLAR

Dr. Öğr. Üyesi Ahmet DURGUNGÖZ
Mersin Üniversitesi, Eğitim Fakültesi
adurgungoz@mersin.edu.tr
ORCID: 0000-0001-6666-2232

ÖZET

Yapay zekâ okuryazarlığı, öğretmen eğitimi programlarında çoğunlukla tek oturumluk ve araç tanıtımına dayalı bir eklenti olarak yer almaktadır. Bu çalışma, bir araştırmanın etki bulgularını değil, o araştırmanın dayandığı öğretim tasarımını konu edinmekte; üstbiliş temelli bir yapay zekâ okuryazarlığı modülünün nasıl kurgulandığını, hangi çerçevelerden beslendiğini ve uygulamada nelerin işe yarayıp nelerin eksik kaldığını aktarmayı amaçlamaktadır.

Modül, Türkiye'de bir eğitim fakültesinde yürütülen Bilgi Teknolojileri dersi kapsamında üç yüz yüze oturum olarak tasarlanmıştır. Tasarım üç kaynaktan beslenmiştir: UNESCO'nun (2023) üretken yapay zekâ rehberi, White ve arkadaşlarının (2023) istem örüntüsü kataloğu ve Bloom taksonomisi. Her oturum üstbilişsel döngüye göre kurgulanmıştır: istemin açıklık ve bağlam yeterliği açısından sorgulanması (farkındalık), yanıtın doğruluk ve ilgililik açısından izlenmesi (izleme) ve istemin buna göre yeniden düzenlenmesi (düzenleme). Etkinlikler hatırlama ve anlama düzeyinden çözümleme, değerlendirme ve yaratma düzeyine doğru sıralanmış, taksonomiye ayrıca yapay zekâ ile diyalog basamağı eklenmiştir.

Tasarım, 41 öğretmen adayının sekiz hafta boyunca kendi sınav hazırlığı ve projelerinde üretken yapay zekâ kullandığı gerçek bir bağlamda uygulanmış; süreç etkileşim kayıtları, yazılı yansıtmalar, açık uçlu anket ve görüşmelerle izlenmiştir. Uygulama, tasarımın güçlü yönleri kadar sınırlarını da görünür kılmıştır. Katılımcılar hatalı ya da uydurma içeriği fark edip düzeltme ve yanıtı kendi düzeylerine uyarlama davranışları geliştirmiş; buna karşılık görev koşullarını ve öğrenen profilini isteme aktarmakta, yinelemeli çalışmayı sürdürmekte ve Türkçe yanıtların niteliğiyle baş etmekte zorlanmıştır.

Bu deneyimden hareketle yapay zekâ okuryazarlığının, bağımsız bir teknoloji etkinliği ya da seçmeli modül olarak yürütülmesinin yanı sıra öğretim tasarımı, ölçme ve alan eğitimi derslerine gömülü biçimde de ele alınması; modüle bağlam kurma alıştırmalarının, çok dilli istem stratejilerinin ve akademik dürüstlük tartışmalarının eklenmesi önerilmektedir. Bildiride, başka programlara uyarlanabilecek bir modül şeması ve oturum planı sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zekâ Okuryazarlığı, Ders Tasarımı, Üstbiliş, Öğretmen Eğitimi, Bloom Taksonomisi

ASSESSMENT OF FLIGHT TIME BUDGET AND COVERAGE EFFICIENCY IN UNMANNED AERIAL VEHICLE IMAGE COLLECTION STUDIES

Fadiş Rabia YILDIRIM
Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Aviation Electrical and Electronics, Kayseri, Türkiye
ORCID: 0000-0003-4168-101X
Fatma YILDIRIM DALKIRAN
Erciyes University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Aviation Electrical and Electronics, Kayseri, Türkiye
ORCID: 0000-0001-8663-241X
Mehmet KONAR
Erciyes University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Aviation Electrical and Electronics, Kayseri, Türkiye
ORCID: 0000-0002-9317-1196

ABSTRACT

Planning for unmanned aerial vehicle image collection is usually carried out in terms of the area to be covered and the targeted ground sampling distance, while how the flight was executed is rarely examined afterwards. This study retrospectively analyses the flight records of a series flown at nominal altitudes between 5 and 180 m for an agricultural image dataset. The analysis rests not on telemetry but on per-frame global navigation satellite system (GNSS) positions and exposure timestamps, from which ground speed, time spent airborne and coverage rate were reconstructed for 24 flight segments. Of the 128.3 minutes of total flight time, 21.8% was spent below the 0.5 m/s ground-speed threshold adopted as the operational definition of waiting. The distribution of flight time across altitudes diverges from the distribution of ground covered. Although 48.0% of the time was spent in the 5 to 10 m band, that band produced only 4.1% of the 69.6 hectares covered, whereas the 120 to 180 m band consumed 5.4% of the time and delivered 34.2% of the ground, a coverage-rate ratio of 74 between the two extreme bands. The difference has two components acting in the same direction, since swath width grows with altitude while median ground speed also rises from 0.98 m/s to 3.55 m/s. The findings quantify the endurance cost of an altitude-stratified design and show that low-altitude samples should be budgeted in flight minutes rather than in frame counts.

Keywords: Mission planning, Unmanned aerial vehicle, Coverage efficiency, Flight log analysis, Flight time budget

1. INTRODUCTION

Image collection with unmanned aerial vehicles (UAV) has become a routine component of agricultural remote sensing (Tsouros et al., 2019; Yıldırım and Yıldırım Dalkıran, 2026). Although planning is subject to many constraints, the two quantities that fix the flight geometry

are the area to be covered and the targeted ground sampling distance. The coverage path planning literature is likewise shaped largely around the search for the shortest path or the lowest energy under the same constraints (Di Franco and Buttazzo, 2016; Cabreira et al., 2019; Çinar et al., 2025), and work on optimising flight performance is treated within the same constraint set (Konar and Arık Hatipoğlu, 2024; Karaburun et al., 2025).

Against this maturity on the planning side, the executed flight itself usually remains unexamined. Endurance is one of the fundamental constraints on small UAVs, and the cost of a data collection study is measured not in frame counts but in battery and flight time (Konar et al., 2026). Studies on flight parameters compare planned values (Mesas-Carrascosa et al., 2015; Peña et al., 2015; Njane et al., 2023) but do not analyse the time budget of the executed flight. This gap matters in stratified designs, where the same target is imaged at several altitudes (Mesas-Carrascosa et al., 2015; Njane et al., 2023). Collecting a similar number of frames from every band appears consistent at first sight, yet frame count does not reflect flight cost. Under a fixed field of view the frame footprint grows with the square of altitude, so the same number of frames takes markedly longer to collect at low altitude.

The aim of this study is therefore to determine that cost quantitatively by retrospectively analysing the records of a real flight series. Its original contribution is to derive the time budget and the coverage efficiency directly from executed flight records rather than comparing planned parameters, and to quantify the endurance cost of a stratified design through these measurements.

2. MATERIAL AND METHOD

An assessment of how a flight was executed can only be made through quantities that can be reconstructed from the records left behind.

2.1. Design of the Flight Series and Data Source

The flights examined were performed with an Autel Robotics EVO II Pro platform over fields in the Adana, Konya and Kayseri regions. The camera carries a 20 megapixel (MP) one-inch complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) sensor and frames are recorded at 4000 × 3000 pixels. The gimbal was held at a fixed near-nadir tilt and the lines were planned for 80% overlap in both directions, so that the footprint scaling on which the coverage calculation rests follows from the fixed camera orientation. The scope is limited to the cotton, lavender and sunflower classes, imaged at ten nominal altitudes between 5 and 180 m between August 2024 and July 2025.

The unit of record is the frame, and GNSS position data and an exposure timestamp are available for every frame. Flight segments were defined by separating exposures with gaps longer than 120 seconds, a threshold that sits markedly above the observed frame intervals while remaining short enough to separate interruptions such as landing and battery replacement. Twenty-seven segments were obtained within scope, three of which held fewer than five frames and were excluded, leaving 24.

A 2:1 subsampling was applied to the position and time records, that is, one of every two frames was used. Because timestamps are unaffected by this, the duration calculations reflect the executed flight directly, while frame counts are scaled to the whole series. In the speed calculation the interval doubles, so short-lived variations are smoothed.

2.2. Reconstruction of the Flight Kinematics

For each flight segment the ground distance between consecutive frames was computed from the position records and the elapsed time from the timestamps, the ratio of the two giving the interval ground speed. Intervals in which the ground speed fell below 0.5 m/s were classified as waiting. The threshold is an operational definition and lies above the apparent speed produced by sub-metre GNSS noise over a typical frame interval, while remaining below the lowest band median speed of the series, 0.98 m/s.

The effect of the threshold was tested by recomputing the same kinematics over a range of values. The median speed of the 1431 frame intervals is 2.39 m/s, and the waiting share is 7.8% at 0.2 m/s, 21.8% at 0.5 m/s and 34.9% at 1.0 m/s. Although the threshold affects the numerical value, the conclusion that about one fifth of the flight time produced no advance holds across the whole plausible range.

Coverage rate is defined as the product of swath width and ground speed. The footprint calibration used for the swath width was taken from a study the authors conducted on the same flight series, which is currently under review. The measurement rests on determining the pixel displacement between consecutive frame pairs by phase correlation and ratioing that displacement to the ground displacement computed from the GNSS positions of the same pair, so that the frame footprint is measured without any assumption about sensor size. For groups without calibration the footprint was estimated from the median of the footprint-to-altitude ratio over the 24 measured class and altitude groups. That median is 1.179, meaning that 1.179 m of swath width falls to every metre of altitude. The coefficient of variation of the ratio across groups is 18%.

The fixed-ratio assumption carries two limitations. Since no measured calibration is available for sunflower, all frames of that class were estimated with the fixed ratio. The share of frames with measured calibration is also unequal across bands, standing at 58% in the 5 to 25 m bands and between 83% and 91% at 30 m and above. The resulting uncertainty therefore weighs more heavily on the low bands, and the comparison between bands is not wholly independent of that share.

Covered ground is the product of the time spent in each band and the median coverage rate of that band. Because the estimate does not remove repeatedly overflown areas, the values constitute an upper bound. The tendency to overfly repeatedly was assumed to be similar across all bands, an assumption not tested against the data.

3. RESEARCH AND FINDINGS

Flight cost was examined along two axes. The first is the division of flight time between motion that produces advance and waiting in the air, and the second is the distribution of time and of covered ground across altitude bands.

3.1. Division of Flight Time into Motion and Waiting

The twenty-four segments lasted 128.3 minutes in total and produced 2910 frames, which corresponds to 22.7 frames per minute. Of that time, 28.0 minutes, or 21.8%, was spent waiting, so more than one fifth of the series was consumed while the aircraft was airborne but covering no new ground.

Waiting time is not evenly distributed across crops (Table 1). In the cotton flights the waiting share stands at 29.0%, higher than for the other two crops, although with only three crops the difference was not tested statistically. The ordering reverses for median ground speed, whose highest value of 3.27 m/s is seen for lavender. In two of the twenty-four segments, waiting makes up more than half of the duration.

Table 1. Flight time budget by crop.

Crop	Segment	Frame	Time (min)	Waiting (min)	Waiting share	Speed (m/s)	Frame/min
Cotton	10	1476	49.3	14.3	29.0%	2.44	30.0
Sunflower	8	772	49.6	8.7	17.6%	2.32	15.6
Lavender	6	662	29.5	5.0	16.9%	3.27	22.5

3.2. Divergence of Flight Time and Covered Ground across Altitude Bands

The distribution of the time budget across altitude bands reveals the principal finding of the study, in that flight time and covered ground diverge (Table 2). Of the time, 48.0% was spent in the 5 to 10 m band, which at a coverage rate of 0.046 ha/min produced only 4.1% of the 69.6

hectares covered. The 120 to 180 m band took 5.4% of the time and delivered 34.2% of the ground. The two distributions intersect at the 30 m band and diverge in opposite directions below and above it.

Table 2. Flight time and covered ground by altitude band.

Altitude band	Frame	Frame share	Time (min)	Time share	Speed (m/s)	Footprint (m)	Coverage (ha/min)	Ground share
5-10 m	1694	58.0%	61.6	48.0%	0.98	10.6	0.046	4.1%
15-25 m	374	12.8%	20.1	15.7%	2.44	23.8	0.355	10.3%
30 m	472	16.2%	19.8	15.4%	2.51	30.0	0.453	12.9%
60-90 m	286	9.8%	19.8	15.5%	2.96	81.5	1.348	38.5%
120-180 m	94	3.2%	7.0	5.4%	3.55	161.8	3.425	34.2%

The coverage rate differs by a factor of 74 between the two extreme bands. The difference has two components acting in the same direction. Swath width rises in proportion to altitude from 10.6 m to 161.8 m, and median ground speed also increases from 0.98 m/s to 3.55 m/s (Figure 1). Segments at low altitude are both slow and waiting-heavy. Although 58.0% of the frames were collected in that band, a frame there carries about one hundredth of the ground of a frame in the highest band.

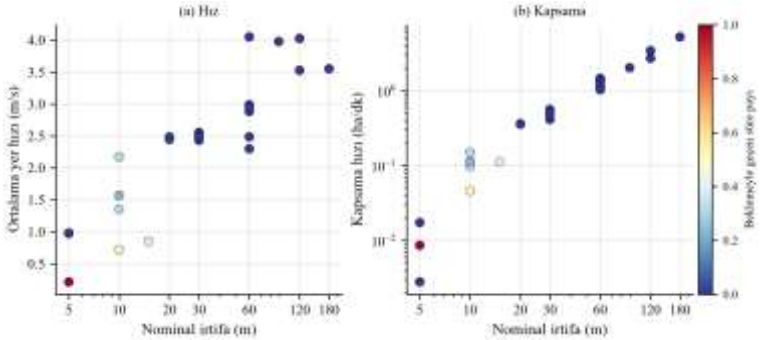


Figure 1. Variation of ground speed and coverage rate with nominal altitude. The colour scale shows the share of a segment's duration spent waiting.

3.3. Segment Structure of the Flight Series

The source of the waiting share becomes clear once the segment structure of the series is examined. The flights were executed not as continuous lines but as short segments. The median duration per segment is 253.5 seconds and the median frame count 54. The difference in scale between segments is wide. The shortest segment lasted 25 seconds and the longest 1200 seconds, while frame counts ranged from 10 to 812. Even the longest segment makes up only 15.6% of the total duration. This structure points to a manually executed collection pattern rather than a planned coverage line and is consistent with the waiting finding.

3.4. Implications of the Findings for Mission Planning

The findings suggest two criteria for an altitude-stratified design. The first is that layers should be budgeted by flight minutes rather than by frame count. In the series examined, most of the frames and about half of the time went to the low band, whereas the ground coverage obtained differs by more than a factor of ten between bands. The endurance cost of low-altitude samples should therefore be calculated separately at the planning stage.

The second criterion is that ground speed should be addressed separately on low-altitude flights, where the median speed remained at 0.98 m/s. While that speed is partly explained by motion blur and positioning accuracy, the concentration of the waiting share in the same band shows that part of the loss stems from execution. Planning low-altitude passes as short, predefined lines could produce the same frame count with fewer flight minutes.

4. CONCLUSION

This study retrospectively analysed the flight records of an agricultural UAV image collection series and quantified the flight cost of the collection work. Of the 128.3 minutes of total time, 21.8% was spent waiting, and the low band that took 48.0% of the time produced only 4.1% of the covered ground. The coverage rate differs by a factor of 74 between the two extreme bands. These results should not be read as indicating that the flights were executed incorrectly. The aim of the design was not to cover the widest area but to collect enough samples from every band. What the findings establish is that the endurance cost of such a design cannot be determined from frame counts. Low-altitude samples are a cheap resource per frame and an expensive one per flight minute.

The findings should be read within three limitations. Ground speed is derived from the positions and timestamps of consecutive frames, so variations shorter than the frame interval cannot be resolved. Covered ground is an upper bound that does not remove repeatedly overflown areas and rests on a fixed ratio for sunflower and the low bands, where no measured calibration is available. Finally, the findings belong to a single platform and a single flight series and should be reconfirmed under different aircraft, terrain and flight automation conditions. The waiting share in particular depends on whether the flight was executed manually or under a fully autonomous mission plan.

REFERENCES

Cabreira, T. M., Brisolara, L. B., & Ferreira Jr., P. R. (2019). Survey on coverage path planning with unmanned aerial vehicles. *Drones*, 3(1), 4. https://doi.org/10.3390/drones3010004

Çinar, H., Ignatyev, D., & Zolotas, A. (2025). A comprehensive review and future challenges of energy-aware path planning for small unmanned aerial vehicles. *The Aeronautical Journal*, 129(1336), 1468–1493. https://doi.org/10.1017/aer.2025.11

Di Franco, C., & Buttazzo, G. (2016). Coverage path planning for UAVs photogrammetry with energy and resolution constraints. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 83(3–4), 445–462. https://doi.org/10.1007/s10846-016-0348-x

Karaburun, N. N., Arık Hatipoğlu, S., & Konar, M. (2025). Aircraft takeoff speed prediction with machine learning: Parameter analysis and model development. *The Aeronautical Journal*, 129(1336), 1534–1549. https://doi.org/10.1017/aer.2024.164

Konar, M., & Arık Hatipoğlu, S. (2024). Maximisation the autonomous flight performance of unmanned helicopter using BSO algorithm. *The Aeronautical Journal*, 128(1329), 2656–2667. https://doi.org/10.1017/aer.2024.44

Konar, M., Arık Hatipoğlu, S., Erol, Ü., Çam, Ş., Tuna, S., & Fenerci, M. (2026). A comparative study of machine learning and deep learning models for state of charge and remaining useful life estimation on a rotary-wing UAV battery. *Drones*, 10(7), 549. https://doi.org/10.3390/drones10070549

Mesas-Carrascosa, F.-J., Torres-Sánchez, J., Clavero-Rumbao, I., García-Ferrer, A., Peña, J.-M., Borra-Serrano, I., & López-Granados, F. (2015). Assessing optimal flight parameters for generating accurate multispectral orthomosaicks by UAV to support site-specific crop management. *Remote Sensing*, 7(10), 12793–12814. https://doi.org/10.3390/rs71012793

Njane, S. N., Tsuda, S., van Marrewijk, B. M., Polder, G., Katayama, K., & Tsuji, H. (2023). Effect of varying UAV height on the precise estimation of potato crop growth. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1233349. https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1233349

Peña, J. M., Torres-Sánchez, J., Serrano-Pérez, A., de Castro, A. I., & López-Granados, F. (2015). Quantifying efficacy and limits of unmanned aerial vehicle (UAV) technology for weed seedling detection as affected by sensor resolution. *Sensors*, 15(3), 5609–5626. https://doi.org/10.3390/s150305609

Tsouros, D. C., Bibi, S., & Sarigiannidis, P. G. (2019). A review on UAV-based applications for precision agriculture. *Information*, 10(11), 349. https://doi.org/10.3390/info10110349

Yıldırım, F. R., & Yıldırım Dalkıran, F. (2026). Tarımda insansız hava araçlarının kullanımının incelenmesi. *ASES II. International Cappadocia Scientific Research Congress*, 20–27.

DEVLETİN İDEOLOJİK AYGITI OLARAK SOSYAL MEDYA: T.C. AİLE VE SOSYAL HİZMETLER BAKANLIĞI INSTAGRAM PAYLAŞIMLARININ ÇOK MODLU ELEŞTİREL SÖYLEM ANALİZİ

Arş. Gör. Burak ÖZDEMİR
Bahçeşehir University, Faculty of Communication, Department of Advertising, Beşiktaş, İstanbul,
ORCID ID: 0000-0002-2088-964X

ÖZET

Bu araştırma, T.C. Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı'nın resmî Instagram hesabından (@aaborgovtr) "#2025teNeYaptık" gönderi serisi kapsamında 29 Aralık 2025 – 1 Ocak 2026 tarihleri arasında paylaşılan 27 görseli çok modlu eleştirel söylem analizi yöntemiyle incelemektedir. Araştırma, Fairclough'un (1992, 1995) üç boyutlu eleştirel söylem analizi modelini ana omurga olarak benimsemekte; metin boyutuna Kress ve van Leeuwen'in (2006) görsel dilbilgisi kategorilerini, toplumsal pratik boyutuna ise Althusser'in (1971) ideolojik devlet aygıtları kuramını entegre eden özgün bir analitik çerçeve kullanmaktadır. Nitel tek durum çalışması olarak desenlenen araştırmada gönderilerin dilsel (sözcüksel tercihler, geçişlilik, kiplik) ve görsel (bilgi değeri, çerçeveleme, belirginlik, sembolik yapılar) düzeyleri sistematik biçimde kodlanmıştır. Bulgular, birinci çoğul kişi iyelik eki stratejisinin (%100) ve "Biz Büyük Bir Aileyiz" sloganının kolektif kimlik inşası ve çağırma mekanizması olarak işlediğini göstermektedir. Geçişlilik analizinde devlet tutarlı biçimde aktör, vatandaş ise hedef/yararlanan konumuna yerleştirilmekte; yüksek kesinlik kipliği ve olasılık ifadelerinin yokluğu (%0) söylemin monolojik yapısını pekiştirmektedir. Görsel düzeyde standartlaştırılmış şablon yapısı sistematik bir bilgi değeri dağılımı oluştururken, aile figürlerinin tamamının (%100) çekirdek aile modelini temsil etmesi ve alternatif aile formlarının hiçbir görselde yer almaması, normalleştirme ve dışlama mekanizmalarının görsel düzeydeki işleyişini ortaya koymaktadır. Araştırma, incelenen gönderi serisinin yalnızca kurumsal iletişim materyali olmadığını, Althusser'in terminolojisiyle ideolojik devlet aygıtının dijital platformdaki işleyişini somutlaştırdığını ileri sürmektedir. Bu mekanizmalar aracılığıyla veri setinde belirli bir aile modelinin idealleştirildiği, geleneksel cinsiyet rollerinin yeniden üretildiği ve alternatif aile temsillerine yer verilmediği gözlenmektedir.

Anahtar kelimeler: Eleştirel söylem analizi, ideolojik devlet aygıtları, çok modlu analiz, Instagram, devlet söylemi

SOCIAL MEDIA AS AN IDEOLOGICAL STATE APPARATUS: A MULTIMODAL CRITICAL DISCOURSE ANALYSIS OF THE INSTAGRAM POSTS OF THE MINISTRY OF FAMILY AND SOCIAL SERVICES OF TÜRKİYE

ABSTRACT

This study examines 27 visual posts shared between 29 December 2025 and 1 January 2026 under the "#2025teNeYaptık" series on the official Instagram account (@aaborgovtr) of the Republic of Türkiye Ministry of Family and Social Services, using multimodal critical discourse analysis. The research adopts Fairclough's (1992, 1995) three-dimensional model of critical discourse analysis as its main framework, integrating Kress and van Leeuwen's (2006) visual grammar categories at the textual level and Althusser's (1971) theory of ideological state apparatuses at the level of social practice. Designed as a qualitative single case study, the analysis systematically codes both the linguistic (lexical choices, transitivity, modality) and visual (information value, framing, salience, symbolic structures) levels of the posts. Findings show that the consistent use of first-person plural possessive markers (100%) and the slogan "We Are One Big Family" operate as mechanisms of collective identity construction and interpellation. Transitivity analysis reveals that the state is consistently positioned as actor while citizens are positioned as goal/beneficiary; high-certainty modality and the complete absence of expressions of probability (0%) reinforce the monologic structure of the discourse. At the visual level, the standardised template produces a systematic distribution of information value, while the fact that all family figures (100%) represent the nuclear family model and that no alternative family forms appear in any post demonstrates how normalisation and exclusion mechanisms operate visually. The study argues that the post series is not merely institutional communication material but concretises the functioning of the ideological state apparatus on a digital platform. Through these mechanisms, the dataset is observed to idealise a particular family model, to reproduce traditional gender roles, and to include no alternative family representations.

Keywords: Critical discourse analysis, ideological state apparatuses, multimodal analysis, Instagram, state discourse

TƏHSİLDƏ MODULLUQ

MODULARITY IN EDUCATION

Hidəyətovava Firəngiz Şahmurad qızı
Pedaqogika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
"İncəsənət və fiziki tərbiyə" fakültəsi
"Musiqi və onun tədrisi texnologiyası" kafedrası
Azərbaycan, Bakı şəhəri, Üzeyir Hacıbəyli küçəsi, 68
ORCİD İD: 0000-0002-2005-6090

XÜLASƏ

Məqalədə təhsildə modulluq, onun mahiyəti metodikası və texnologiyası araşdırılır. Burada qeyd olunur ki, bu texnologiyanın mahiyyəti orijinal kursun məzmununu peşəkar məqsədlərə və müvafiq müasir tələblərə uyğun olaraq qısa və tam bölmələrə düzgün və funksional olaraq bölməkdən ibarətdir. Sərişteyə əsaslanan yanaşmadan istifadə edərək və təlimin əmək xərclərini nəzərə alaraq, modulların istifadəsi təhsil proqramlarının təkmilləşdirilməsi və müxtəlif universitetlərdə tədris metodlarının əlçatan edilməsi üçün fundamental yanaşmadır. Məqalənin sonunda belə nəticəyə gəlinir ki, modul təhsil sistemi ümumilikdə təhsilə kifayət qədər müasir yanaşmadır. Bu sistemin əsas üstünlükləri onun çevikliyi, yaradıcılığı, məntiqi tamlığı, kompaktlığı və bir-birini əvəz edə bilməsidir.

Açar sözlər: təhsil, modul, sərişte, fərdi yanaşma, təlim prosesi

ABSTRACT

The article examines modularity in education, its essence, methodology, and technology. It is noted here that the essence of this technology is to correctly and functionally divide the content of the original discipline into concise and complete blocks in accordance with professional tasks and the necessary modern requirements. Using a competency-based approach and taking into account the labor costs of training, the use of modules is a fundamental direction in the process of improving educational programs and achieving the accessibility of teaching methods in various universities. The article concludes that the modular education system is a fairly modern approach to education in general. The main advantages of this system are its flexibility, creativity, logical completeness, compactness, and interchangeability.

Key words: education, module, competence, individual approach, training process

GİRİŞ

Modullu təlim yanaşması pedaqoji nəzəriyyənin əsaslarına arxalanır və tədris praktikasında tətbiq olunur. Bu texnologiyanın mahiyyəti orijinal kursun məzmununu peşəkar məqsədlərə və müvafiq müasir tələblərə uyğun olaraq qısa və tam bloklara düzgün və funksional olaraq bölməkdən ibarətdir. Akademik fənlərə modul yanaşmanın mahiyyəti ondan ibarətdir ki,

müəyyən bir fənnin və ya kursun öyrənilməsi, seçilmiş materialın mənimsənilməsi üçün yönəldilmiş hərəkətlərin hədəf blokunu, zəruri məlumatlar bankını (nəzəri mahiyyət) və zəruri didaktik məqsədlərə çatmaq üçün metodoloji təlimatları özündə cəmləşdirən tədris planına uyğun olaraq az-çox müstəqil şəkildə baş verir.

Bu halda, müəllimin funksiyaları məsləhət və məlumatlandırmadan tutmuş təlim prosesinin əlaqələndirilməsinə qədər dəyişir. Bu nəzəriyyədə əsas termin – modul anlayışıdır. Modul nəzəriyyəsinin əhəmiyyətli tarixinə baxmayaraq, hələ də "modul" anlayışının dəqiq tərifi yoxdur. Tətbiq olunan yanaşmadan asılı olaraq bu anlayışın bir neçə fərqli versiyası mövcuddur. Bu anlayış, təlim məzmununun strukturlaşdırılması prosesi, tədris formaları və metodları kimi bu məsələnin aspektləri ilə birbaşa əlaqəlidir.

V. Qoldşmidt və M. Qoldşmidt bu termini aydın şəkildə müəyyən edilmiş məqsədlərə çatmağa yönəlmiş təlim prosesinin muxtar, planlaşdırılmış vahidinin yaradılmasına əsaslandırırlar. J. Rassel bu konsepsiyanı akademik intizamın müstəqil bir hissəsi kimi görür. Y.K.Başlov və V.A.Rıjovun əsərlərində modul müəyyən bir peşəkar fəaliyyəti yerinə yetirmək üçün zəruri olan müəyyən bir məlumat həcmi kimi qəbul edilir. İndi də bu texnologiyanı təfərruatı ilə araşdıraq.

ARAŞDIRMA

Modul, müəyyən bir akademik fənnin və ya təhsil prosesinin ayrı bir hissəsi olaraq, özü də hər biri spesifik, tam bir vahid təşkil edən daha kiçik modul vahidlərinə bölünə bilər. Modul vahidləri, nəzərdən keçirilən prosesin və ya fənnin spesifik sahəsindən, təlim prosesinin xüsusiyyətlərindən və bu texnologiyaların tətbiqi qaydalarından və imkanlarından asılı olaraq modulun strukturunu formalaşdıra bilər.

Modul təlim prosesinin müstəqil, məntiqi cəhətdən tamamlanmış bir vahidini təmsil edir. Bu mövzu ilə bağlı məlumatları ümumiləşdirsək, modul hədəf fəaliyyət proqramı ilə müəyyən edilmiş müəyyən bir hazırlıq səviyyəsinə nail olmağa imkan verəcək şəkildə seçilmiş və təqdim edilmiş təlim strukturunun vahidi kimi müəyyən edilir.

Səriştəyə əsaslanan yanaşmadan istifadə edərək və təlimin əmək xərclərini nəzərə alaraq, modulların istifadəsi təhsil proqramlarının təkmilləşdirilməsi və müxtəlif universitetlərdə tədris metodlarının əlçatan edilməsi üçün fundamental yanaşmadır. Səriştəyə əsaslanan yanaşma təhsil sistemində möhkəm şəkildə yerləşmişdir, lakim modullu yanaşmanın tətbiqi və inkişafına hələ də çox az vaxt və resurs ayrılır.

Ənənəvi təhsil sistemində komponentlərin qarşılıqlı əlaqəsini nəzərə alsaq, Dövlət Standartı ilə müəyyən edilmiş tədris planı ilə tələbənin birbaşa öyrəndiyi fənn arasındakı əlaqə burada təməl

kimi çıxış edir. Modul sisteminə əsaslanan təhsildə modul özü tədris planına və təlim prosesinə, müəllimlərin fəaliyyətinə və ixtisas mərhələsi də daxil olmaqla bilik qiymətləndirmə sisteminə təsir edən və tənzimləyən əsas vahidə çevrilir.

Təhsil sisteminin bu şəkildə yenidən qurulması bir sıra qarşılıqlı əlaqəli komponentlərdə dəyişiklikləri nəzərdə tutur: tələbələrin müstəqil və sinif işlərinin nisbətində özünütəhsilin artmasına doğru dəyişiklik; təhsil proqramlarının struktur universallığının artması; peşə fəaliyyətinə yaxın sahələrdə peşə bacarıqlarını əldə etmək imkanları ki, bu növbəti mümkün ixtisası əldə etmək imkanını əldə etmək üçün tələbələrin profilinin alınması sisteminin təkmilləşdirilməsini nəzərdə tutur.

Modul bu təlim proqramının təməlidir və təhsil proqramının kifayət qədər müstəqil bir bölməsidir. O, bir qrup peşəkar səriştələrin inkişaf etdirilməsinə yönəlmişdir. “Modul, bir və ya daha çox spesifik peşəkar səriştələri inkişaf etdirən və tələbələrin bilik və bacarıqlarının qiymətləndirilməsini təmin edən təhsil proqramının tam bir bölməsidir. Modul təhsil proqramı, ixtisas almaq üçün zəruri olan spesifik səriştələrin mənimsənilməsinə yönəlmiş modullar toplusu və ardıcıllığıdır.”.

Təhsil modullarını öyrənərkən tələbələr verilmiş modulun bütün təhsil komponentləri ilə ümumi tədris planı arasındakı qarşılıqlı əlaqələri mənimsəməlidirlər: mühazirə və praktiki işlər, müstəqil işlər, kurs işləri, sessiyalararası qiymətləndirmələrə hazırlıq, müstəqil tədqiqat layihələri üzərində iş, yekun ixtisas işi və s. Bu təhsil proqramını öyrənməyin məqsədi tələbənin müəyyən sayda peşəkar səriştələrə yiyələnməsidir və bu səriştələrin inkişaf etdirilməsi vasitəsi kimi təhsil sisteminin müstəqil bir vahidi olan modul çıxış edir.

Modullu təhsil – təhsil fəaliyyətinə nisbətən yeni və mütərəqqi bir yanaşmadır. Bu tip təlim ənənəvi təhsil sisteminə nisbətən bir sıra üstünlüklərə malikdir:

– Tələbələr üçün minimal maliyyə və vaxt sərfiyyatı ilə, rahat formatda və öz templərində müasir, ixtisaslaşmış təhsil təklif edir.

– Müəllim heyəti üçün isə rahat, daha çevik və uyğunlaşa bilən tədris planı formatı təklif edir və məsləhət və repetitorluq üçün daha çox vaxt ayırır.

– Təhsil müəssisəsi üçün bu, eyni təlim bazasından istifadə edərək, eyni sayda müəllim heyəti ilə daha çox mütəxəssis yetişdirməkdir.

– Peşəkar sahələr üçün bu, əlavə maliyyə xərcləri olmadan gələcək kadrların peşəkar hazırlığını daha geniş ixtisaslaşmış əhatə dairəsi ilə və dərinləşdirmək üçün real fürsət deməkdir.

– İctimai fəaliyyətlər üçün bu, ali təhsil almaq və davamlı təhsil sistemi daxilində daha yüksək səviyyəli təlim proqramlarında (magistratura, doktorantura) davam etdirmək üçün real fürsət deməkdir.

Peşə təlimi baxımından "modul" nəzərdən keçirildikdə, onu aşağıdakı kimi təyin etmək olar: modul – akademik intizamın fənlərarası struktur-didaktik vahididir və əsas anlayışların və əsas anlayışların nəzərdə tutulan bilik sahəsinə uyğun olaraq, müəyyən edilməsini və gələcək mütəxəssisin özünütəhsili məntiqi fokusuna əsaslanaraq məlumatların təşkilini təmin edir. Bununla yanaşı, modul – kifayət qədər müstəqil olan və bütövlükdə intizamın inkişafı üçün istifadə olunan metodologiya ilə fərqlənən komponent hissələrindən, sözdə mikromodullardan və ya altmodullardan ibarət ola bilər.

Akademik fənlərə fənlərarası perspektivdən baxıldıqda, onlar, həmçinin də ayrı-ayrı bölmələr və mövzular, müəyyən bir peşəkar təlim strukturu daxilində mərhələlərə (pillələrə) çevrilir. Mahiyyət etibarilə belə bir mərhələ hər biri ixtisaslaşmış bilik və bacarıqlar baxımından özünəməxsus kimliyə malik olan fənlərarası modullar sisteminə çevrilir və çoxsəviyyəli peşəkar iyerarxiyaya uyğun olaraq mütəşəkkil təlim nəticələrinin səviyyəsini xarakterizə edən bir sıra meyarlarla birləşdirilə bilər.

İyerarxik pilləkənləri aşağıdakı kimi təsnif etmək olar:

- ümumiləşdirilmiş özünütəhlilin inkişafına üstünlük verilməsinin əhəmiyyətli xüsusiyyətinə əsasən qruplaşdırıla bilən ümumi elmi təlim modulları. Bu modullar ümumi peşə təliminə aiddir;
- son nəticənin peşə bacarıq və səriştələrinin inkişafı və təkmilləşdirilməsi olduğu modullar. Bunlar alqoritmik səviyyəli modullardır;
- ixtisaslaşmış fənlərin mənimsənilməsinə yönəlmiş modullar. Bunlar yaradıcı və intellektual inkişaf modullarıdır.

Modullu sistem mərhələlərinin bu iyerarxik siyahısına aşağıdakı modul növləri daxil edilə bilər:

- giriş (yeni tematik məlumatları ehtiva edir);
- məlumatverici (klassik mənbələrdən standart materiallar);
- əməliyyat (praktik tapşırıqlar və testlər).

Müasir təhsil tədqiqatçı-pedaqoqlar hesab edirlər ki, modul təlim texnologiyası təhsil prosesini elə dəyişdirir ki, tələbə fərdiləşdirilmiş, hədəflənmiş proqrama uyğun olaraq müstəqil şəkildə təhsil ala bilsin. Əsas element kimi bu halda öyrənilən mövzu haqqında vacib məlumatları,

materialın optimal mənimsənilməsi üçün tələbə fəaliyyət planını, tövsiyələri və dəstəkləyici tədris materiallarını özündə cəmləşdirən təlim modulu çıxış edir.

Modulların istifadəsi bir neçə cəhətdən öyrənməyə fərdi yanaşmanı təmin edir: məzmun, öyrənmə tempi, özünütəhsil və özünüinkişaf yanaşması, öyrənmə prosesinin həyata keçirilməsi, qiymətləndirmə növləri, özünüqiymətləndirmə imkanları və s. baxımından. Bu öyrənmə formasının məqsədi tələbələrə özünüinkişaf və özünütərbiyə, eləcə də seçilmiş materialı mənimsəmək üçün fərdi işləmək qabiliyyətlərində kömək və dəstək olmaq imkanı kimi formalaşdırıla bilər.

Modullu təhsil ümumiyyətlə təlim modulunun bütün anlayışlalarını tətbiq edir və təlim prosesini elə yenidən qurur ki, bir və ya daha çox modul bir mövzunun və ya fənnin bütün məzmununu əhatə edə bilsin. Bunlar təlim prosesinin istənilən mərhələsində fərdiləşdirməyə imkan verən bu təhsil sisteminin çevik strukturu sayəsində mümkündür.

NƏTİCƏ

Beləliklə, yuxarıda dediklərimizdən aşağıdakı nəticələr irəli çıxır:

– Modul təhsil sistemi ümumilikdə təhsilə kifayət qədər müasir yanaşmadır. Bu sistemin əsas üstünlükləri onun çevikliyi, yaradıcılığı, məntiqi tamlığı, kompaktlığı və bir-birini əvəz edə bilməsidir.

– Modullr yanaşma təhsil prosesinin hər mərhələsində tətbiq oluna bilər və həm əsas tədris metodu, həm də klassik ənənəvi tədris metodları ilə birlikdə istifadə edilə bilər.

– Modul təlimin bir çox növü mövcuddur. Təcrübədə, təlimə modullu yanaşma, tələbələrə çatdırmağı hədəflədiyi öyrənilən bilik sahəsinə daha dəqiq şəkildə işıqlandırır. Bundan əlavə, bu təlim növündə didaktik və metodoloji resursların təminatı daha yüksəkdir.

– Həmçinin, modul təlimində proses daha strukturlaşdırılmışdır: məqsəd və vəzifələr müəyyən edilir, blok-modulun diqqət mərkəzi - ən minimaldan (kiçik ayrı mövzu) maksimuma (makromodul, fənn bloku) qədər, seçilmiş materialın mənimsənilməsi üçün bir planın labüdlüyü (öyrənmə, özünüinkişaf üçün), materialın mənimsənilməsinin keyfiyyətinə son nəzarət.

– Bu metodikanın ayrıca və vacib bir komponenti “tərbiyə” modulunun mənimsənilməsidir. Bu modul müvafiq bacarıqları inkişaf etdirməklə, öyrənmənin və ümumi şəxsi inkişafın bütün mərhələlərində müvafiq bacarıq və prinsipləri tədricən aşılamaqla mənimsənilə bilər.

ƏDƏBİYYAT:

1. Əliyeva M.T. Modul təlim texnologiyası – təhsil mühitinin lahiyələşdirilməsi və dəyişdirilnəsinin səmərəli vasitəsi kimi. / Məqalə. 6-th İnternational Black Sea Modern Scientific Research Congress. Trabzon, Turkiye, Augustos 23-25, 2024, səh.872-877

2. Ермоленко В. А., Данькин С. Е. Блочно-модульная система подготовки специалистов в профессиональном лицее. / Москва: ЦПНО ИТОП РАО, 2002, 162 с.
3. Hüseynova A.Ə. İbtidai sinif müəllimlərinin musiqi hazırlığında yeni pedaqoji texnologiyalardan istifadə üzrə işin sistemi. / pedaqogika üzrə fəls doktoru adını almaq üçün dissertasiya. Bakı, 2010, 145 səh.
4. Селевко Г.К. Современные образовательные технологии. Москва, 2005, 256 с.

PROBLEMLİ TƏLİM SƏVİYYƏLƏRİNİN XÜSUSİYYƏTLƏRİ VƏ ONUN TƏHSİL PROSESİNDƏKİ ROLU

CHARACTERISTICS OF THE LEVELS OF PROBLEM-BASED LEARNING AND ITS ROLE IN THE EDUCATIONAL PROCESS

Hidəyətovava Firəngiz Şahmurad qızı
Pedaqogika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
"İncəsənət və fiziki tərbiyə" fakültəsi
"Musiqi və onun tədrisi texnologiyası" kafedrası
Azərbaycan, Bakı şəhəri, Üzeyir Hacıbəyli küçəsi, 68
ORCİD İD: 0009-0009-5698-6001

XÜLASƏ

Məqalədə problemli təlim müasir pedaqogikanın ən vacib sahələrindən biri olaraq, şagirdlərin idrak fəaliyyətini, müstəqilliyini, tənqidi və yaradıcı düşüncəsini inkişaf etdirməyə yönələn təlim kimi araşdırılır. Problemli təlimin səviyyələrinin xüsusiyyətlərinə xüsusi diqqət yetirilir və bunun tələbələrin problemin formalaşdırılmasında, fərziyyələrdə, həll yollarının seçilməsində və zəruri məlumatların axtarışında və yoxlanılmasında müxtəlif dərəcəli müstəqilliklərini əks etdirir. Problemli təlimin səviyyələrinin təsnifatına əsas yanaşmalar araşdırılır: problem əsaslı təqdimat, qismən axtarış, tədqiqat və yaradıcı səviyyələr. Problemli təlim səviyyəsi ilə tələbələrin yaş, intellektual, motivasiya və fərdi xüsusiyyətləri arasındakı əlaqə nümayiş etdirilir. Məqalədə problemli təlimin universal təlim fəaliyyətlərinin, funksional savadlılığın, müstəqilliyin, qərar qəbul etmək və əldə edilmiş bilikləri yeni vəziyyətlərə ötürmək bacarığının formalaşmasındakı rolu əsaslandırılır.

Açar sözlər: problemlilik səviyyələri, pedaqoji texnologiyalar, təhsil motivasiyası

ABSTRACT

The article examines problem-based learning as one of the significant areas of modern pedagogy, aimed at developing cognitive activity, independence, critical and creative thinking of students. Particular attention is given to the characteristics of problem-based learning levels, reflecting students' varying degrees of independence in problem formulation, hypotheses, solution selection, and the search for and verification of necessary information. The main approaches to classifying problem-based learning levels are examined: problem-based presentation, partial search, research, and creative levels. The relationship between the level of problem-based learning and the age, intellectual, motivational, and individual characteristics of students is demonstrated. The article substantiates the role of problem-based learning in the formation of universal learning activities, functional literacy, independence, the ability to make decisions and transfer acquired knowledge to new situations.

Key words: levels of problematic, pedagogical technologies, educational motivation

GİRİŞ

Müasir təhsil sistemi yalnız öyrənənlərə müəyyən bilik, bacarıq və qabiliyyətlər toplusunu verməyə deyil, həm də müstəqil şəkildə bilik əldə etmək, məlumatları təhlil etmək, ziddiyyətləri müəyyən etmək, qərar qəbul etmək və qazanılmış təcrübəni dəyişən şəraitdə tətbiq etmək bacarığını inkişaf etdirməyə yönəlmişdir. Buna görə də, tədris materialının passiv mənimsənilməsindən aktiv idrak fəaliyyətinə keçidi asanlaşdıran pedaqoji texnologiyalar xüsusilə aktualdır.

Müəllimin hazırlanmış materialın izah etdiyi, nümayiş etdirdiyi və təkrarlanmasına nəzarət etdiyi ənənəvi reproduktiv tədris modeli aktuallığını qoruyub saxlayır və təhsil prosesindən tamamilə çıxarıla bilməz. Lakin onun imkanları müstəqil və yaradıcı düşünən şəxsiyyətin inkişafı üçün kifayət deyil. Buna görə də izahlı-illüstrativ, reproduktiv və problemə əsaslanan, axtarış və tədqiqat metodlarının kombinasiyası (birgə istifadəsi) zəruridir.

Digər vacib aspekt tələbə müstəqilliyinin müxtəlif dərəcələridir. Bir tələbə yalnız müəllimin əhəmiyyətli köməyi ilə işləyə bilər, digəri müstəqil olaraq problem formalaşdıra və həll yolu seçə bilər, üçüncüsü isə hərtərəfli tədqiqat apara bilər. Demək ki, problemli təlimin öyrənənin müstəqilliyi dərəcəsi və onun fəaliyyətinin təbiəti ilə fərqlənən müəyyən səviyyələri var.

Məhz bu səviyyələrin xarakteristikası xüsusi pedaqoji əhəmiyyət kəsb edir, çünki onlar müəllimə şagirdlərin müstəqillik dərəcəsini tədricən artırmağa və reproduktiv fəaliyyətdən axtarışa, tədqiqata və yaradıcılığa keçid üçün şərait yaratmağa imkan verir.

ARAŞDIRMA

Problemli təlim nəzəriyyəsində ən vacib məsələlərdən biri öyrənənin müstəqilliyinin dərəcəsini müəyyən etməkdir. Pedaqoji ədəbiyyatda problemlilik səviyyələrini təsnif etmək üçün müxtəlif yanaşmalar təklif edilir. Biz bu məqalənin çərçivəsində bir-biri ilə əlaqəli dörd səviyyəni nəzərdən keçirməyi məqsədəuyğun hesab edirik:

1. Problemli təqdimat səviyyəsi;
2. Qismən axtarış səviyyəsi;
3. Tədqiqat səviyyəsi;
4. Yaradıcı səviyyə.

Bu səviyyələrə yalnız sərt mərhələlər kimi baxılmamalıdır. Onlar tək bir dərs və ya hətta tək bir tapşırıq daxilində birləşdirilə bilər. Lakin bu təsnifat öyrənənin müstəqilliyinin tədricən artmasını müəyyən etməyə imkan verir. İndi də bunları izah edək.

Birinci səviyyə: problemli təqdimat. Birinci səviyyədə müəllim idrak fəaliyyətinin əsas hissəsini təşkil edir. Müəllim problemi müstəqil şəkildə formalaşdırır, ziddiyyəti nümayiş

etdirir, axtarış prosesini izah edir və həllin necə əldə edildiyini nümayiş etdirir. Öyrənənlər mühakimə məntiqini müşahidə edir və tədricən yalnız son nəticəni deyil, həm də ona çatmaq üsulunu da başa düşürlər.

Bu səviyyə xüsusilə aşağıda göstərnlərə görə vacibdir:

• yeni material təqdim edərkən;

• mürəkkəb nəzəri məsələləri araşdırarkən;

• öyrənənlərdə zəruri baza biliklər olmadıqda;

• problemli təfəkkür bacarıqlarının inkişafının ilkin mərhələsində.

Hətta bu halda belə, müəllimin sadəcə hazır cavab verməməsi vacibdir. O, sadəcə axtarış prosesinin özünü nümayiş etdirə bilərlər. Məsələn, müəllim: - "Bəstəkar bu musiqi ladından müəyyən emosional xarakter yaratmaq üçün istifadə edir" demək əvəzinə, o, soruşur: - "Bəstəkar niyə bu parçada major ladından imtina edir? Bunula musiqinin qavranılmasında hansı dəyişikliklər baş verir?"

Bundan sonra müəllim və şagirdlər musiqi materialını təhlil edir və mühakimə ardıcıllığını nümayiş etdirirlər. Bu, problemli təfəkküründün, düşüncəsinin unikal modelini formalaşdırır.

Bu səviyyənin əsas dəyəri və əhəmiyyəti bundadır ki, öyrənənlər intellektual axtarışın məntiqi ilə tanış olur.

Müəllim aşağıdakıları nümayiş etdirir:

- problemin necə müəyyən edildiyini;
- sualın necə verildiyini;
- fərziyyənin necə formalaşdırıldığını;
- fərziyyənin necə sınaqdan keçirildiyini;
- nəticəyə necə çatıldığını.

Buna görə də, birinci səviyyəyə şagirdlərə daha böyük müstəqilliyin tədricən ötürülməsi üçün hazırlıq mərhələsi kimi baxmaq olar.

<u>İkinci səviyyə: qismən axtarış</u>. İkinci səviyyədə öyrənənlərin müstəqilliyi əhəmiyyətli dərəcədə artır. Müəllim problemli bir vəziyyət yaradır və əsas tapşırığı formalaşdırır, lakin şagirdlər axtarışın ayrı-ayrı mərhələlərini müstəqil şəkildə yerinə yetirirlər. Məsələn, müəllim problemi müəyyən edə bilər, lakin şagirdlərdən aşağıdakıları etməyi təklif edə bilər:

- fərziyyələr irəli sürmək;
- arqumentlər seçmək;
- variantları müqayisə etmək;
- həll yolu müəyyən etmək;

- ara nəticə çıxarmaq.

Buna görə də bu səviyyə çox vaxt evristik və ya qismən tədqiqat metodu ilə əlaqələndirilir. Müəllim prosesdən kənarlaşdırılmır. Onun rolu dəyişir: o, təşkilatçı və məsləhətçi olur. Buna bir misal göstərək. Musiqi dərsində şagirdlərdən bəstəkarın müəyyən bir musiqi fraqmentində necə narahatlıq hissi yaratdığını müəyyən etmələri xahiş olunur.

Müəllim hazır cavabı şagirdlərə vermir, lakin onlara aşağıdakıları təklif edir:

1. fraqmenti dinləmək;
2. tempi müəyyən etmək;
3. dinamikaya diqqət yetirmək;
4. ritmi təhlil etmək;
5. melodik hərəkətin xüsusiyyətlərini nəzərə almaq;
6. tembrlərin rolunu müəyyən etmək;
7. müşahidələri müqayisə etmək;
8. ümumi nəticə çıxarmaq.

Bu halda müəllim axtarış istiqamətini müəyyən edir, lakin intellektual işin əhəmiyyətli bir hissəsi şagirdlər tərəfindən həyata keçirilir.

Qismən axtarış səviyyəsinin pedaqoji əhəmiyyəti bundadır ki, o, öyrənənlərdə müstəqilliyi, təhlil və arqument gətirmək bacarıqlarını, informasiya ilə iş və fərziyə yürüdmək qabiliyyətini, ünsiyyət və kommunikasiya vərdişlərini formalaşdırır.

Üçüncü səviyyə: tədqiqat. Tədqiqat səviyyəsi daha da böyük müstəqillik dərəcəsini nəzərdə tutur. Öyrənənlərə bir problem təklif olunu, lakin bu, mütləq hazır həll alqoritmi deyil.

Onlar müstəqil olaraq aşağıdakıları müəyyən etməlidirlər:

- dəqiq nəyin müəyyən edilməsi lazımdır;
- hansı sualların verilməsi lazımdır;
- hansı mənbələrdən istifadə etmək lazımdır;
- hansı metodlar tətbiq etmək lazımdır;
- hipotezi necə yoxlamaq lazımdır;
- nəticələri necə təqdim etmək lazımdır.

Bu səviyyədə öyrənmə fəaliyyəti əsl tədqiqatın xüsusiyyətlərini əldə edir.

Aşağıdakı mərhələlər müəyyən edilə bilər:

1. Problemin müəyyən edilməsi. Tələbə mövcud bilikləri sadəcə təkrarlamaqla cavablandırıla bilməyən bir sualla qarşılaşır.
2. Tədqiqat Sualının Formalaşdırılması. Problem konkret bir suala çevrilir.

3. Fərziyyənin Formalaşdırılması. Tələbə mümkün bir izahat təklif edir.

4. Tədqiqat Metodlarının Müəyyənləşdirilməsi. Təhlil, müşahidə, müqayisə, təcrübə, sorğu, sənəd icmalı, ədəbiyyat icmalı və digər metodlar seçilir.

5. Materialın Toplanması. Tələbə lazımi məlumatları əldə edir.

6. Materialın təhlili. Nümunələr, oxşarlıqlar və fərqlər, səbəb-nəticə əlaqələri müəyyən edilir.

7. Fərziyyənin Yoxlanılması. Nəticələr ilkin fərziyyə ilə müqayisə edilir.

8. Nəticələrin Formalaşdırılması. Tələbə fərziyyənin təsdiqlənib-təsdiqlənmədiyini müəyyən edir.

9. Nəticələrin Təqdim Edilməsi. Nəticə mesaj, təqdimat, layihə, hesabat, diaqram, cədvəl, video və ya digər məhsul şəklində təqdim edilə bilər.

Tədqiqat səviyyəsinin pedaqoji dəyəri bundadır ki, o, müstəqil şəkildə bilik əldə etmək təcrübəsini təmin edir.

Dördüncü səviyyə: yaradıcı problemli təlim. Bu, problemli təlimin ən yüksək səviyyəsidir və yaradıcı fəaliyyətlə əlaqələndirilir. Burada tələbə yalnız verilən problemi həll etmir, həm də müstəqil olaraq yeni bir problem formalaşdıra, orijinal bir həll təklif edə və ya yeni bir məhsul yarada bilir.

Yaradıcılıq səviyyəsi aşağıdakıları tələb edir:

• müstəqillik;

• təşəbbüs;

• orijinallıq;

• düşüncə çevikliyi;

• başqalarının onları görməməzlikdən gəldiyi problemləri görmək bacarığı;

• təcrübə aparmaq istəyi;

• qeyri-ənənəvi qərarlar qəbul etmək bacarığı.

Bu səviyyə xüsusilə layihə əsaslı fəaliyyətdə faydalıdır.

NƏTİCƏ

Beləliklə, bütün yuxarıda deyilənlərdən belə nəticə çıxarmaq olar ki, problemli təlim müasir pedaqogikanın vacib bir sahəsini təmsil edir ki, bu da müəllim və tələbə arasında qarşılıqlı əlaqənin təbiətini dəyişdirməyə imkan verir və təhsili hazır məlumatın ötürülməsi prosesindən aktiv öyrənmə prosesinə çevirir.

Problemlıı təlimin xüsusi pedaqoji əhəmiyyəti onun yalnız fənn üzrə bilikləri ötürmək deyil, həm də universal intellektual keyfiyyətləri: müstəqillik, tənqidi düşüncə, yaradıcılıq, təhlil

etmək, müqayisə etmək, mübahisə etmək, fərziyyə irəli sürmək və qərar qəbul etmək bacarıqlarını inkişaf etdirmək qabiliyyətindən irəli gəlir.

Problemlш təlim bir-biri ilə əlaqəli dörd səviyyədən ibarətdir: problem əsaslı təqdimat, qismən axtarış, tədqiqat və yaradıcılıq. Hər bir sonrakı səviyyə öyrənənin artan dərəcədə müstəqilliyini nəzərdə tutur.

ƏDƏBİYYAT:

1. Ağayev Ə.Ə. Azərbaycanın ictimai-pedaqoji fikrində şəxsiyyətin formalaşması problemi. Bakı: “Avropa” nəşriyyatı, 2005, 288 səh.
2. Брушлинский А.В. Психология мышления и проблемное обучение. Москва: Знание, 1983, 96 с.
3. Гайдай С.Н. Взаимосвязь феноменов самостоятельности и творческой активности в учебно-познавательной деятельности личности. / Ученые записки Забайкальского гос. Гуманитарно-педагогического университета им. Чернышевского. 2009, № 5, с. 12-19
4. Əlizadə Ə.Ə. Yeni pedaqoji təfəkkür: ideyalar, prinsiplər, poblemlər. Bakı: “Adiloğlu” nəşriyyatı, 2001, 162 səh.
5. Əliyeva M.T. Yaradıcı qabiliyyətlərin inkişafı problemləri. Bakı: ADPU mətbəəsi, 2022, 189 səh.
6. Матюшкин А.М. Проблемные ситуации в мышлении и обучении. Москва: Директмедиа Паблишинг, 2008, 392 с.
7. Mehrabov A. Pedaqoji texnologiyalar. Bakı: “Çaşıoğlu” nəşriyyatı, 2006, 372 səh.
8. Хуторской А.В. Дидактическая эвристика: Теория и технология креативного обучения. М.: Издательство МГУ, 2003, 416 с.

KRONİK HİPOKSİDE ADENOZİN A2A RESEPTÖR BLOKAJINA EŞLİK EDEN BEYİN SAPI PROTEOMİK ÖRÜNTÜLERİNİN KEŞİFSEL ANALİZİ

Seher Berna Kırdök-Tansu
Ankara University, Vocational School of Health Services, Ankara, Türkiye; Department of Neuroscience, Gevher Nesibe Genome and Stem Cell Institute, Erciyes University, Kayseri, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-8483-4509
Mustafa Burak Acar
Osmaniye Korkut Ata University, Vocational School of Health Services, Osmaniye, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-9109-6575
Kemal Erdem Başaran
Betul-Ziya Eren Genome and Stem Cell Center, Erciyes University, Kayseri, Türkiye; Department of Physiology, Faculty of Medicine, Erciyes University, Kayseri, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-6035-9398

ÖZET

Kronik sürdürülen hipoksi, santral solunum ağlarında hücresel ve moleküler uyum süreçlerini tetikler; ancak adenozin A2A reseptör blokajına eşlik eden beyin sapı protein örüntüleri yeterince tanımlanmamıştır. Bu çalışmada, kronik hipoksi altında istradefylline uygulamasıyla ilişkili proteomik değişikliklerin keşifsel olarak incelenmesi amaçlandı. Erişkin erkek Sprague-Dawley sıçanlar yedi gün boyunca %10 O_2 koşullarına maruz bırakıldı. Kronik hipoksi kontrol (CSH-CON), dimetil sülfoksit taşıyıcı (CSH-DMSO) ve istradefylline uygulanan (CSH-IST; 1 mg/kg/gün, intraperitoneal) gruplardan elde edilen beyin sapı örneklerinde sıvı kromatografisi-tandem kütle spektrometrisine dayalı etiketsiz kantitatif proteomik profilleme gerçekleştirildi. Her koşul bir biyolojik örnekle temsil edildiğinden analizler tanımlayıcı ve hipotez oluşturucu olarak ele alındı. Örnekler arası Pearson korelasyon katsayıları yaklaşık 0,97-0,98 olup, temel bileşen analizi örnekleri görsel olarak ayırdı (PC1 %35,2; PC2 %24,6). CSH-DMSO/CSH-CON karşılaştırmasında 2038 proteinden 33'ü daha yüksek, 30'u daha düşük; CSH-IST/CSH-CON karşılaştırmasında 2051 proteinden 13'ü daha yüksek, 23'ü daha düşük; CSH-IST/CSH-DMSO karşılaştırmasında ise 2037 proteinden 19'u daha yüksek, 34'ü daha düşük temsil gösterdi. İstradefylline-taşıyıcı karşılaştırmasında daha yüksek temsil gösteren adaylar arasında Mag, Fxyd7, Rab10, Adam10 ve Septin3; daha düşük temsil gösterenler arasında Mmp11, Mbp, Tubb2b, Mt-atp8, Col1a1 ve Tomm20 yer aldı. Fonksiyonel örüntüler veziküler taşınma, membran organizasyonu, miyelin/sitoskeleton, mitokondriyal-metabolik süreçler, ekstraselüler matriks ve stres yanıtlarını işaret etti. Biyolojik replikasyon bulunmaması nedeniyle bulgular istatistiksel olarak doğrulanmış tedavi etkileri değil, ileri doğrulama çalışmalarına yön verebilecek örnek-düzeyinde proteomik işaretler olarak değerlendirilmelidir.

Anahtar kelimeler: kronik hipoksi, adenozin A2A reseptörü, istradefylline, proteomik, beyin sapı

EXPLORATORY ANALYSIS OF BRAINSTEM PROTEOMIC PATTERNS ASSOCIATED WITH ADENOSINE A2A RECEPTOR BLOCKADE DURING CHRONIC HYPOXIA

ABSTRACT

Chronic sustained hypoxia triggers cellular and molecular adaptation within central respiratory networks, yet brainstem protein patterns associated with adenosine A2A receptor blockade remain insufficiently characterized. This study aimed to explore proteomic changes associated with istradefylline treatment during chronic hypoxia. Adult male Sprague-Dawley rats were exposed to 10% O_2 for seven days. Brainstem samples from chronic hypoxia control (CSH-CON), dimethyl sulfoxide vehicle (CSH-DMSO), and istradefylline-treated (CSH-IST; 1 mg/kg/day, intraperitoneal) conditions were profiled by liquid chromatography-tandem mass spectrometry-based label-free quantitative proteomics. Because each condition was represented by one biological sample, all analyses were descriptive and hypothesis-generating. Pairwise Pearson correlations were approximately 0.97-0.98, while principal component analysis visually separated the three samples (PC1 35.2%; PC2 24.6%). In the CSH-DMSO versus CSH-CON comparison, 33 of 2038 proteins were more highly represented and 30 were lower; in CSH-IST versus CSH-CON, 13 of 2051 were higher and 23 were lower; and in CSH-IST versus CSH-DMSO, 19 of 2037 were higher and 34 were lower. Candidate proteins more highly represented in the istradefylline-versus-vehicle comparison included Mag, Fxyd7, Rab10, Adam10, and Septin3, whereas Mmp11, Mbp, Tubb2b, Mt-atp8, Col1a1, and Tomm20 were among those showing lower representation. Functional patterns pointed to vesicular trafficking, membrane organization, myelin/cytoskeletal organization, mitochondrial-metabolic processes, extracellular matrix remodeling, and stress responses. In the absence of biological replication, these findings should not be interpreted as statistically established treatment effects, but as sample-level proteomic signals that may guide adequately powered validation studies.

Keywords: chronic hypoxia, adenosine A2A receptor, istradefylline, proteomics, brainstem

GİRİŞ

Kronik sürdürülen hipoksi, çevresel ya da hastalıkla ilişkili oksijen azalmasına karşı gelişen ve solunum kontrolü, enerji metabolizması, hücresel stres yanıtı ve sinaptik işlev gibi çok sayıda biyolojik sistemi etkileyen bir adaptasyon sürecidir. Solunumsal yanıtın zaman içinde yeniden düzenlenmesi periferik kemoreseptör duyarlılığındaki değişikliklerle sınırlı değildir; beyin sapındaki santral ağlarda gerçekleşen moleküler uyum da bu sürecin önemli bir bileşenidir (Pamenter & Powell, 2016; Powell et al., 1998). Bu nedenle kronik hipoksi koşullarında beyin

sapında ortaya çıkan geniş ölçekli moleküler örüntülerin belirlenmesi, tek bir hedef proteinin ya da tek bir sinyal yolunun ötesinde sistem düzeyindeki adaptasyonun anlaşılmasına katkı sağlayabilir.

Adenozin, hipoksi ve artmış metabolik gereksinim sırasında hücre dışı düzeyi değişebilen önemli bir nöromodülatördür. Adenozin reseptörleri arasında A2A reseptörü (A2AR), Gs proteini ile eşleşen sinyal mekanizmaları üzerinden nöronal uyarılabilirlik, sinaptik iletim, hücresel metabolizma ve stres yanıtı ile ilişkili süreçleri etkileyebilir (Fredholm et al., 2001). Süregelen hipoksi sırasında A2AR sinyalinin solunumsal plastisiteye katkıda bulunabileceği ve bu katkının adaptasyonun evresine göre değişebileceği bildirilmiştir (Moya & Powell, 2018). Bununla birlikte, A2AR antagonizmasının kronik hipoksi altındaki beyin sapında hangi geniş ölçekli protein örüntüleriyle birlikte seyrettiği yeterince açıklığa kavuşmuş değildir.

İstradefylline, A2AR için seçici bir antagonist olarak, adenozinerjik sinyalin deneysel olarak modüle edilmesine olanak sağlar. Tekil moleküler belirteçlere odaklanan yaklaşımlar belirli hipotezlerin sınanmasında değerli olmakla birlikte, farmakolojik bir müdahalenin aynı anda sinaptik organizasyon, membran trafiği, enerji metabolizması, mitokondriyal işlev ve hücresel stres gibi birden fazla sistemi etkileyebilme olasılığı proteomik yaklaşımları özellikle yararlı kılmaktadır. Kütle spektrometrisine dayalı proteomik, çok sayıda proteinin aynı biyolojik örnek içinde birlikte değerlendirilmesini sağlayarak aday protein kümelerini ve fonksiyonel örüntüleri ortaya çıkarabilir. Ancak proteomik verinin yorum gücü doğrudan biyolojik replikasyon ve deneysel tasarımla ilişkilidir; yetersiz replikasyon bulunan veri setlerinde sonuçların istatistiksel grup etkisi olarak değil, keşifsel ve hipotez oluşturucu sinyaller olarak değerlendirilmesi gerekir.

Bu çalışma, kronik sürdürülen hipoksi koşullarında A2AR blokajına eşlik eden beyin sapı proteomik örüntülerini tanımlamayı amaçlayan keşifsel bir alt analiz olarak tasarlandı. Özellikle taşıyıcı kontrolü ile istradefylline uygulamasının doğrudan karşılaştırılması, farmakolojik müdahaleye eşlik eden aday protein ve fonksiyonel yol örüntülerinin belirlenmesi açısından temel karşılaştırma olarak ele alındı. Çalışmanın amacı, istatistiksel olarak doğrulanmış diferansiyel protein bolluğu iddiası oluşturmak değil; gelecekte biyolojik replikasyonlu ve hedefli doğrulama içeren araştırmalarda sınanabilecek moleküler adayları sistematik biçimde ortaya koymaktır.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Deneysel tasarım ve hayvan modeli

Çalışmada erişkin, yaklaşık iki aylık erkek Sprague-Dawley sıçanlar kullanıldı. Proteomik alt analiz, kronik sürdürülen hipoksi koşullarında yer alan üç deneysel koşula odaklandı: tedavi uygulanmayan kronik hipoksi kontrolü (CSH-CON), dimetil sülfoksit taşıyıcı uygulanan kronik hipoksi grubu (CSH-DMSO) ve istradefylline uygulanan kronik hipoksi grubu (CSH-IST). Hayvanlar yedi ardışık gün boyunca normobarik koşullarda %10 O_2'ye maruz bırakıldı. Istradefylline 1 mg/kg dozunda intraperitoneal olarak günde bir kez uygulandı; taşıyıcı grubuna aynı uygulama yoluyla %20 dimetil sülfoksit verildi. Deneysel uygulamalar günün benzer saatlerinde gerçekleştirildi.

Yedinci günün tamamlanmasının ardından sekizinci günde deney protokolü sonlandırıldı ve beyin sapı dokuları toplandı. Proteomik analiz için CSH-CON, CSH-DMSO ve CSH-IST koşullarının her birinden birer biyolojik beyin sapı örneği kullanıldı; böylece toplam üç biyolojik örnek değerlendirildi. Bu örnekleme yapısı nedeniyle koşul içi biyolojik varyasyon tahmin edilemedi. Dolayısıyla aşağıda sunulan proteomik karşılaştırmalar grup-düzeyinde çıkarımsal istatistik değil, örnek-düzeyinde tanımlayıcı karşılaştırmalar olarak planlandı.

Hayvan deneyleri Erciyes Üniversitesi Hayvan Deneyleri Yerel Etik Kurulu tarafından 5 Ekim 2022 tarihinde onaylandı (karar no: 22/221) ve çalışmalar kurumsal hayvan bakım ve kullanım ilkelerine uygun olarak yürütüldü.

Protein hazırlama ve LC-MS/MS analizi

Toplanan beyin sapı dokuları hızlı biçimde sıvı azotta donduruldu. Protein ekstraksiyonu, sindirim ve peptit temizleme işlemleri filtre destekli örnek hazırlama (filter-aided sample preparation; FASP) yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirildi. FASP yaklaşımı, proteinlerin deterjan ve diğer düşük molekül ağırlıklı bileşenlerden ayrılmasını ve proteolitik sindirim için uygun bir ortam oluşturulmasını sağlayan yaygın bir proteomik örnek hazırlama stratejisidir (Wiśniewski et al., 2009). İşlemde FASP Protein Digestion Kit (Expedeon, 44250) kullanıldı. Elde edilen peptit karışımları liyofilize edildi ve kütle spektrometrik analiz öncesinde yaklaşık 100 ng/µL son peptit konsantrasyonuna yeniden çözüldü.

Peptitler ACQUITY UPLC M-Class sıvı kromatografi sistemi ile ayrıldı ve SYNAPT G2-Si yüksek çözünürlüklü kütle spektrometresinde (Waters) analiz edildi. İşlenmiş protein tanımlama çıktıları yüksek protein yanlış keşif oranı güven düzeyi ve 'Master Protein' kriteri kullanılarak filtrelendi. Her koşulda elde edilen yüksek güvenli protein tanımlamaları ortak

proteinlerin, örnekler arasında belirgin bolluk farkı gösteren adayların ve fonksiyonel örüntülerin tanımlanmasında kullanıldı.

Etiketsiz kantitatif yaklaşımın çıktıları örnekler arası benzerlik, temel bileşen dağılımı, yazılım tarafından oluşturulan aday protein listeleri, fonksiyonel anotasyon ve Z-skor normalize ısı haritaları üzerinden değerlendirildi. Biyolojik replikasyon bulunmadığı için klasik diferansiyel protein bolluğu testleri yapılmadı ve p değeri ya da yanlış keşif oranına dayalı grup karşılaştırması raporlanmadı. 'Daha yüksek temsil' ve 'daha düşük temsil' ifadeleri yalnızca karşılaştırılan iki örnek arasında yazılım çıktısında gözlenen örnek-düzeyindeki bolluk yönünü tanımlamak amacıyla kullanıldı.

Genel proteomik benzerlik ve örnek dağılımı

Üç kronik hipoksi koşuluna ait genel proteomik profiller yüksek düzeyde benzerlik gösterdi. Örnek çiftleri arasındaki Pearson korelasyon katsayıları yaklaşık 0,97-0,98 aralığındaydı. Bu bulgu, toplam proteomun büyük bölümünün üç koşul arasında ortak olduğunu ve gözlenen farklılıkların global proteomik benzerlik içinde daha sınırlı alt örüntüler şeklinde ortaya çıktığını düşündürmektedir.

Temel bileşen analizi (PCA), CSH-CON, CSH-DMSO ve CSH-IST örneklerini görsel olarak birbirinden ayırdı. Birinci temel bileşen toplam varyansın %35,2'sini, ikinci temel bileşen ise %24,6'sını açıkladı. Ancak her koşulun tek biyolojik örnekle temsil edilmesi nedeniyle bu ayrışma, grupların tekrarlanabilir biçimde kümelendiğinin kanıtı olarak değerlendirilemez. PCA yalnızca mevcut üç örneğin çok boyutlu protein bolluk uzayındaki konumlarını görselleştiren tanımlayıcı bir sonuçtur.

Tablo 1. Kronik hipoksi koşulları arasındaki keşifsel LFQ karşılaştırmalarının sayısal özeti.

Karşılaştırma	Analiz edilen protein	Daha yüksek temsil	Daha düşük temsil
CSH-DMSO / CSH-CON	2038	33	30
CSH-IST / CSH-CON	2051	13	23
CSH-IST / CSH-DMSO	2037	19	34

CSH-DMSO ve CSH-CON örneklerinin karşılaştırılması

CSH-DMSO ve CSH-CON örnekleri arasında 2038 protein değerlendirildi. Yazılımın keşifsel sınıflamasında CSH-DMSO örneğinde 33 protein daha yüksek, 30 protein daha düşük temsil gösterdi. Daha yüksek temsil gösteren adaylar arasında hemoglobin alt birimleri, H2aj, Mt-atp8, Mbp, Tubb2b, Igsf9b, Tpp1 ve Cbr3 yer aldı. Daha düşük temsil gösteren örnekler arasında Ckm, Pgam2, Eno3, Pde12, Cend1, Ca3, Aacs, Dnal1, Rab13 ve Txnrd2 bulundu.

Daha yüksek temsil gösteren adayların fonksiyonel anotasyonunda oksidoredüktaz aktivitesi, sekretuar granül ile ilişkili proteinler, insülin sekresyonu ile ilişkili terimler ve hiperkoksiye yanıt gibi başlıklar öne çıktı. Bu sonuç, taşıyıcı kullanılan bir farmakolojik tasarımda DMSO

koşulunun tedavi karşılaştırmasının ayrılmaz bir parçası olduğunu göstermektedir. Buradaki örnek-düzeyindeki DMSO/CSH-CON farkları, istradefylline etkisini yorumlarken tedavi grubunun yalnızca tedavisiz hipoksi kontrolüyle değil, taşıyıcı kontrolüyle de karşılaştırılması gerektiğini desteklemektedir.

CSH-IST ve CSH-CON örneklerinin karşılaştırılması

CSH-IST ve CSH-CON karşılaştırmasında 2051 protein analiz edildi. Istradefylline örneğinde 13 protein daha yüksek, 23 protein daha düşük temsil gösterdi. Daha yüksek temsil gösteren adaylar arasında sinaptotagmin-5 (Syt5), Erc2, hemopeksin (Hpx), Bloc1s2, Spryd7, Slc17a6 ve Arhgef11 bulundu. Bu adayların bir bölümü sinaptik vezikül işlevi, glutamaterjik sinyal ve hücresel sinyalizasyon ile ilişkili örüntülere işaret etmektedir.

Daha düşük temsil gösteren adaylar arasında Ckm, Mb, Acta1, Eno3, Mmp11, Pvalb, Tars2, Homer3, Pgam2, Serpina3k ve Suox yer aldı. Fonksiyonel zenginleşme çıktılarında Golgi ile ilişkili vezikül membranı, vezikül kılıfı ve glikolitik süreçlere ilişkin terimler öne çıktı; bunlar arasında kanonik glikoliz ve glukozun pirüvata katabolizması da yer aldı. Bununla birlikte, tedavisiz kontrol ile yapılan bu karşılaştırma hem istradefylline hem de taşıyıcı uygulamasına ilişkin olası katkıları aynı anda içerebileceğinden farmakolojik açıdan en seçici karşılaştırma değildir.

CSH-IST ve CSH-DMSO: tedavi açısından temel karşılaştırma

Farmakolojik müdahalenin taşıyıcıdan ayrıştırılması bakımından en doğrudan karşılaştırma CSH-IST ile CSH-DMSO arasında yapıldı. Bu karşılaştırmada 2037 protein değerlendirildi; istradefylline örneğinde 19 aday protein daha yüksek, 34 aday protein daha düşük temsil gösterdi. Daha yüksek temsil gösteren proteinler arasında Mag, Fxyd7, Rab10, Adam10, Plekhf1, Tsc22d4, Septin3, Rasa1, Cdc5l, Hpx, Phldb1 ve Yes1 yer aldı. Bu protein kümesi membran organizasyonu, veziküler taşınma, Ras/Rho ile ilişkili sinyal mekanizmaları, proteolitik işleme ve nöronal yapısal düzenleme başlıklarıyla uyumlu bir örüntü oluşturdu.

Daha düşük temsil gösteren adaylar arasında Mmp11, Mbp izoformları, Tubb2b, Tpp1, Mt-atp8, Hba1, Cbr3, Tagln, S100a1, H2aj, Acta1, Col1a1 ve Tomm20 bulundu. Bu adayların birlikte değerlendirilmesi miyelin/sitoskeleton organizasyonu, mitokondriyal işlev, ekstraselüler matriks, metabolik düzenleme ve hücresel stres yanıtı ile ilişkili bir profil ortaya koydu. Özellikle aşağı yönde temsil edilen aday kümesinde 'hiperkoksiye yanıt' terimi Col1a1 ve Mt-atp8 tarafından sürüklenen zenginleşme başlıklarından biri olarak belirlendi.

Z-skor normalize ısı haritaları, üç karşılaştırmada da örnekler arasında görsel protein bolluk örüntüleri ortaya koydu. CSH-IST/CSH-DMSO ısı haritasında, istradefylline örneğinin taşıyıcı

örneğinden özellikle miyelin/sitoskeleton, mitokondriyal işlev, ekstraselüler matriks/stres yanıtı ve veziküler taşınma ile ilişkili adaylar bakımından ayrıldığı görüldü. Bu görünüm, tek örnekli tasarım nedeniyle kümelenme ya da grup ayrımı şeklinde yorumlanmamalı; hedefli doğrulama için aday seçimini kolaylaştıran bir örnek-düzeyi görselleştirmesi olarak değerlendirilmelidir.

Tablo 2. CSH-IST/CSH-DMSO karşılaştırmasında seçilmiş aday proteinler ve keşifsel biyolojik bağlam.

Yön	Seçilmiş aday proteinler	İlişkili örüntüler
Daha yüksek temsil	Mag, Fxyd7, Rab10, Adam10, Plekhf1, Tsc22d4, Septin3, Rasa1, Cdc5l, Hpx, Phldb1, Yes1	Membran organizasyonu, veziküler taşınma, sinyalizasyon, proteolitik işleme ve nöronal yapısal düzenleme
Daha düşük temsil	Mmp11, Mbp, Tubb2b, Tpp1, Mt-atp8, Hba1, Cbr3, Tagln, S100a1, H2aj, Acta1, Col1a1, Tomm20	Miyelin/sitoskeleton, mitokondriyal işlev, ekstraselüler matriks, metabolik ve stres yanıtı örüntüleri

Bulguların biyolojik değerlendirilmesi

Ortaya çıkan örüntüler, kronik hipoksi sırasında A2AR antagonizmasına eşlik eden değişikliklerin tek bir biyolojik süreçle sınırlı olmayabileceğini düşündürmektedir. Veziküler taşınma ve membran organizasyonu ile ilişkili adayların daha yüksek temsil göstermesi, sinaptik ve hücre içi trafik mekanizmalarının farmakolojik A2AR blokajına duyarlı olabileceğine yönelik bir hipotez üretmektedir. Adenozinerjik sinyalin sinaptik iletim ve hücresel uyarılabilirlikle ilişkisi göz önünde bulundurulduğunda bu yönelim biyolojik olarak anlamlıdır; ancak mevcut tasarım protein değişiklikleri ile reseptör blokajı arasında nedensellik kurmaya yeterli değildir (Fredholm et al., 2001; Moya & Powell, 2018).

Miyelin ve sitoskeleton ile ilişkili Mbp ve Tubb2b gibi adayların, mitokondriyle ilişkili Mt-atp8 ve Tomm20'un ve ekstraselüler matriks bileşeni Col1a1'in taşıyıcıya kıyasla daha düşük temsil göstermesi, kronik hipoksi altındaki yapısal ve metabolik adaptasyonun A2AR antagonizmasıyla birlikte farklılaşabileceğini düşündüren ikinci bir aday örüntü ortaya koymaktadır. Hipoksi hücresel enerji kullanımını, oksidatif dengeyi ve mitokondriyal programları yeniden düzenleyebilir; bu nedenle enerji metabolizması ve organel işlevi ile ilişkili proteinlerin keşifsel adaylar arasında görülmesi beklenebilir (Semenza, 2012). Bununla birlikte, örneklerin yalnızca beyin sapı düzeyinde analiz edilmiş olması bölgesel ve hücre-tipi özgül sinyallerin birbirine karışmasına neden olabilir.

CSH-DMSO/CSH-CON karşılaştırmasının kendisinin de çok sayıda aday protein ve fonksiyonel terim üretmesi, taşıyıcının deneysel bağlamda ihmal edilemeyeceğini göstermektedir. Bu nedenle çalışmada tedaviye ilişkin yorumlar özellikle CSH-IST/CSH-DMSO karşılaştırmasına dayandırılmıştır. Yine de DMSO ile tedavisiz hipoksi kontrolü arasında görülen farkların biyolojik tekrarlarla doğrulanması, gelecekteki tasarımlarda taşıyıcı seçimi ve konsantrasyonunun etkisinin daha ayrıntılı değerlendirilmesini gerektirebilir.

Bu çalışmanın en önemli sınırlılığı, her deneysel koşulun yalnızca bir biyolojik örnekle temsil edilmesidir. Bu nedenle koşul içi varyans hesaplanamamış, biyolojik tekrarlanabilirlik değerlendirilememiş ve istatistiksel olarak desteklenmiş diferansiyel protein bolluğu analizi yapılamamıştır. PCA ayrışması, ısı haritaları, bolluk yönleri ve fonksiyonel zenginleşme sonuçlarının tümü örnek-düzeyinde keşifsel çıktılardır. Ayrıca proteomik analiz normoksik bir kontrol örneği içermediği için bulgular kronik hipoksinin kendisine ait bir proteomik imzayı tanımlamaz; yalnızca kronik hipoksi altında tedavisiz, taşıyıcı ve istradefylline koşullarının birbirleriyle ilişkili örüntülerini gösterir.

Gelecek çalışmaların her grup için yeterli biyolojik replikasyon içermesi, önceden belirlenmiş istatistiksel analiz planı kullanması ve aday proteinlerin bağımsız yöntemlerle doğrulanması gerekir. Özellikle Rab10, Adam10, Septin3, Mbp, Tomm20, Mt-atp8 ve Col1a1 gibi bu çalışmada belirgin örnek-düzeyi farkı gösteren adayların hedefli kütle spektrometrisi, Western blot veya immünhistokimyasal yöntemlerle incelenmesi yararlı olabilir. Beyin sapının anatomik olarak heterojen yapısı nedeniyle nucleus tractus solitarius gibi solunumla ilişkili çekirdeklerin mikrodiseksiyonu ya da hücre-tipi özgül proteomik yaklaşımlar da sinyalin kaynağını daha iyi çözümleyebilir. Bu yaklaşım, keşifsel veri setindeki adayların mekanistik hipotezlere dönüştürülmesini sağlayabilir.

Finansal destek

Bu çalışmanın temel deneysel altyapısı Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi (TDK-2023-12766) ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK; 125S423) tarafından desteklenmiştir.

SONUÇ

Bu keşifsel proteomik analiz, kronik sürdürülen hipoksi sırasında A2A reseptör antagonisti istradefylline uygulamasına eşlik eden beyin sapı protein örüntülerini örnek-düzeyinde tanımlamıştır. Üç kronik hipoksi koşulunun global proteomik profilleri yüksek korelasyon gösterse de, örnekler PCA ve ısı haritalarında farklı dağılımlar sergilemiş; özellikle CSH-IST/CSH-DMSO karşılaştırmasında veziküler taşınma ve membran organizasyonu ile ilişkili bazı adayların daha yüksek, miyelin/sitoskeleton, mitokondriyal işlev, ekstraselüler matriks ve stres yanıtı ile ilişkili bazı adayların ise daha düşük temsil gösterdiği görülmüştür.

Bu bulgular A2AR blokajının kronik hipoksi altındaki beyin sapı proteomunu değiştirdiğini kanıtlamaz; buna karşılık biyolojik replikasyonlu deneylerde sınanabilecek aday proteinler ve süreçler için yönlendirici bir ön veri seti sağlar. Çalışmanın temel katkısı, kesin bir mekanizma ileri sürmekten çok, istradefylline-taşıyıcı karşılaştırmasından türeyen aday moleküler

eksenleri tanımlaması ve gelecekteki hedefli doğrulama çalışmalarına önceliklendirme çerçevesi sunmasıdır.

KAYNAKÇA

Fredholm, B. B., IJzerman, A. P., Jacobson, K. A., Klotz, K.-N., & Linden, J. (2001). International Union of Pharmacology. XXV. Nomenclature and classification of adenosine receptors. Pharmacological Reviews, 53(4), 527-552.

Moya, E. A., & Powell, F. L. (2018). Serotonin and adenosine G-protein coupled receptor signaling for ventilatory acclimatization to sustained hypoxia. Frontiers in Physiology, 9, 860. https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00860

Pamenter, M. E., & Powell, F. L. (2016). Time domains of the hypoxic ventilatory response and their molecular basis. Comprehensive Physiology, 6(3), 1345-1385. https://doi.org/10.1002/cphy.c150026

Parkinson, F. E., Xiong, W., & Zamzow, C. R. (2005). Astrocytes and neurons: Different roles in regulating adenosine levels. Neurological Research, 27(2), 153-160.

Powell, F. L., Milsom, W. K., & Mitchell, G. S. (1998). Time domains of the hypoxic ventilatory response. Respiration Physiology, 112(2), 123-134.

Semenza, G. L. (2012). Hypoxia-inducible factors in physiology and medicine. Cell, 148(3), 399-408. https://doi.org/10.1016/j.cell.2012.01.021

Wiśniewski, J. R., Zougman, A., Nagaraj, N., & Mann, M. (2009). Universal sample preparation method for proteome analysis. Nature Methods, 6(5), 359-362. https://doi.org/10.1038/nmeth.1322

FERULİK ASİDİN SH-SY5Y NÖROBLASTOM HÜCRELERİNDE HÜCRE CANLILIĞI VE MİGRASYON ÜZERİNE ETKİSİ

Dr.Öğr.Üyesi Çiğdem KARACA
Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Tıp Fakültesi Histoloji Embriyoloji A.D. 27010, Şahinbey,Gaziantep
ORCID ID: 0000-0003-2106-2422
Dr.Öğr.Üyesi Nihal ÜREN
Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Biyoloji A.D. 27010, Şahinbey,Gaziantep
ORCID ID: 0000-0003-2482-9465
Dr.Öğr.Üyesi Mustafa ÖZTATLICI
Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Tıp Fakültesi Histoloji Embriyoloji A.D. 27010, Şahinbey,Gaziantep
ORCID ID: 0000-0001-9914-7122
Dr.Öğr.Üyesi Seçil EROĞLU
Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Tıp Fakültesi Tıbbi Biyoloji A.D. 27010, Şahinbey,Gaziantep
ORCID ID: : 0000-0002-1536-1736
Prof. Dr. Mehmet YÜNCÜ
Hoca Ahmat Yesevi Turkish-Kazakh University, Faculty of Medicine. Turkestan/Kazakhstan
ORCID ID: 0000-0002-2519-6834
Dr.Öğr.Üyesi Ayşegül Burçin YILDIRIM
Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Tıp Fakültesi Histoloji Embriyoloji A.D. 27010, Şahinbey,Gaziantep
ORCID ID: 0000-0001-7240-9997
Dr.Öğr.Üyesi Nilgün OKŞAK
Harran Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi 63300 Haliliye, Şanlıurfa
ORCID ID: 0000-0002-6058-9414

ÖZET

Nöroblastom tedavisinde kullanılan kemoterapötik ajanların toksik etkileri yeni ve destekleyici tedavi yaklaşımlarına olan ihtiyacı artırmaktadır. Bu çalışmada, doğal bir fenolik bileşik olan ferulik asidin (FA), SH-SY5Y nöroblastom hücrelerinde hücre canlılığı ve migrasyon üzerine etkilerinin Topotekan (TPC) ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi amaçlandı. İnsan SH-SY5Y nöroblastom hücreleri kültüre edildi. Hücre canlılığı, farklı konsantrasyonlarda FA ve TPC uygulanmasını takiben MTT yöntemi ile değerlendirildi. Her iki ajan için doz-yanıt ilişkisi incelenerek yaklaşık IC_{50} değerleri belirlendi. Hücre migrasyonunun değerlendirilmesi amacıyla yara yeri kapanma deneyi gerçekleştirildi. Kontrol, TPC, FA ve TPC+FA grupları oluşturularak 0, 24, 48 ve 72. saatlerde yara alanındaki değişimler mikroskobik olarak değerlendirildi. MTT analizinde TPC uygulamasının hücre canlılığı üzerinde belirgin ve doza bağımlı sitotoksik etki oluşturduğu gözlendi. TPC için yaklaşık IC_{50} değeri 100 µM olarak belirlenirken, FA için yaklaşık IC_{50} değeri 200 µM olarak hesaplandı. FA uygulamasında yüksek dozlarda dahi hücre canlılığındaki azalmanın TPC'ye kıyasla daha sınırlı olduğu görüldü. Yara yeri kapanma deneyinde kontrol grubunda yara alanı zamanla düzenli olarak

azalırken, FA grubunda yara alanının giderek arttığı ve hücre migrasyonunun belirgin şekilde baskılandığı gözlendi. TPC+FA grubunda da yara alanının zamanla arttığı ve 72. saatte hücre kaybına bağlı olarak belirgin bir kapanma paterni oluştuğu gözlendi. Bulgularımız, FA'nın SH-SY5Y nöroblastom hücrelerinde düşük sitotoksisite profiline rağmen hücre migrasyonunu baskılayabildiğini göstermektedir. Bu özellik, FA'nın nöroblastomda tümör hücrelerinin migrasyonunu sınırlamaya yönelik potansiyel destekleyici bir ajan olabileceğini düşündürmektedir. Bulguların ileri in vitro ve in vivo çalışmalarla desteklenmesi gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Ferulik asit, nöroblastom, SH-SY5Y, Topotekan, hücre migrasyonu, MTT

Bu çalışma Gaziantep İslam Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından Genel Araştırma Projesi 2023-GAP- TF-0002 Proje numarası ile desteklenmiştir.

THE EFFECT OF FERULIC ACID ON THE VIABILITY AND MIGRATION OF SH-SY5Y NEUROBLASTOMA CELLS

ABSTRACT

The toxic effects of chemotherapeutic agents used in neuroblastoma treatment increase the need for new supportive approaches. This study aimed to evaluate the effects of ferulic acid (FA), a naturally occurring phenolic compound, on the viability and migration of SH-SY5Y neuroblastoma cells, compared with topotecan (TPC). Human SH-SY5Y neuroblastoma cells were cultured. Cell viability was evaluated using the MTT method after different concentrations of FA and TPC were applied. The dose-response relationship was examined for both agents and approximate IC_{50} values were determined. A wound closure experiment was performed to evaluate cell migration. Groups were formed for the control, TPC, FA and TPC+FA conditions, and changes in the wound area were evaluated microscopically at 0, 24, 48 and 72 hours. The MTT analysis revealed that TPC application had a significant, dose-dependent cytotoxic effect on cell viability. The approximate IC_{50} value for TPC was found to be 100 µM, whereas the approximate IC_{50} value for FA was found to be 200 µM. Even at high doses, FA application was found to result in a more limited decrease in cell viability compared to TPC. In the wound closure experiment, the wound area decreased regularly over time in the control group, whereas it gradually increased in the FA group and cell migration was significantly suppressed. In the TPC+FA group, the wound area increased over time and significant closure was observed at 72 hours due to cell loss. Our findings demonstrate that FA can suppress cell migration in SH-SY5Y neuroblastoma cells despite its low cytotoxicity profile. This suggests that FA could be a potential supportive agent for limiting tumour cell

migration in neuroblastoma. Further in vitro and in vivo studies are needed to confirm these results.

Keywords: ferulic acid, neuroblastoma, SH-SY5Y, topotecan, cell migration, MTT

This study was supported by the Gaziantep Islam Science and Technology University Scientific Research Projects Coordination Unit under the General Research Project number 2023-GAP-TF-0002.

CYP24A1 rs1570669 VE rs2762934 POLİMORFİZMLERİ İLE MESANE KANSERİ YATKINLIĞI ARASINDAKİ İLİŞKİ: TÜRK TOPLUMUNDA BİR OLGU-KONTROL ÇALIŞMASI

Hasan Sulhan[1], Yakup Akkoç[2*], Ersin Akgöllü[3]
[1] Adıyaman Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Üroloji Anabilim Dalı, Adıyaman, Türkiye
[2] Ardahan Üniversitesi, Posof Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Ardahan, Türkiye
[3] Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi, Patnos Meslek Yüksekokulu, Eczacılık Bölümü, Ağrı, Türkiye
ORCID: Hasan Sulhan: 0000-0001-7344-4508; Yakup Akkoç: 0000-0002-2622-1341; Ersin Akgöllü: 0000-0003-3636-401X
* Sorumlu yazar: yakupakkoc@com.tr

ÖZET

CYP24A1, D vitamini metabolizmasında görev alan ve aktif D vitamininin inaktivasyonunu katalizleyen temel enzimlerden biridir. Bu çalışmada, CYP24A1 genindeki rs2762934 ve rs1570669 polimorfizmlerinin Türk toplumunda mesane kanseri yatkınlığı ve klinikopatolojik özelliklerle ilişkisinin araştırılması amaçlandı. Olgu-kontrol tasarımındaki çalışmaya, Mart 2025-Mart 2026 tarihleri arasında 152 mesane kanseri hastası ve 178 sağlıklı kontrol dahil edildi. Genomik DNA periferik kandan izole edildi ve polimorfizmler TaqMan allelik ayrım yöntemi kullanılarak gerçek zamanlı PCR ile genotiplendirildi. Genotip ve allel ilişkileri; yaş, cinsiyet, beden kütle indeksi, sigara ve alkol kullanımı değişkenlerine göre düzeltilmiş lojistik regresyon modelleriyle değerlendirildi. Her iki polimorfizmin genotip ve allel dağılımları bakımından hasta ve kontrol grupları arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmadı. Bununla birlikte, her iki varyantın A alleli ve A alleli taşıyan genotipleri mesane kanseri açısından istatistiksel olarak anlamlı olmayan risk yönlü bir eğilim gösterdi. rs2762934-A/rs1570669-A haplotipi için de hastalık riskinde anlamlı olmayan 1,32 kat artış saptandı. Bağlantı dengesizliği analizinde iki lokus arasında güçlü bağlantı dengesizliği belirlendi (D'=0,91; r=-0,44). Klinikopatolojik değerlendirmede rs2762934 A alleli daha büyük tümör boyutuyla (OR=2,05; p=0,009), rs1570669 A alleli ise yüksek tümör derecesiyle (OR=1,75; p=0,046) nominal olarak ilişkiliydi; ancak bu ilişkiler Bonferroni düzeltmesinden sonra anlamlılığını korumadı. Sonuç olarak, rs2762934 ve rs1570669 polimorfizmleri bu Türk kohortunda genel mesane kanseri yatkınlığıyla anlamlı düzeyde ilişkili değildir. Bulguların daha büyük, çok merkezli kohortlarda ve genotip-ekspresyon analizleriyle doğrulanması gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: CYP24A1, mesane kanseri, rs2762934, rs1570669, genetik polimorfizm

DAMNACANTHAL'IN A549 AKCİĞER ADENOKARSINOM HÜCRELERINDE HÜCRE CANLILIĞI ÜZERINE ETKISI

Uzm. Dr. Manolya Sancaktar
Gaziantep City Hospital, Department of Histology and Embryology, 27080 Gaziantep
ORCID ID/0009-0004-6314-8165
Doç. Dr. Nuray Bostancıeri
Gaziantep University, Faculty of Medicine, Department of Histology and Embryology, 27310 Gaziantep, ORCİD ID/ 0000-0002-3765-8274
Dr. Öğr. Üyesi Çiğdem Karaca
Gaziantep Islam Science and Technology University, Faculty of Medicine, Department of Histology and Embryology, 27010 Gaziantep
ORCID ID/0000-0003-2106-2422,

ÖZET

Akciğer kanseri, yüksek mortalite oranları ve tedaviye karşı gelişebilen direnç nedeniyle yeni terapötik yaklaşımlara ihtiyaç duyulan önemli malignitelerden biridir. Doğal kaynaklı biyoaktif bileşikler, potansiyel antitümöral etkileri nedeniyle kanser araştırmalarında giderek daha fazla ilgi görmektedir. *Morinda citrifolia* L.'den elde edilen antrakinon türevi bir bileşik olan Damnacanthal'ın farklı kanser hücrelerinde antiproliferatif ve sitotoksik etkiler gösterebildiği bildirilmektedir. Bu çalışmanın amacı, Damnacanthal'ın A549 insan akciğer adenokarsinom hücrelerinin canlılığı üzerindeki etkisini farklı konsantrasyon ve uygulama sürelerinde değerlendirmektir. A549 hücreleri 96 kuyucuklu kültür plaklarına her kuyucukta 5×10^4 hücre olacak şekilde ekildi ve 37 °C, %5 CO_2 koşullarında 24 saat inkübe edilerek hücrelerin yüzeye tutunması sağlandı. Hücrelere 0, 25, 50, 100 ve 200 µM konsantrasyonlarda Damnacanthal 24 ve 48 saat süreyle uygulandı. Hücre canlılığı ve metabolik aktivite MTT [3-(4,5-dimetiltiyazol-2-il)-2,5-difeniltetrazolyum bromür] testi ile değerlendirildi. İnkübasyon sürelerinin sonunda hücrelere MTT solüsyonu eklenerek 4 saat inkübe edildi ve oluşan formazan kristalleri DMSO ile çözündürüldü. Absorbans değerleri mikroplaka okuyucuda 570 nm dalga boyunda ölçüldü. Deneyler üç tekrarlı olarak gerçekleştirildi ve Damnacanthal uygulanmayan kontrol grubunun hücre canlılığı %100 kabul edilerek uygulama gruplarının canlılık oranları hesaplandı. Damnacanthal konsantrasyonunun artmasıyla A549 hücre canlılığının azaldığı gözlendi. Konsantrasyon-canlılık ilişkisinin değerlendirilmesi sonucunda Damnacanthal'ın A549 hücreleri için IC_{50} değeri 50 µM olarak belirlendi. Elde edilen bulgular, Damnacanthal'ın A549 akciğer adenokarsinom hücrelerinin canlılığını konsantrasyona bağlı olarak azalttığını ve bu hücreler üzerinde antiproliferatif ve/veya sitotoksik potansiyele sahip olabileceğini göstermektedir. Bu sonuçlar, Damnacanthal'ın akciğer kanseri hücreleri üzerindeki biyolojik etkilerinin daha ileri moleküler çalışmalarla araştırılmasına temel oluşturabilecek niteliktedir.

Anahtar kelimeler: A549, Damnacanthal, MTT, Akciğer adenokarsinomu

Bu çalışma, Gaziantep Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından TF.UT.23.37 proje numarası ile desteklenmiştir.

THE EFFECT OF DAMNACANTHAL ON CELL VIABILITY IN A549 LUNG ADENOCARCINOMA CELLS

ABSTRACT

Lung cancer is one of the major malignancies for which new therapeutic approaches are needed due to high mortality rates and the potential for resistance to treatment. Naturally occurring bioactive compounds are attracting increasing interest in cancer research because of their potential antitumor effects. It has been reported that Damnacanthal, an anthraquinone derivative derived from Morinda citrifolia L., can exhibit antiproliferative and cytotoxic effects on various cancer cells. The aim of this study is to evaluate the effect of Damnacanthal on the viability of A549 human lung adenocarcinoma cells at different concentrations and exposure times. A549 cells were seeded into 96-well culture plates at a density of 5×10^4 cells per well and incubated at 37 °C and 5% CO_2 for 24 hours to ensure cell adhesion to the surface. Damnacanthal was applied to the cells at concentrations of 0, 25, 50, 100, and 200 µM for 24 and 48 hours. Cell viability and metabolic activity were assessed using the MTT [3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide] assay. At the end of the incubation periods, MTT solution was added to the cells, which were then incubated for 4 hours, and the resulting formazan crystals were dissolved in DMSO. Absorbance values were measured at a wavelength of 570 nm using a microplate reader. The experiments were conducted in triplicate, and the viability rates of the treatment groups were calculated by taking the cell viability of the control group (which did not receive Damnacanthal) as 100%. It was observed that A549 cell viability decreased as the concentration of Damnacanthal increased. As a result of evaluating the concentration-viability relationship, the IC_{50} value of Damnacanthal for A549 cells was determined to be 50 µM. The findings indicate that Damnacanthal reduces the viability of A549 lung adenocarcinoma cells in a concentration-dependent manner and may possess antiproliferative and/or cytotoxic potential against these cells. These results provide a basis for further molecular studies investigating the biological effects of Damnacanthal on lung cancer cells.

Keywords: A549, Damnacanthal, MTT, Lung adenocarcinoma

This study was supported by Gaziantep University Scientific Research Project Unit under Project No: TF.UT.23.37

VAN İLİNDE DOĞAL OLARAK YETİŞEN *Rheum ribes* L. BİTKİSİNDE KALLUS OLUŞUMU

Dr. Öğr. Üyesi Metin KOÇAK
Van Yüzüncü Yıl University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Biotechnology, 65030 Tuşba, Van
ORCID ID: 0000-0002-8109-5245

ÖZET

Yabani ravent (*Rheum ribes* L.), Doğu Anadolu Bölgesi'nde doğal olarak yetişen, tıbbi ve besinsel öneme sahip bir bitki türüdür. Bu çalışmada, yabani ravent (*Rheum ribes* L.) bitkisinde farklı eksplant tipleri, bitki büyüme düzenleyicileri ve kültür koşullarının kallus oluşumu üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Kallus oluşumu için eksplant olarak doğadan toplanan çiçek sapları ve in vitro koşullarda elde edilen bitkiciklerden alınan steril kotiledon, kotiledon sapı, kök ve hipokotil eksplantları kullanılmıştır. Çiçek sapı eksplantları, farklı oksin ve sitokinin kombinasyonlarını içeren sekiz farklı Murashige ve Skoog (MS) besin ortamında kültüre alınmıştır. Yalnızca oksin içeren ortamlarda kallus oluşumu gözlenmezken, oksin ve sitokininlerin birlikte kullanıldığı ortamlarda farklı oranlarda kallus oluşumu sağlanmıştır. En yüksek kallus oluşumu %66,6 ile 2 mg/L Naftalin asetik asit (NAA) + 1 mg/L Benzil adenin (BA) içeren ortamda, bunu %50 ile 2 mg/L 2,4-diklorofenoksiasetik asit (2,4-D) + 1 mg/L BA içeren ortam takip etmiştir. BA kullanılan diğer sitokininlere göre kallus oluşumunu daha fazla desteklemiştir. Steril bitkiciklerden elde edilen eksplantlar arasında en yüksek kallus oluşumu hipokotil (%90,51), kök (%89,90) ve kotiledon sapı (%84,83) eksplantlarında belirlenirken, kotiledon eksplantında %56,73 olarak gerçekleşmiştir. Karanlık koşullarda kallus oluşumunun genel olarak daha yüksek bulunmuştur. Glutamin ve myo-inositol ilavesinin ise kallus oluşumu üzerinde önemli bir etkisi olmamıştır. Sonuç olarak, *R. ribes*'te kallus oluşumunun eksplant tipine, bitki büyüme düzenleyicilerinin kombinasyonuna ve ışık koşullarına bağlı olarak değiştiği belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: *Rheum ribes*, kallus, eksplant, hormon.

CALLUS INDUCTION in *Rheum ribes* L. NATURALLY GROWING in VAN PROVINCE

ABSTRACT

Wild rhubarb (*Rheum ribes* L.) is a plant species of medicinal and nutritional importance that grows naturally in the Eastern Anatolia Region. The aim of this study was to determine the effects of different types of explants, plant growth regulators, and culture conditions on callus formation in wild rhubarb (*Rheum ribes* L.). Pedicel explants collected from the wild and sterile cotyledon, cotyledon petiole, root, and hypocotyl explants obtained from plantlets grown under in vitro conditions were used for callus formation. Pedicel explants were cultured in eight

different Murashige and Skoog (MS) media containing various combinations of auxins and cytokinins. While callus formation was not observed in media containing only auxins, callus formation occurred at varying rates in media where auxins and cytokinins were used together. The highest callus formation rate, at 66.6%, was observed in the medium containing 2 mg/L 1-Naphthaleneacetic acid (NAA) + 1 mg/L Benzyladenine (BA), followed by 50% in the medium containing 2 mg/L 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) + 1 mg/L BA. BA promoted callus formation more than the other cytokinins used. Among the explants obtained from sterile plantlets, the highest callus formation rates were observed in hypocotyl (90.51%), root (89.90%), and cotyledon petiole (84.83%) explants, while the rate in cotyledon explants was 56.73%. Callus formation was generally higher under dark conditions. The addition of glutamine and myo-inositol had no significant effect on callus formation. In conclusion, it was determined that callus formation in *R. ribes* varies depending on the type of explant, the combination of plant growth regulators, and light conditions.

Keywords: *Rheum ribes*, callus, explant, hormon.

KÖPEKLERDE RADYOGRAFİK VE TOMOGRAFİK DİŞ PULPA ORANLARI İLE NON-İNVAZİV YAŞ TAHMİNİ

Dr. Öğr. Üyesi Yasemin ÜSTÜNDAĞ
Dokuz Eylül University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Anatomy, 35400, Buca/İZMİR
ORCID ID: 0000-0002-8836-0371

ÖZET

Köpeklerde yaş tayini; adli veteriner hekimlik, klinik pratik, hayvan refahı denetimleri ve arkeozooloji gibi pek çok alanda kritik bir öneme sahiptir. Geleneksel olarak uygulanan diş çıkarma zamanları ve diş aşınması gözlemleri; ırk, beslenme ve bireysel faktörler nedeniyle yüksek hata payı barındırmakta ve özellikle yasa dışı yavru ticareti gibi yasal süreçlerde yetersiz kalmaktadır. Bu çalışmada, köpeklerde invaziv olmayan, objektif ve güvenilir yaş tahmini sağlayan modern dental ve radyografik analiz yöntemleri derlenmiştir. Yaşlanmayla birlikte diş pulpasında sürekli ikincil dentin birikmesi, pulpa boşluğunun kademeli olarak daralmasına yol açar. Bu morfolojik süreç, iki boyutlu dental radyografi ve üç boyutlu bilgisayarlı tomografi (BT) teknikleriyle kantitatif olarak ölçülebilmektedir. Yapılan araştırmalarda, üst çene köpek dişlerinin semen-mine bileşkesinden ölçülen pulpa/diş genişlik oranının (P/T) yaşla güçlü bir negatif korelasyon gösterdiği belirlenmiştir. Bu yöntem özellikle ilk 448 güne kadar olan genç erişkin köpeklerin yaş kategorilerine ayrılmasında yüksek doğruluk (%84,4) sunmaktadır. BT tabanlı üç boyutlu P/T hacim oranları ise doku çakışmalarını tamamen önleyerek tahmin hassasiyetini daha da artırmakta ve logaritmik regresyon modellerinin doğrusal modellere kıyasla yaş tahmininde en yüksek uyumu gösterdiğini kanıtlamaktadır. Arkeozoolojik çalışmalarda ise köpek dişlerinin yanı sıra mandibular birinci molar (M1) dişin mesial ve distal köklerinin pulpa kapanma oranlarının da yaşla güçlü ilişkisi saptanmış; bu yöntemle Sibirya Ust'-Polui arkeolojik alanındaki köpek kalıntılarının yaş profilleri başarıyla modellenmiştir.

Sonuç olarak; radyografik ve tomografik pulpa oran analizleri, cinsiyet ve ırktan bağımsız, tekrarlanabilir ve güvenilir yaş tahminleri sunmaktadır Bu objektif yöntemlerin yaygınlaştırılması, özellikle adli vakalarda standardizasyon sağlayarak adli veteriner hekimliğe ve hayvan refahının korunmasına önemli katkılar sunacaktır.

Anahtar kelimeler: Dental radyografi, köpek, pulpa/diş oranı, yaş tahmini

NON-INVASIVE AGE ESTIMATION IN DOGS BASED ON RADIOGRAPHIC AND TOMOGRAPHIC DENTAL PULP RATIOS

ABSTRACT

Age estimation in dogs is of critical importance in a wide range of fields, including forensic veterinary medicine, clinical practice, animal welfare inspections and archaeozoology. Traditionally used methods based on tooth eruption times and dental wear observations have considerable margins of error due to breed, diet and individual variation, and are particularly inadequate in legal proceedings such as the investigation of illegal puppy trading. This study reviews modern dental and radiographic analytical methods that provide non-invasive, objective and reliable age estimation in dogs. With advancing age, continuous deposition of secondary dentine within the dental pulp results in a gradual reduction in the size of the pulp cavity. This morphological process can be quantitatively assessed using two-dimensional dental radiography and three-dimensional computed tomography (CT) techniques. Previous studies have demonstrated a strong negative correlation between age and the pulp/tooth width ratio (P/T), measured at the cemento-enamel junction of the maxillary canine teeth. This method provides high accuracy (84.4%) for categorising young adult dogs up to 448 days of age. Three-dimensional CT-based pulp/tooth volume ratios further improve estimation accuracy by eliminating tissue superimposition, while logarithmic regression models have demonstrated the best fit for age estimation compared with linear models. In archaeozoological studies, the pulp closure ratios of the mesial and distal roots of the mandibular first molar (M1), in addition to canine teeth, have also been found to be strongly associated with age. Using this approach, the age profiles of dogs recovered from the Ust'-Polui archaeological site in Siberia were successfully modelled. In conclusion, radiographic and tomographic pulp ratio analyses provide objective, reproducible and reliable estimates of age, irrespective of sex and breed. Wider adoption of these objective methods may contribute substantially to the standardisation of age estimation, particularly in forensic cases, thereby supporting forensic veterinary medicine and the protection of animal welfare.

Keywords: Age estimation, dental radiography, dog, pulp/tooth ratio

FRAGMENTATION AND SEA CONNECTION OF A LAGOON BARRIER: ANALYSIS OF LİMAN LAGOON IN THE KIZILIRMAK DELTA USING A SENTINEL-2 TIME SERIES (2017-2026)

Mustafa GÜLER
Ondokuz Mayıs University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Structures and Irrigation, Samsun, Türkiye
ORCID ID: 0009-0003-6357-5717
mustafa.guler@omu.edu.tr

ABSTRACT

Coastal lagoons are transitional ecosystems of high ecological value, separated from the sea by sandy barriers and sensitive to external interventions. The Kızılırmak Delta, protected under the Ramsar Convention, has for many years been exposed to severe coastal erosion because of the decline in the sediment load carried by the river following the construction of the Altınkaya (1988) and Derbent (1990) dams. The delta, which also encompasses the Bafra Plain, is at the same time an important agricultural area where rice and vegetables are intensively cultivated. In this study, the fragmentation of the sandy barrier separating Liman Lagoon from the sea in the eastern part of the delta over the 2017-2026 period was analyzed by means of remote sensing. The analyses were carried out on the Google Earth Engine (GEE) platform using Sentinel-2 surface reflectance imagery. Cloud cover was removed with the s2cloudless mask, the water-land separation was performed using the NDWI, and the sand area within a fixed 22-hectare reference strip covering the most critical section of the barrier was computed for each image. A total of 259 images with a cloud-free ratio above 85% were evaluated. The mean sand area within the reference strip declined from 16.2 hectares in 2017 to 0.6 hectares in 2026. The process comprised three stages: a slow thinning between 2017 and 2023, an abrupt breach recorded between 18 and 28 March 2024, in which the sand area dropped from 9.5 to 2.9 hectares (a loss of 69% within a ten-day window), and a subsequent irreversible erosion. Linear regression applied separately to the two periods showed that the erosion rate quadrupled after the breach, rising from 0.99 ha/year ($R^2 = 0.68$; $p < 0.001$) to 3.91 ha/year ($R^2 = 0.79$; $p < 0.001$). The mean sand area, which was 12.3 hectares before the breach, fell to 4.0 hectares afterwards, a decrease of 67%. The continuous connection established between the lagoon and the sea following the breach causes the lagoon water to approach the characteristics of seawater; it is considered that this salinization may in time adversely affect irrigation water quality and agricultural production in the region. The findings were validated with unmanned aerial vehicle imagery dated 24 September 2025. Earlier studies had identified Liman Lagoon as being at risk of merging with the sea and had projected this merging for 2030; the present study documents that the barrier was in fact breached in March 2024.

Keywords: Coastal erosion, Kızılırmak Delta, lagoon, Sentinel-2, Google Earth Engine, irrigation water quality

1. INTRODUCTION

Coastal lagoons are shallow water bodies located in the transitional zone between the sea and the land, partly or wholly separated from the open sea by narrow sandy barriers (cordons). Owing to their high biological productivity, the waterbird populations they support and their importance for fisheries, these ecosystems are regarded as one of the most valuable wetland types in the world (Kjerfve, 1994). At the same time, because they depend on the dynamic structure of the sandy barrier that separates them from the sea, lagoons are extremely sensitive to natural and human-induced changes. The degree of hydrological connectivity between a lagoon and the open sea, which is governed by the characteristics of its inlets, determines the salinity of the lagoon and may allow it to vary from fresh to hypersaline (Duck and da Silva, 2012). The thinning, breaching and segmentation of such barriers are therefore key processes in coastal geomorphology (FitzGerald et al., 2008), and the loss of the barriers that separate the lagoons of the Kızılırmak Delta from the sea is expected to increase lagoon salinity and to alter the physical and chemical properties of these water bodies (Zeybek et al., 2018).

Dams built in river catchments substantially reduce the amount of sediment that rivers carry to the sea, and the trapping of sediment in upstream reservoirs is one of the main reasons why deltas worldwide are becoming increasingly vulnerable (Syvitski et al., 2009). The response of delta shorelines to this reduction is nevertheless heterogeneous: in a global assessment of 54 deltas, Besset et al. (2019) found 29 to be in overall erosion, 18 to be advancing and seven to show no significant change, while the deltas in erosion had experienced a reduction in fluvial sediment load twice as large as that of the stable or advancing ones. Those authors therefore regard fluvial sediment supply primarily as an agent of resilience, and they call for more in-depth studies of individual deltas. The Kızılırmak Delta, the largest delta on the Black Sea coast of Türkiye, is a typical example of this process. Following the commissioning of the Altınkaya (1988) and Derbent (1990) dams on the Kızılırmak River, the annual sediment load transported by the river to the sea decreased markedly: Hay (1994) reported that the sediment discharge of the Kızılırmak fell from approximately 23.1 million tonnes per year before the dams to about 0.46 million tonnes per year, a reduction of nearly 98%. This loss of sediment supply was accompanied by severe coastal erosion at the river mouth and its surroundings, where the shoreline retreated by approximately 1.0 km towards the Bafra Plain (Kökpınar et al., 2007). Indeed, numerous studies have shown that the delta, particularly around the river mouth, has

experienced continuous shoreline retreat over the decades (Turoğlu, 2010; Öztürk and Sesli, 2015; Ataol et al., 2019; Öztürk and Uzun, 2023). Ataol et al. (2019) determined that the most severely affected part of the delta is a 4 km stretch of shoreline east of the river mouth, and showed that this sector, which had advanced at a rate of 6.10 m/year between 1951 and 1990, switched to a retreat of 15.10 m/year between 1990 and 2017. Öztürk and Uzun (2023) calculated that 201.40 hectares of land were lost to erosion in the delta between 1984 and 2022. The Kızılırmak Delta is of great importance not only geomorphologically but also ecologically and economically. A 21,700-hectare portion of the delta plain, which covers approximately 56,000 hectares, was designated on 15 April 1998 as a wetland of international importance under the Ramsar Convention. The area was also included in 2016 in the UNESCO World Heritage Tentative List under the name "Kızılırmak Delta Wetland and Bird Sanctuary," and it holds the Natural Site and Wildlife Development Area protection statuses as well (Ministry of Environment and Urbanization, 2019). The delta contains fourteen different habitat types, including reed beds, freshwater and brackish lagoon mirrors, wet meadows, dune areas and mixed broad-leaved floodplain (riparian) forests, and it hosts more than 365 bird species, corresponding to three-quarters of the bird species recorded in Türkiye. Liman Lagoon, the subject of this study, is one of the important lagoons located, together with the Cernek, Uzun and Balık lakes, in the eastern part of the delta (Ataol et al., 2019), and it lies within the strict protection zone.

The Kızılırmak Delta also encompasses the Bafra Plain, one of the most productive coastal plains in Türkiye. On the plain, rice in particular as well as vegetables and various field crops are intensively grown, and the irrigation water is largely provided by the Bafra Plain Irrigation Scheme supplied from the Derbent Dam. Nevertheless, in the coastal sections that the irrigation network does not reach or where it is insufficient, farmers occasionally draw water from wells and drainage channels as well. In this coastal belt, groundwater salinity has long constituted a problem due to the effect of seawater intrusion (Arslan et al., 2007; Arslan and Demir, 2011; Arslan et al., 2012), and seawater intrusion has also been shown to increase soil salinity and alkalinity on the plain (Arslan and Demir, 2013). It should be noted that all of these studies were carried out on the right bank of the Bafra Plain, that is, on the same eastern side of the delta on which Liman Lagoon is situated. Consequently, the coastal processes in the delta are of direct importance not only ecologically but also in terms of agricultural water management. In recent years, a marked thinning has been observed in the sandy barrier separating Liman Lagoon from the sea in the eastern part of the delta; this process culminated in the breaching

of the barrier at the beginning of 2024, and the lagoon established a direct connection with the sea. Documenting such an event at a daily scale constitutes a valuable case both for coastal geomorphology and for wetland management. The vulnerability of this particular barrier had in fact already been recognised. Öztürk and Sesli (2015) reported that the erosion and shrinkage of the barrier spits in this part of the delta had begun to threaten the lagoons and thus the whole wetland system, and stated that Liman Lagoon was particularly at risk of merging with the sea; the same study calculated a shrinkage of 1.2 hectares per year for Liman Lagoon over the 1962-2013 period. Zeybek et al. (2018) similarly concluded that, should coastal retreat continue, the barriers separating the delta lagoons, among them Liman, from the sea would be destroyed and that the physical and chemical properties of the lagoons would change as their salinity increased. Most explicitly, Öztürk and Uzun (2023) determined that, as of 2022, only 65 m and 50 m of barrier remained in front of the Tuzlu and Liman lagoons respectively, and predicted that these two lagoons might merge with the sea by 2030. What has hitherto been lacking is a direct and dated observation of whether and when this predicted merging actually took place. Remote sensing technologies, and in particular cloud-based platforms such as Google Earth Engine (GEE), provide powerful tools for monitoring such coastal changes by enabling the rapid and systematic processing of a large number of satellite images (Gorelick et al., 2017). The aim of this study is to quantify, by means of a time series constructed from Sentinel-2 satellite images, the thinning and fragmentation process undergone by the Liman Lagoon coastal barrier in the Kızılırmak Delta over the 2017-2026 period, to determine the date on which the barrier was breached, to compare the observed timing with the projections made in earlier studies, and to discuss the possible ecological and agricultural consequences of this change.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Study area

The study area covers Liman Lagoon, located within the boundaries of the Bafra district of Samsun province in the eastern part of the Kızılırmak Delta, together with the sandy barrier that separates this lagoon from the Black Sea (Figure 1). Situated around 41°42′ N latitude and 36°01′ E longitude, the area is a low-gradient coastal plain very close to sea level. Liman Lagoon is a shallow coastal lagoon lying within the strict protection zone of the delta, and it has for many years been separated from the sea by a narrow sand cordon. Because the tidal range of the Black Sea in the region is very low (of the order of a few centimetres), the effect of the tide on the shoreline position is negligible. This allows satellite images of different dates

to be compared without the need for tidal correction. Wind- and pressure-induced (meteorological) water-level fluctuations are nevertheless larger than the astronomical tide in this basin and remain a residual source of uncertainty in the instantaneous shoreline position; the large number of observations used here and the use of annual statistics substantially reduce this effect.

2.2. Satellite data and pre-processing

In the study, atmospherically corrected Level-2A surface reflectance images of the Sentinel-2 satellite of the European Space Agency Copernicus programme were used. The images were obtained from the "COPERNICUS/S2_SR_HARMONIZED" collection on the GEE cloud-based platform. With its 10-metre spatial resolution and five-day revisit time, Sentinel-2 is a suitable data source for the detailed monitoring of the temporal change of a narrow sandy barrier. The analysis period spans from 2017, when the first image of the collection over the region was acquired, to August 2026.

In order to eliminate the effect of clouds and cloud shadows in the images, each Sentinel-2 image was joined with the corresponding cloud-probability (s2cloudless) layer from the "COPERNICUS/S2_CLOUD_PROBABILITY" collection, and pixels with a cloud probability above 40% were masked and excluded from the analysis. In addition, images with a high overall cloud cover across the scene were subjected to a preliminary screening. As a result of this procedure, a large number of usable cloud-free observations were obtained over the study area.

Figure 1. Location of the study area: the Kızılırmak Delta, Liman Lagoon and the sandy barrier, together with the reference strip used for measuring the sand area.

2.3. Water-land separation and computation of the sand area

The separation of the sandy barrier from the surrounding water bodies was carried out using the Normalized Difference Water Index (NDWI). The NDWI is computed from the green and near-infrared (NIR) bands as in Equation 1 (McFeeters, 1996):

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR) \quad (1)$$

For Sentinel-2, the NDWI was computed using the B3 (green) and B8 (near-infrared) bands. Water surfaces yield positive NDWI values, whereas land and sand surfaces yield negative values. In this study, pixels with an NDWI value below zero were classified as “land/sand” and those above zero as “water.” The zero threshold is the value originally proposed for the index, and it performs well here because of the strong NDWI contrast between the bright, dry sand of

the barrier and the surrounding water. Mixed pixels along the water-land boundary nevertheless remain a residual source of uncertainty, of the order of one 10 m pixel along the perimeter of the sand body.

By the very nature of coastal lagoons, the width of the sandy barrier fluctuates seasonally, narrowing and re-forming from time to time depending on wave and current conditions. In order to prevent this seasonal variability from being interpreted as a permanent trend, a fixed reference strip with an area of approximately 22 hectares was defined, covering the most critical section of the barrier (the zone where the breach occurred). This strip was kept unchanged throughout the analysis, and for each image the sand (land) area remaining within the strip was computed in hectares by summing the pixel areas. Only images in which, after the cloud masking described above, more than 85% of the reference strip consisted of valid (unmasked) pixels were included in the evaluation, and a total of 259 images meeting this criterion were analyzed. The resulting sand-area values were ordered chronologically to form a time series depicting the thinning and fragmentation process of the barrier. From the time series, the annual mean, minimum and maximum sand-area values were computed, thereby distinguishing the seasonal fluctuation from the permanent change. Linear regression was applied separately to the pre-breach and post-breach sand-area values in order to quantify and compare the erosion rates of the two periods, and the findings were additionally validated by comparison with imagery obtained from unmanned aerial vehicle (UAV) flights carried out in the area on 24 September 2025.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Multi-temporal appearance of the barrier

The multi-temporal images obtained from the Sentinel-2 time series clearly reveal the marked change undergone by the Liman Lagoon coastal barrier over the 2017-2026 period. In the pre-breach period (Figure 2), the barrier is in the form of a continuous and relatively wide sand cordon. However, it narrows by thinning from year to year. The sand mass that largely filled the reference strip in 2017 had narrowed appreciably by 2023. In the images showing the breach and its aftermath (Figure 3), the barrier is largely fragmented, having turned into a series of detached sand shoals from 2024 onwards, and it had almost entirely disappeared by 2026.

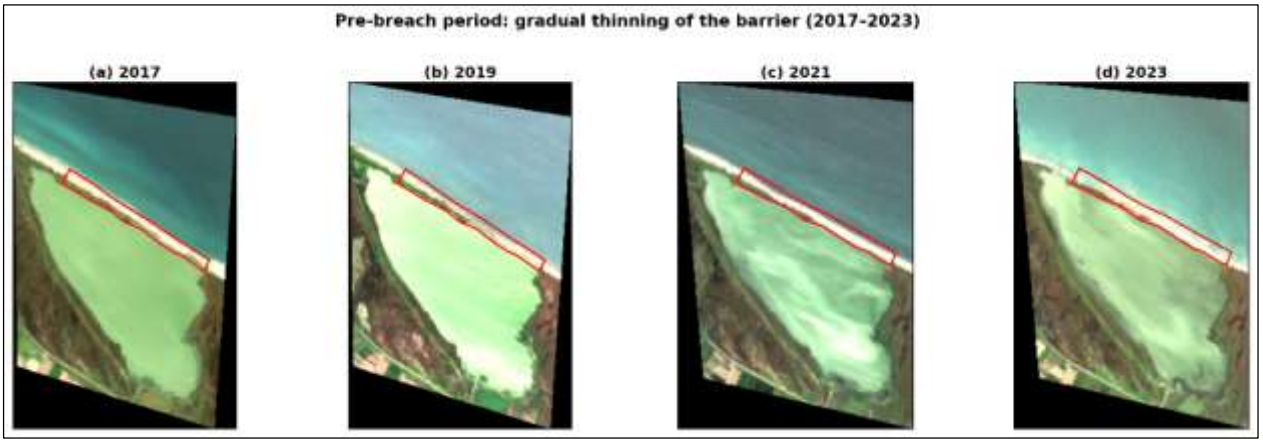


Figure 2. Gradual thinning of the barrier in the pre-breach period: summer images of (a) 2017, (b) 2019, (c) 2021 and (d) 2023. The red polygon shows the fixed reference strip.

Figure 3. The breach and post-breach period: images of (a) 28 March 2024 (breach), (b) summer 2024, (c) summer 2025 and (d) summer 2026. After the breach, most of the reference strip is covered by water and the sand mass has retreated towards the lagoon.

A notable point when Figure 2 and Figure 3 are compared is that, after the breach, the sand mass seen within the reference strip appears to have shifted towards the southern (lagoon) edge of the strip. Since the reference strip was kept fixed throughout the analysis, this appearance results not from a shift of the strip but from the landward (towards the lagoon) retreat of the sandy barrier itself. The landward migration of barriers under the pressure of wave energy and sea level is a well-known process in coastal geomorphology (FitzGerald et al., 2008). This finding shows that the sand-area measurement carried out within a fixed window documents not only the loss of sand but also, indirectly, the positional retreat of the barrier.

3.2. Temporal change of the sand area and the erosion trend

The temporal change of the sand area computed within the reference strip is presented in Figure 4. The sand area, which averaged 16.2 hectares in 2017, displayed a marked and continuous declining trend in the following years. Linear regression was applied separately to the pre-

breach and post-breach periods. In the pre-breach period (2017-March 2024), the sand area decreased steadily at a rate of about 1.0 hectare per year (slope = −0.99 ha/year; $R^2 = 0.68$; $p < 0.001$). In the post-breach period (March 2024-2026), on the other hand, the erosion rate quadrupled, rising to about 3.9 hectares per year (slope = −3.91 ha/year; $R^2 = 0.79$; $p < 0.001$). This marked difference between the two periods shows that the breach was not merely a moment of sudden loss but also a threshold event that permanently accelerated the erosion regime of the barrier. The statistically highly significant declining trend observed in the pre-breach period indicates that the barrier had been structurally weakening for many years well before the sudden collapse; in other words, the 2024 collapse was the threshold point reached by a gradual erosion that had lasted nearly a decade. The fluctuations during this period, in turn, reflect the seasonal variation characteristic of lagoon barriers: even though the barrier narrows temporarily, it re-forms each time and preserves a certain area.

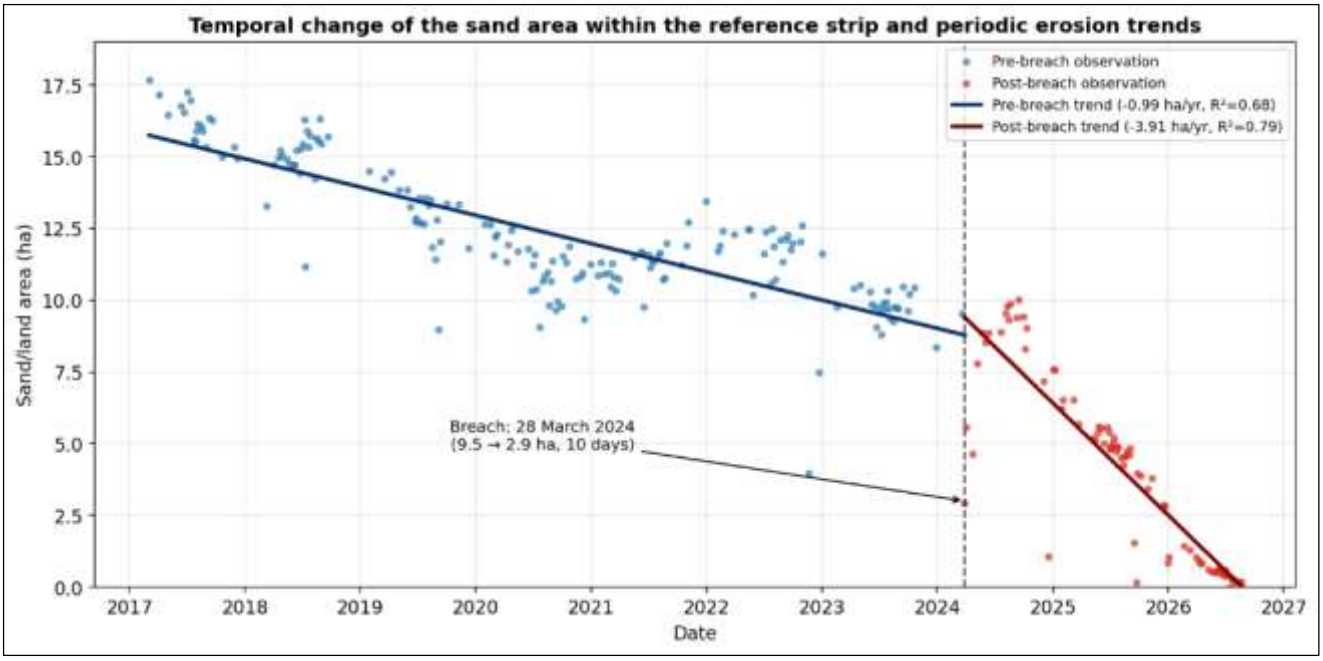


Figure 4. Temporal change of the sand area within the reference strip (blue: pre-breach, red: post-breach) and the linear erosion trends applied separately to the two periods.

3.3. The breach and the permanent regime change

The most striking change occurred in March 2024. While the sand area was 9.5 hectares in the image dated 18 March 2024, only ten days later, in the image dated 28 March 2024, this value had dropped to 2.9 hectares. This abrupt loss of about 69% indicates that the sandy barrier was breached within this ten-day window, and at the latest by 28 March 2024, and that Liman Lagoon established a direct connection with the sea. After this date the sand area never returned to its pre-breach level; it declined to an average of 4.7 hectares in 2025 and to 0.6 hectares in 2026, entering an irreversible erosion process. The total sand area of the barrier had thus lost

about 97% of its value at the beginning of the analysis period. It should be noted, however, that the 2026 mean is based on observations from January to August only and therefore does not represent a complete annual cycle.

This sequence corresponds closely to the process described by FitzGerald et al. (2008), in which breaching follows a long period of beach erosion and barrier thinning caused by a diminished sediment supply and by sea-level rise. The same authors note that, once a barrier is breached, the newly formed inlet acts as a sediment sink: sand is transported both seaward and landward to build ebb and flood deltas, so that the sand reservoir of the littoral transport system is depleted, the erosion of the adjacent barrier shoreline is accelerated and barrier segmentation is hastened. This mechanism offers a plausible explanation for the fourfold increase in the erosion rate observed after March 2024 in the present study, and it is consistent with the fragmentation of the barrier into detached sand shoals seen in Figure 3.

The observed date is also of interest in relation to earlier projections made for this specific barrier. On the basis of EPR and LRR extrapolations, Öztürk and Uzun (2023) predicted that Liman Lagoon might merge with the sea by 2030; the Sentinel-2 time series analysed here shows that the barrier was in fact breached in March 2024, approximately six years earlier than projected. The risk expressed in more general terms by Öztürk and Sesli (2015) and Zeybek et al. (2018) has thus also been realised. As far as can be determined from the published literature, the present study provides the first dated documentation of the merging of Liman Lagoon with the sea.

The comparison of the annual minimum and maximum sand-area values clearly reveals the difference between the seasonal fluctuation and the permanent regime change (Figure 5). In the pre-breach period (2017-2023), even when the barrier narrowed temporarily, the maximum values remained in the range of 12-16 hectares, preserving the recovery capacity of the barrier. After the breach, however, both the mean and the maximum values fell rapidly, the barrier's capacity to re-form disappeared entirely, and the lagoon-sea opening became permanent. Considering the whole analysis period, the sand area, which averaged 12.3 hectares before the breach, fell to 4.0 hectares afterwards, a decrease of 67%. The annual mean, minimum and maximum sand-area values are summarized in Table 1.

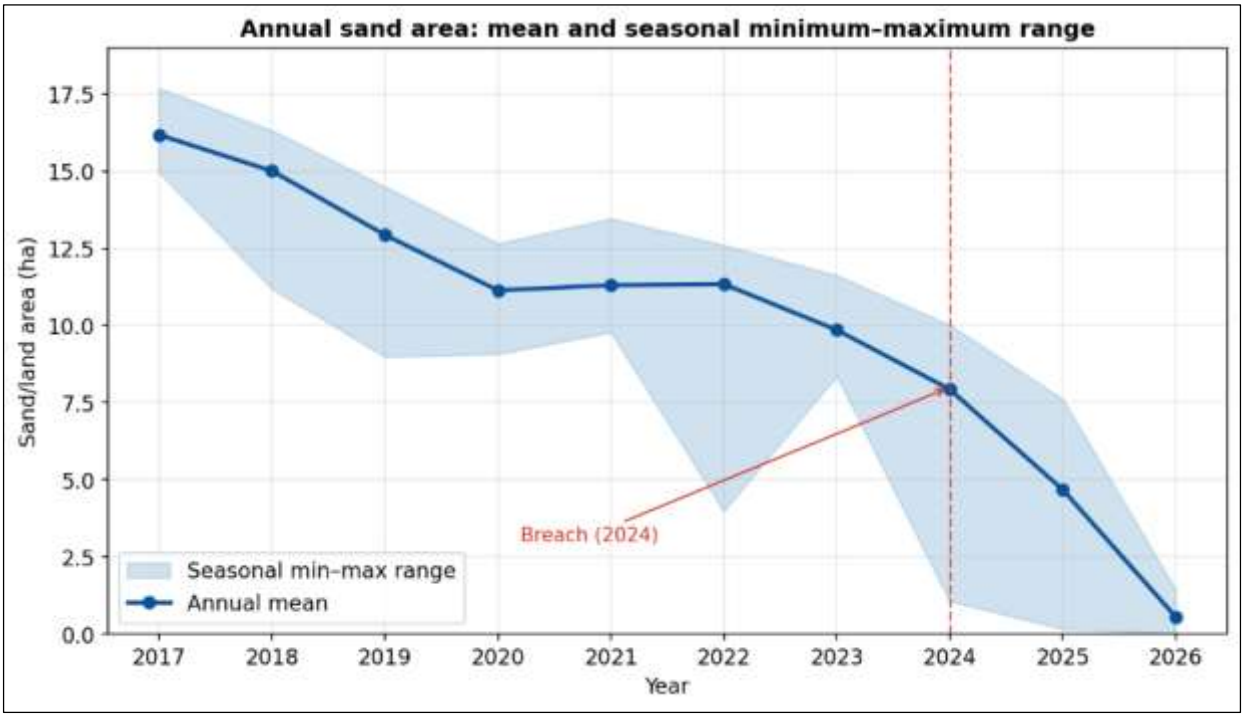


Figure 5. Annual sand area: the mean and the seasonal minimum-maximum range. The collapse of the band towards the base after the breach indicates the loss of the barrier's recovery capacity.

Table 1. Annual sand-area statistics within the reference strip (hectares).

Year	Mean	Minimum	Maximum	Number of images
2017	16.2	15.0	17.7	19
2018	15.0	11.2	16.3	24
2019	12.9	9.0	14.5	23
2020	11.1	9.1	12.7	33
2021	11.3	9.8	13.5	26
2022	11.3	4.0	12.6	23
2023	9.9	8.4	11.6	25
2024	7.9	1.1	10.0	20
2025	4.7	0.2	7.6	38
2026	0.6	0.0	1.4	28

3.4. Field validation and possible impacts

These findings obtained from the satellite data are also validated by the UAV imagery dated 24 September 2025 (Figure 6). In the aerial images it is clearly seen that the barrier is no longer a continuous sand cordon but has turned into a series of detached sand shoals through which seawater enters the lagoon. This confirms, at the field scale, the fragmentation process indicated by the satellite-based sand-area measurements.

Figure 6. Unmanned aerial vehicle images of the Liman Lagoon coastal barrier (24 September 2025): (a) the seaward face of the barrier and the detached sand shoals; (b) the lagoon-sea opening and the fragmented sand cordon.

The breaching of the barrier and the establishment of a continuous connection between Liman Lagoon and the sea is a process that profoundly affects the hydrological and ecological character of the lagoon. Whereas freshwater and brackish conditions prevailed in the lagoon, which was largely isolated from the sea before the breach, with the formation of the opening the lagoon water has gradually begun to approach the characteristics of seawater. Although no direct salinity measurement was made in the lagoon in this study, the salinity of a coastal lagoon is governed by the degree of its hydrological connectivity with the sea and may range from fresh to hypersaline, and an increase in the exchange with the open sea is accompanied by a progressive inland displacement of the salinity zones (Duck and da Silva, 2012). A closely comparable case is that of Tuzla (Kamil Abduş) Lake near Istanbul, where the alteration of the connection between a coastal lagoon and the sea was followed by a fall of about 3 m in the groundwater level within four years, by salty water encroachment and groundwater salination, by significant irrigation problems on the surrounding farmland and, ultimately, by a change in local farming habits (Öztürk, 2005). This part of the Kızılırmak Delta also contains the agricultural areas of the Bafra Plain closest to the sea. Previous studies in the region have shown that seawater intrusion adversely affects groundwater quality on the right bank of the Bafra Plain (Arslan et al., 2007; Arslan and Demir, 2011; Arslan et al., 2012) and that it also increases soil salinity and alkalinity (Arslan and Demir, 2013). Seawater intrusion is, moreover, increasingly recognised as a global threat to coastal agriculture (Ghirardelli et al., 2025). The salinization of Liman Lagoon may in time be transported to the surrounding water table and surface water resources, lowering the irrigation water quality in the coastal belt where the irrigation network is insufficient. This, in turn, may lead to a decline in the yield of salt-

sensitive crops such as rice and vegetables and, over time, to a change in the cropping pattern. The fragmentation of the barrier is therefore a process that, beyond being merely a coastal-geomorphological event, must also be monitored in terms of regional water resources and agricultural production management.

4. CONCLUSION

In this study, the thinning and fragmentation process of the sandy barrier separating Liman Lagoon from the sea in the Kızılırmak Delta over the 2017-2026 period was analyzed by means of a time series constructed from Sentinel-2 satellite images on the Google Earth Engine platform. A total of 259 images with a cloud-free ratio above 85% were evaluated, and the temporal change of the sand area within a fixed 22-hectare reference strip covering the most critical section of the barrier was computed.

The findings obtained show that the mean sand area within the reference strip declined from 16.2 hectares in 2017 to 0.6 hectares in 2026. The linear regression applied separately to the pre-breach and post-breach periods revealed that the erosion rate, which was about 1 hectare per year before the breach ($R^2 = 0.68$; $p < 0.001$), quadrupled to about 3.9 hectares per year after the breach ($R^2 = 0.79$; $p < 0.001$). This shows that the sudden collapse in 2024 was the threshold of a long-lasting gradual weakening and that the breach permanently accelerated the erosion regime of the barrier. The process was found to exhibit a three-stage structure: a slow and structural thinning between 2017 and 2023, an abrupt breach recorded between 18 and 28 March 2024, in which the sand area dropped from 9.5 to 2.9 hectares within a ten-day window, and a subsequent irreversible erosion. The mean sand area, which was 12.3 hectares before the breach, fell to 4.0 hectares afterwards, a decrease of 67%. The comparison of the annual minimum and maximum values revealed that, before the breach, the barrier re-formed even though it narrowed seasonally, whereas after the breach this recovery capacity disappeared entirely and the lagoon-sea opening became permanent. Moreover, a landward (towards the lagoon) retreat of the barrier (barrier retreat) was observed after the breach; this finding was validated by the satellite images and by the UAV imagery dated 24 September 2025.

By demonstrating that the process of a lagoon barrier merging with the sea can be documented at a daily scale, the study reveals the effectiveness of open-access satellite data and cloud-based analysis platforms in monitoring coastal erosion. In doing so, it also provides the first dated confirmation that the merging of Liman Lagoon with the sea, identified as a risk by Öztürk and Sesli (2015) and Zeybek et al. (2018) and projected for 2030 by Öztürk and Uzun (2023), had already taken place by March 2024, some six years earlier than predicted. The establishment

of a continuous connection between Liman Lagoon and the sea carries the potential to cause significant ecological changes in this area, which is protected under the Ramsar Convention and the UNESCO World Heritage Tentative List. Furthermore, the possible effects of the increasing salinity of the lagoon on the surrounding water resources and on the irrigation water quality of the agricultural areas of the Bafra Plain close to the sea constitute an important research topic that needs to be supported by field measurements to be carried out in the future. In this context, it is recommended that regular salinity monitoring be conducted in the lagoon and the surrounding water resources, that the condition of the barrier be continuously followed, and that management measures for the protection of the area be developed.

REFERENCES

Arslan, H., & Demir, Y. (2011). Bafra ovasında deniz suyu girişiminin yeraltı suyu kalitesi üzerine etkisi. Anadolu Tarım Bilimleri Dergisi, 26(2), 136-144.

Arslan, H., & Demir, Y. (2013). Impacts of seawater intrusion on soil salinity and alkalinity in Bafra Plain, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment, 185(2), 1027-1040. https://doi.org/10.1007/s10661-012-2611-3

Arslan, H., Güler, M., Cemek, B., & Demir, Y. (2007). Bafra ovası yeraltı suyu kalitesinin sulama açısından değerlendirilmesi. Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 4(2), 219-226.

Arslan, H., Cemek, B., & Demir, Y. (2012). Determination of seawater intrusion via hydrochemicals and isotopes in Bafra Plain, Turkey. -Water Resources Management, 26(13), 3907-3922. https://doi.org/10.1007/s11269-012-0112-3

Ataol, M., Kale, M. M., & Tekkanat, İ. S. (2019). Assessment of the changes in shoreline using digital shoreline analysis system: a case study of Kızılırmak Delta in northern Turkey from 1951 to 2017. Environmental Earth Sciences, 78(19), 579. https://doi.org/10.1007/s12665-019-8591-7

Besset, M., Anthony, E. J., & Bouchette, F. (2019). Multi-decadal variations in delta shorelines and their relationship to river sediment supply: An assessment and review. Earth-Science Reviews, 193, 199-219. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2019.04.018

Duck, R. W., & da Silva, J. F. (2012). Coastal lagoons and their evolution: A hydromorphological perspective. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 110, 2-14. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.03.007

FitzGerald, D. M., Fenster, M. S., Argow, B. A., & Buynevich, I. V. (2008). Coastal impacts due to sea-level rise. Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 36, 601-647. https://doi.org/10.1146/annurev.earth.35.031306.140139

Ghirardelli, A., Straffelini, E., Park, E., D'Agostino, V., Masin, R., & Tarolli, P. (2025). Global impact of seawater intrusion on coastal agriculture. Environmental Research Letters, 20(1), 013005. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ad9bcd

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment, 202, 18-27. https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031

Hay, B. J. (1994). Sediment and water discharge rates of Turkish Black Sea rivers before and after hydropower dam construction. Environmental Geology, 23(4), 276-283. https://doi.org/10.1007/BF00766743

Kjerfve, B. (Ed.). (1994). Coastal Lagoon Processes. Elsevier Oceanography Series, 60. Amsterdam: Elsevier.

Kökpınar, M. A., Darama, Y., & Güler, I. (2007). Physical and numerical modeling of shoreline evaluation of the Kızılırmak River mouth, Turkey. Journal of Coastal Research, 23(2), 445-456. https://doi.org/10.2112/04-0178.1

McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing, 17(7), 1425-1432. https://doi.org/10.1080/01431169608948714
Ministry of Environment and Urbanization. (2019). Samsun Kızılırmak Deltası Doğal Sit Alanları Sulak Alan ve Kuş Cenneti 2019-2023 Yönetim Planı. General Directorate for the Protection of Natural Assets, Ankara.
Öztürk, H. (2005). Metropolitan development on drought history of the Tuzla Lake, Istanbul, Turkey. Journal of Coastal Research, 21(2), 255-262. https://doi.org/10.2112/03-0074.1
Öztürk, D., & Sesli, F. A. (2015). Shoreline change analysis of the Kizilirmak Lagoon Series. Ocean & Coastal Management, 118, 290-308. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.03.009
Öztürk, D., & Uzun, S. (2023). Kızılırmak Deltası kıyı çizgisinin EPR ve LRR yöntemleriyle 1984-2022 periyodunda değişim analizi ve 2030 yılı tahmini. Coğrafi Bilimler Dergisi, 21(2), 306-339. https://doi.org/10.33688/aucbd.1310132
Syvitski, J. P. M., Kettner, A. J., Overeem, I., Hutton, E. W. H., Hannon, M. T., Brakenridge, G. R., Day, J., Vörösmarty, C., Saito, Y., Giosan, L., & Nicholls, R. J. (2009). Sinking deltas due to human activities. Nature Geoscience, 2(10), 681-686. https://doi.org/10.1038/ngeo629
Turoğlu, H. (2010). Kızılırmak Deltası ve yakın çevresinin jeomorfolojik özellikleri ve insan yaşamındaki etkileri. Anadolu Araştırmaları, 19(1), 99-111.
Zeybek, H. İ., Bağcı, H. R., & Bahadır, M. (2018). Kızılırmak Deltasında (Samsun) kıyı çizgisi değişimlerinin Bruun Kuralına göre değerlendirilmesi. Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 11(58), 308-317. https://doi.org/10.17719/jisr.2018.2542

TEMPORAL CHANGE IN WOODY COVER OF THE KIZILIRMAK DELTA FLOODPLAIN FOREST AND THE EFFECT OF CLASSIFICATION METHOD ON THE RESULTS (1985-2025)

Mustafa GÜLER
Ondokuz Mayıs University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Structures and Irrigation, 55139 Atakum, Samsun, Türkiye
ORCID ID: 0009-0003-6357-5717
mustafa.guler@omu.edu.tr

ABSTRACT

The Kızılırmak Delta is the largest wetland on Türkiye's Black Sea coast and has held Ramsar site status since 1998. Its floodplain forests are considered at risk because of altered river regimes following dam construction and sustained land use pressure. This study examined change in woody cover area within a 2,053-hectare floodplain forest belt between 1985 and 2025 using Landsat 5 TM (1985-2010), Landsat 8/9 OLI (2014-2025) and Sentinel-2 (2017-2025) data in Google Earth Engine. For each epoch, relative radiometric normalization was applied by rescaling NDVI and NDMI to the 2nd and 98th within-area percentiles, followed by a fixed threshold. A supervised Random Forest classifier trained on 2010 data was also run for comparison. The raw classification indicated that woody cover rose from 243 hectares in 1990 to 627 hectares in 2010, a 2.57-fold increase. However, this increase tracked scene brightness rather than land cover: controlling for year, the partial correlation between area and mean spring NDVI was +0.922, whereas controlling for NDVI the partial correlation between area and year fell to −0.165. Normalization removed this dependence ($r = +0.004$) and yielded a stable series (617.2 ± 13.3 hectares). No statistically significant trend was detected in any of the three sensors. The pre-dam 1985 epoch (618.2 hectares) did not differ from the post-dam 1995-2010 mean (617.8 hectares; $p = 0.966$). The independent Hansen global forest change product reports only 3.09 hectares of loss for 2001-2023. Varying the tree cover threshold within that same product yields 476 to 1,048 hectares, so definitional uncertainty exceeds sensor uncertainty. No detectable net loss of woody cover was found, while relative radiometric normalization proved to be a prerequisite for multi-temporal change analysis.

Keywords: Kızılırmak Delta, floodplain forest, relative radiometric normalization, Google Earth Engine, multi-temporal classification

1. INTRODUCTION

Floodplain forests are forest types that develop on river floodplains under seasonal inundation and form a transition between terrestrial and aquatic ecosystems. Although the area they occupy is small relative to the catchment in which they lie, they perform a disproportionately large function at catchment scale in nutrient cycling, sediment retention, the dissipation of flood

energy and the maintenance of biological diversity (Naiman and Décamps, 1997). The persistence of these forests depends directly on the flood pulse; when the water regime changes, species composition, regeneration success and soil processes deteriorate in ways that are difficult to reverse, even if the canopy remains in place for some time (Naiman and Décamps, 1997).

The fragmentation of river systems by dams and regulators is the most important source of threat to floodplain forests worldwide. More than half of the world's large river systems (172 of 292) are affected by dams; when total discharge and catchment area are taken as the basis, this proportion reaches 83% and 88% respectively. This regulation fundamentally alters the flood regime, sediment transport and coastal deposition processes (Nilsson et al., 2005). Deltas are the areas in which this change is felt most sharply; the interruption of sediment supply accelerates subsidence of the delta surface, lowers the aggradation rate and increases flood risk, and 85% of the 33 large deltas examined experienced severe flooding in the past decade (Syvitski et al., 2009).

The Kızılırmak Delta is the largest wetland system on the Black Sea coast of Türkiye and was brought under the Ramsar Convention in 1998 because of the diversity of birds, plants and fish it supports. The delta also holds the status of Wildlife Development Area and natural protected site. In habitat inventories for the area, the forest resource of the delta is given as approximately 3,100 hectares, of which 1,850 hectares are reported to be floodplain forest and 1,250 hectares broad-leaved forest. These forests consist mainly of ash (Fraxinus angustifolia) together with alder, willow and elm, and occur as fragmented stands, foremost among them the Galeriç forest at Yörükler (Bahadır and Özlü, 2014).

The hydrological regime of the delta has changed fundamentally over the past forty years. With the commissioning of the Altınkaya (1988) and Derbent (1990) dams on the Kızılırmak, the sediment input reaching the delta almost ceased (Ataol et al., 2019); over the same period, significant decreasing trends were also detected in the discharge series of the river (Bahadır, 2011). Following these interventions a marked retreat was measured in the delta shoreline, and between 1951 and 2017 the shoreline is reported to have receded by an average of 605 metres, reaching 725 metres in places (Ataol et al., 2019). A weakening of the flood pulse is expected to accompany the interruption of sediment supply; this constitutes a direct threat to floodplain forests, whose existence depends on flooding.

Studies addressing land cover change in the delta report that settlement, road and industrial areas have expanded over the past thirty years, while agricultural areas and forests have

contracted (Bağcı and Bahadır, 2019). Such assessments have created a widespread expectation that the forest resource of the delta is in decline. Most of these studies, however, address the delta as a whole, process images from different dates separately by supervised classification, and compare the results directly. This approach carries a serious methodological risk in long-term satellite series.

The risk is as follows: satellite images acquired on different dates produce different radiometric values even when land cover has not changed at all. Declining sensor sensitivity over time, differences in atmospheric conditions and correction algorithms, solar elevation angle, viewing geometry and, most importantly, phenological timing cause the same vegetation to appear at different brightness in different years. A classifier built with training data from a single epoch interprets this radiometric difference as a land cover difference when applied to other epochs, and produces a change trend that does not in fact exist. This problem has long been recognised in the remote sensing literature, and relative radiometric normalization methods have been developed to address it (Schott et al., 1988; Hall et al., 1991; Yuan and Elvidge, 1996; Canty and Nielsen, 2008). The common logic of these methods is to place an image not on absolute physical units but on a relative scale within the same scene.

A similar problem applies between sensors. The band response functions of the Landsat sensors differ from one another; the near-infrared band of TM and ETM+, for example, covers approximately 770-900 nm, whereas that of OLI is confined to 850-880 nm. Roy et al. (2016) showed that systematic NDVI differences occur between ETM+ and OLI over the same surface and proposed transformation functions between the two sensors; incorporating Landsat 5 TM into this chain additionally requires TM-ETM+ cross-calibration. In the same way, the mixed pixel behaviour of sensors with different spatial resolutions also differs (Woodcock and Strahler, 1987).

The spread of the Google Earth Engine platform has made long-term analyses accessible by enabling cloud-based access to the entire Landsat archive and to the Sentinel-2 series (Gorelick et al., 2017). This ease of access has at the same time prepared the ground for the methodological risk described above to be overlooked more often, because a series spanning decades can be produced with a few lines of code and without radiometric consistency being questioned.

This study has two aims. The first is to determine the change in woody cover area between 1985 and 2025 in a selected section of the floodplain forest belt of the Kızılırmak Delta, using three separate satellite systems and keeping each system internally consistent. The second,

which is methodological, is to compare the results obtained from the same raw data through two different processing chains and thereby to separate quantitatively how much of an observed change trend derives from land cover and how much from image radiometry. The start of the series was brought back to 1985 so as to cover the period before the dams were commissioned, with the aim of testing directly the effect of hydrological intervention on woody cover.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Study Area

The study area is a 2,053-hectare floodplain forest belt located in the southern part of the Kızılırmak Delta and extending in an approximately north-south direction (Figure 1). The boundary of the area was drawn so as to include the existing forest belt together with the surrounding herbaceous wetland, grassland and agricultural areas. WGS 84 / UTM Zone 37N (EPSG:32637) was used as the coordinate system of the area.

According to the ESA WorldCover product, the 2021 land cover composition of the area is as follows: tree cover 756.1 hectares (36.8%), herbaceous wetland 570.7 hectares (27.8%), grassland 529.1 hectares (25.8%), cropland 121.4 hectares (5.9%), others 53.73 hectares (%2,7) and water surface 19.9 hectares (1.0%); the five classes listed cover 97.3% of the area. This distribution shows that the area is not forest throughout, and that only one third of the unit referred to as the floodplain forest belt carries actual woody canopy. This distinction is decisive for the interpretation of the results of the study.

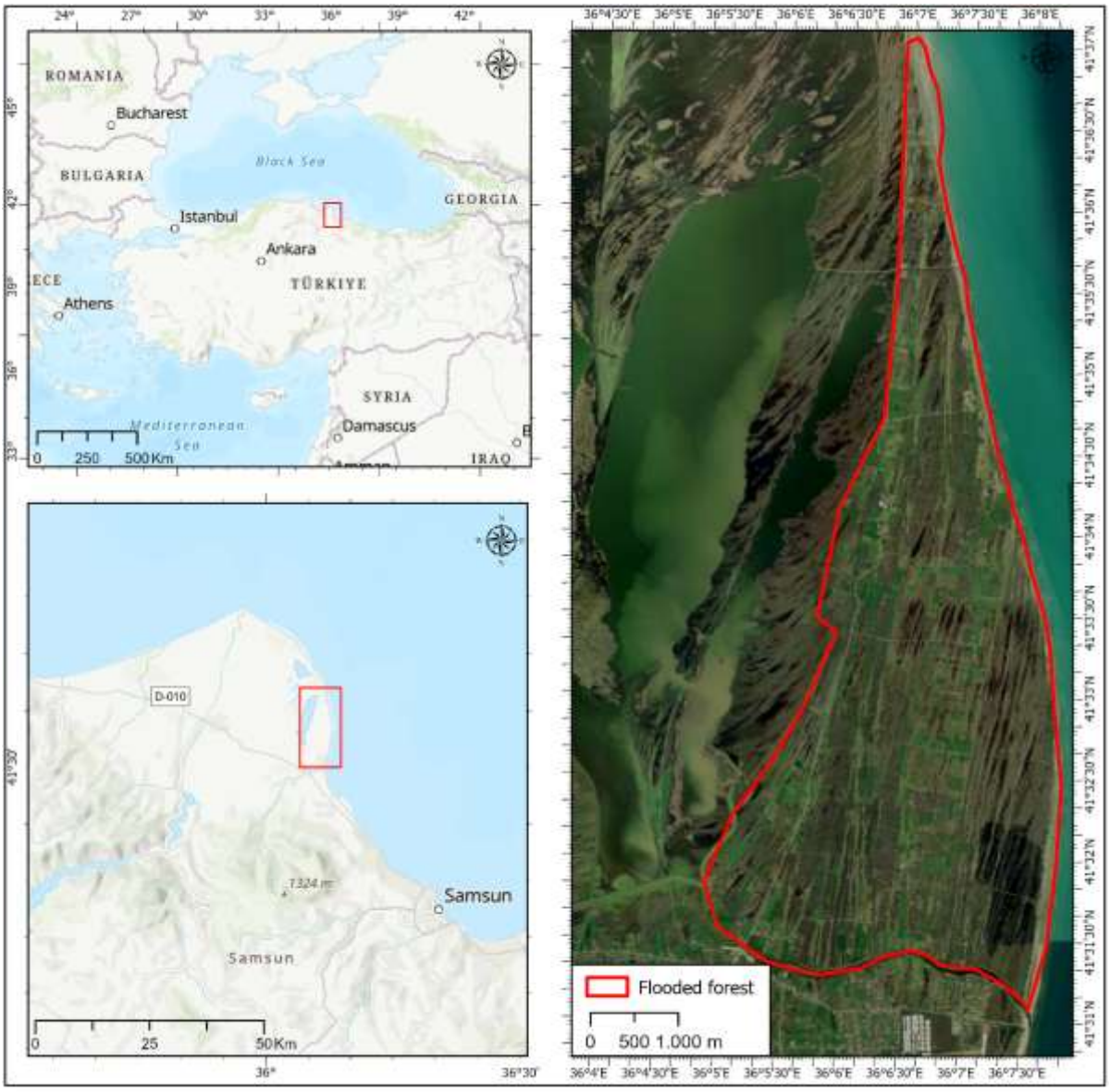


Figure 1. Location and boundaries of the study area within the Kızılırmak Delta.

2.2. Satellite Data

Three satellite systems were used in the analysis. Landsat 5 TM (Collection 2, Level 2) data were processed for the 1985-2010 period as six epochs at five-year intervals, Landsat 8 and 9 OLI data annually for the 2014-2025 period, and Sentinel-2 MSI (harmonized surface reflectance) data annually for the 2017-2025 period. A ±2-year window was used for the Landsat epochs and a ±1-year window for the OLI epochs, while for Sentinel-2 the window was not widened because observation density was sufficient. The spring (May-June) period was taken as the basis in all epochs; this is the period in which the woody cover is in leaf but the surrounding herbaceous vegetation has not yet reached peak biomass, and in which discriminating power is therefore highest.

After scaling factors were applied to the Landsat data, cloud, cloud shadow, haze and snow masking was carried out using the QA_PIXEL band, and saturated pixels were removed using the QA_RADSAT band. Images with more than 70% cloud cover at scene level were excluded from the analysis. The Cloud Score+ product was used for cloud masking in the Sentinel-2 data and a threshold of 0.60 was applied; this value was relaxed somewhat relative to the threshold of 0.64 recommended in the source in order to preserve the number of observations per composite (Pasquarella et al., 2023). A median composite was produced for each epoch from the masked images. The scene counts and observations per pixel of the epochs are given in Table 1.

2.3. Relative Radiometric Normalization and Classification

Two indices were calculated from the median composite for each epoch: the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Normalized Difference Moisture Index (NDMI). NDVI was defined as the normalized difference of the near-infrared and red bands, and NDMI as the normalized difference of the near-infrared and first shortwave infrared bands. NDVI alone is not sufficient to distinguish woody cover; in spring, dense herbaceous vegetation also produces high NDVI. NDMI was added as a second index because it helps separate woody cover from herbaceous cover by virtue of the higher leaf area index and stem moisture of the former.

Relative radiometric normalization was applied as follows. For each epoch, the 2nd and 98th percentile values of the NDVI and NDMI distributions within the study area were calculated, each index was scaled linearly to the 0-1 range between these two anchors, and a combined score was obtained by averaging the two normalized indices. This procedure removes the absolute radiometric difference between epochs and positions each image with respect to its own within-scene distribution. The approach is a distribution-based adaptation of the classical relative normalization methods that rely on invariant targets within the scene — pseudo-invariant features of artificial origin (Schott et al., 1988) or dark and bright radiometric control sets (Hall et al., 1991) — and, because the study area is small, it removes the need to select fixed targets.

The woody cover class was obtained by applying a fixed threshold to the normalized score. The threshold was calibrated once for each sensor against an independent reference from that sensor's own era and was held constant throughout the series. The 2010 supervised classification result (626.70 hectares) was used as the calibration anchor for Landsat 5 TM, and the ESA WorldCover 2021 tree cover value (756.13 hectares) for Landsat 8/9 OLI and

Sentinel-2 (Zanaga et al., 2022). The resulting threshold values were 0.769 (TM), 0.820 (OLI) and 0.762 (Sentinel-2).

After classification, a minimum mapping unit of 0.45 hectares was applied in order to remove isolated pixel groups; this corresponds to 5 pixels at 30 metre resolution and 45 pixels at 10 metre resolution. Connected pixel groups below this threshold were assigned to the opposite class.

2.4. Supervised Classification for Comparison

For methodological comparison, a second processing chain was run on the same raw data. An eighteen-band stack calculated for three seasons (spring, summer, autumn) was formed from the 2010 Landsat 5 TM data; from this stack, 1,965 samples were drawn from forest and non-forest polygons delineated by visual interpretation (623 forest, 1,342 other). A Random Forest classifier with 300 trees was trained on 70% of the samples (Breiman, 2001), and internal accuracy was calculated on the remaining 30%. The trained model was applied to the 1985, 1990, 1995, 2000 and 2005 epochs without any recalibration.

2.5. Independent Control Products

The results were compared with three independent products. The global forest change product of Hansen and colleagues (version 1.11) was used for the 2000 tree cover percentage and the 2001-2023 loss layer (Hansen et al., 2013). Class areas for 2021 were taken from the ESA WorldCover v200 product (Zanaga et al., 2022). From the Dynamic World product, May-September medians of the tree and flooded vegetation probability bands were calculated for the 2016-2025 period (Brown et al., 2022). Of these products, Hansen GFC is Landsat-based, whereas Dynamic World and WorldCover are Sentinel-based; this distinction was taken into account in interpreting the findings.

2.6. Spatial Pattern and Change Analysis

For each epoch, patch number, largest patch area, largest patch index (LPI), mean patch area and edge ratio were calculated. The edge ratio was defined as the ratio of the intersection of the woody cover mask with a one-pixel dilation of its own complement to the total woody cover area. In the change analysis, the binary masks of two epochs were compared to produce persistent woody cover, loss and gain classes. Change budgets were calculated for the 1985-1990, 1985-2010, 1990-2010 and 2017-2025 periods.

2.7. Statistical Evaluation

Trends in the time series were tested both by ordinary least squares regression and by the non-parametric Mann-Kendall test, and slope magnitude was also calculated using Sen’s method.

Because the assumption of normality is weak in short series, reporting the two tests together was preferred.

The absence of a significant trend does not mean that no change has occurred; it shows only that change cannot be distinguished at the prevailing noise level. For this reason the smallest detectable net change (detection floor) was calculated for each series. The detection floor was defined as the product of the standard error of the regression slope and the critical t value at the relevant degrees of freedom, then multiplied by the length of the period and expressed as a percentage of the series mean. This value gives the smallest net change that the series is able to exclude.

Partial correlation was used to separate the source of the trend in the raw classification results. For each epoch, the mean spring NDVI of the study area was taken as an indicator of the general radiometric level of that epoch; the relationship between area and this indicator was calculated with year controlled, and the relationship between area and year with the radiometric indicator controlled. All operations were carried out in Google Earth Engine (Gorelick et al., 2017) and in Python.

3. RESULTS AND FINDINGS

3.1. Data Density and Reliability of the Epochs

A total of 113 Landsat 5 TM, 227 Landsat 8/9 OLI and 218 Sentinel-2 spring scenes were used in the analysis (Table 1). Because Landsat 5 entered service in March 1984, the 1985 epoch rests on fewer scenes than the others: 13 scenes and an average of 7.3 observations per pixel. In the other TM epochs these values range between 17-25 scenes and 11.2-17.9 observations. Whether this difference distorts the results was tested in two ways.

First, the correlation between woody cover area and the mean number of observations per pixel in the TM series was not significant ($r = -0.547$; $p = 0.262$). The 1985 epoch, which has the fewest observations in the series, deviates from the series mean by only 1.0 hectare (0.2%). Second, a sensitivity test was carried out by calculating the years 1984, 1985, 1986 and 1987 separately with narrow ±1-year windows (Table 3). Although the number of observations per pixel varied between 2.7 and 7.5 in these four independent measurements, the 1984-1986 measurements showed a spread of only 6.5 hectares (607.2-613.7 hectares). The 1985 value calculated with the ±2 window in the main series (618.2 hectares) deviates by 1.1% from the mean of these three measurements. On this basis the 1985 epoch was accepted as reliable despite its lower observation density.

Table 1. Satellite data used, epoch structure and observation density.

Sensor / epoch	Period	Number of epochs	Window	Scenes (total)	Observations/pixel (mean)
Landsat 5 TM	1985-2010	6	±2 years	113	7.3 - 17.9
Landsat 8/9 OLI	2014-2025	12	±1 year	227	9.7 - 29.2
Sentinel-2 MSI	2017-2025	9	annual	218	10.5 - 17.5
TM sensitivity test	1984-1987	4	±1 year	36	2.7 - 7.5

Note: The May-June period was used in all epochs. Scene counts refer to the spring window.

3.2. Methodological Finding: Radiometric Drift Produces a Spurious Trend

The Random Forest classifier trained on the 2010 data gave an internal accuracy of 99.2% on the held-out test set. This value is optimistic because the training and test samples were drawn from the same image, and it carries no information about the transferability of the model to other epochs. Indeed, when the same model was applied backwards, woody cover area was calculated as 243.4 hectares in 1990 and 626.7 hectares in 2010. This corresponds to a 2.57-fold increase and constitutes the only statistically significant trend in the entire study (slope +15.85 ha/year; $r^2 = 0.850$; $p = 0.009$).

Whether this trend derives from land cover or from image radiometry became directly testable with the addition of the 1985 epoch. The raw series is not monotonic in time: the area of 314.0 hectares in 1985 falls to 243.4 hectares in 1990 and then rises rapidly. The same series, however, is entirely monotonic when the epochs are ordered by mean spring NDVI. The increasing order by NDVI is 1990 (0.511), 1985 (0.525), 1995 (0.553), 2000 (0.561), 2005 (0.593) and 2010 (0.596), with corresponding areas of 243, 314, 478, 528, 630 and 627 hectares.

Partial correlation converts this observation into a quantity. With year controlled, the partial correlation between raw area and mean NDVI was found to be +0.922. With mean NDVI controlled, by contrast, the partial correlation between raw area and year falls to -0.165, that is, it changes sign. When the radiometric level is held constant the explanatory power of time disappears; the reverse does not hold. When relative normalization is applied, this dependence disappears entirely (partial $r = +0.004$) and the series becomes stable. The two results obtained from the same raw data are compared in Figure 2.

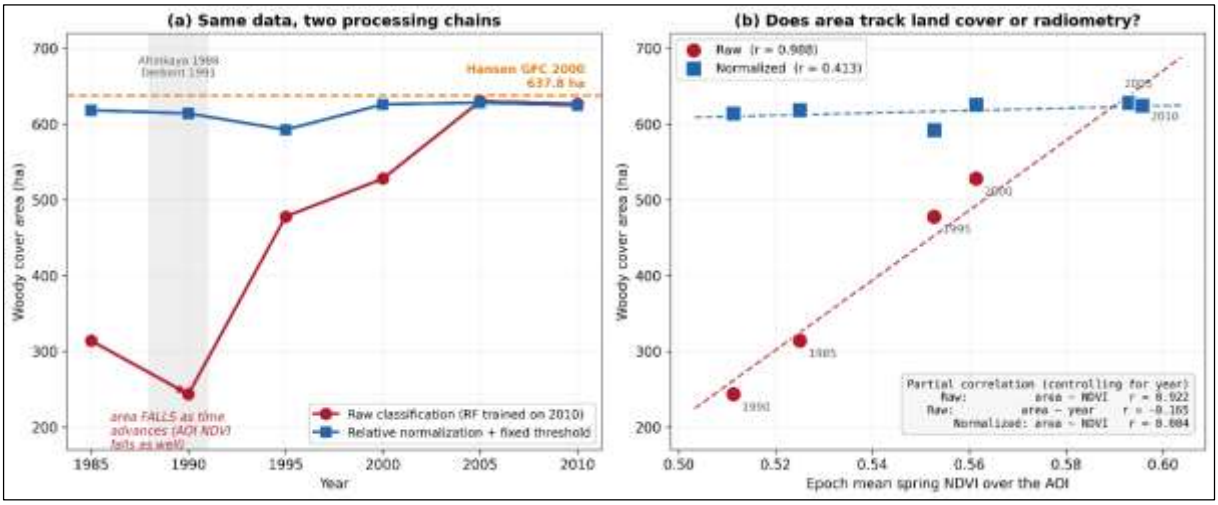


Figure 2. Results obtained from the same raw data through two different processing chains. (a) Comparison of the raw classification and the relative normalization results; the dashed line indicates the independent Hansen 2000 reference. (b) Relationship between woody cover area and the epoch mean spring NDVI.

The 1990 value produced by the raw processing chain (243.4 hectares) is about one third of the independent Hansen 2000 reference (637.8 hectares). The normalized series, by contrast, approaches the same reference with a deviation of 1.9% in the 2000 epoch (625.9 hectares against 637.8 hectares). Accordingly, the trend obtained when radiometric normalization is not applied is not a real land change but the reproduction by the classifier of a systematic drift in image radiometry.

3.3. The Landsat 5 TM Series (1985-2010) and the Effect of the Dams

In the normalized TM series, woody cover area varied between 592.4 and 628.3 hectares over 1985-2010, and the series mean was 617.2 ± 13.3 hectares (coefficient of variation 2.1%) (Table 2). Neither ordinary least squares regression nor the Mann-Kendall test gave a significant trend ($p = 0.386$ and $p = 0.452$ respectively). The detection floor of the series is ±7.2% over the 25-year period; that is, this series excludes a net change greater than 7.2% over the period.

The effect of the dams was tested directly. The 1985 epoch, whose window falls entirely before the commissioning of the Altınkaya Dam, gave 618.2 hectares. The mean of the 1995-2010 epochs, when both dams were in operation, is 617.8 hectares. The difference between the two values is 0.4 hectares (0.1%) and is not statistically significant ($t = +0.05$; $p = 0.966$). The mean of the three entirely pre-dam measurements in the sensitivity test (611.2 ± 3.5 hectares) gives the same result. Accordingly, the commissioning of the dams did not lead to a detectable change in woody cover area.

Table 2. Descriptive statistics, trend tests and detection floors of the normalized series.

Series	N	Mean (ha)	SD (ha)	CV (%)	OLS slope (ha/year)	OLS p	MK p	Detection floor (%)
Landsat 5 TM (30 m), 1985-2010	6	617.2	13.3	2.1	+0.62	0.386	0.452	±7.2
Landsat 8/9 OLI (30 m), 2015-2025	11	711.8	41.3	5.8	-0.71	0.868	0.640	±13.2
Sentinel-2 (10 m), 2017-2025	9	827.2	89.0	10.8	+12.96	0.287	0.251	±25.8
Dynamic World (10 m), 2016-2025	10	678.5	84.0	12.4	+9.76	0.319	0.152	±28.1
Raw RF (30 m), 1985-2010 [artefact]	6	470.0	160.8	34.2	+15.85	0.009	0.060	±49.1

SD: standard deviation. CV: coefficient of variation. MK: Mann-Kendall. In the OLI series the 2014 epoch was excluded because of the low observation density of the sensor's first year of operation.

Table 3. Early-period sensitivity test: separate evaluation of the years 1984-1987 with ±1-year windows.

Year	Window	Scenes	Observations/pixel	Woody cover (ha)	NDVI p98 anchor
1984	1983-1985	6	2.7	613.7	0.816
1985	1984-1986	9	5.4	612.7	0.800
1986	1985-1987	10	6.9	607.2	0.793
1987	1986-1988	11	7.5	571.1	0.769

The 1985 value calculated with the ±2-year window in the main series is 618.2 hectares.

3.4. The Landsat 8/9 OLI and Sentinel-2 Series

In the OLI series, woody cover area fluctuated between 650.9 and 771.8 hectares over 2015-2025, with a mean of 711.8 ± 41.3 hectares. No significant trend was detected (OLS p = 0.868; Mann-Kendall p = 0.640) and the detection floor of the series is ±13.2%. In the Sentinel-2 series the mean is 827.2 ± 89.0 hectares and the range is 700.5 to 981.4 hectares. The trend is not significant in this series either (OLS p = 0.287; Mann-Kendall p = 0.251), but the detection floor rises to ±25.8%. All series are presented in Figure 5, and the comparison of the observed change within the period with the detection floor in Figure 6b.

The magnitude of the year-to-year fluctuation in the Sentinel-2 series was also evaluated. In this series the mean annual change is 128 hectares, and the largest single-year changes are +180 and -202 hectares. It is ecologically impossible for a floodplain forest to gain 200 hectares in one year and lose a similar amount the next. This fluctuation was therefore assessed not as land change but as methodological noise arising from phenological timing and from inter-annual differences in composite quality.

3.5. Consistency Between Sensors and the Role of Resolution

During the 2017-2025 period in which the Landsat 8/9 OLI and Sentinel-2 series overlap, the two sensors observed the same area in the same years. Nevertheless, no relationship was found between the annual values of the two series (r = -0.061; p = 0.877). Although the Sentinel-2

values are on average 17.3% higher than the OLI values, this difference varies between -1.6% and +36.4% across years (Figure 6a). The absence of agreement between two independent sensors in the inter-annual changes of the same area is the second and independent piece of evidence that these changes are largely attributable to method.

A strong relationship was observed, by contrast, between Sentinel-2 and Dynamic World ($r = +0.869$; $p = 0.002$). Because the Dynamic World product is built on Sentinel-2 imagery, however, this agreement is not an independent validation; it is the consequence of the two products sharing the same input radiometry. Indeed, the correlation between the Landsat-based OLI series and Dynamic World is weak ($r = +0.120$; $p = 0.758$).

The effect of spatial resolution was evaluated separately. When the 10 metre Sentinel-2 classification result was resampled to 30 metres, the difference in area was on average only 0.38%. This test, however, examines only whether a 30 metre grid can represent the existing cover; it does not examine whether a classification carried out at 30 metres with mixed pixels would give the same result. To answer the second question, the Landsat 5 TM 2010 and Sentinel-2 2017 maps were transferred to a common 10 metre grid and compared spatially. On this basis 545.2 hectares were classified as woody in both maps, 76.3 hectares only in TM and 301.5 hectares only in Sentinel-2. Of the area classified as woody by Sentinel-2 alone, 47.8% lies within a 30 metre fringe around the area found to be woody by TM (Table 7). A second measurement supports this finding: in the local width distribution of the Sentinel-2 woody cover, 24.0% of the cover lies in features narrower than 20 metres and 31.2% in features narrower than 30 metres. Accordingly, the 30 metre pixel sees the edges of narrow strips as mixed pixels and systematically undercounts them.

That this systematic undercount is not reflected in the series level is a consequence of the calibration step. Because the threshold is set against an independent reference for each sensor, the edges lost at coarse resolution are recovered through a lower threshold, and the resolution bias is absorbed by the threshold. Indeed, when the same year and the same anchor are used, OLI (30 m) gave 757.3 hectares for 2021 and Sentinel-2 (10 m) 745.5 hectares, the finer resolution producing 1.6% less area. The difference between the mean levels of the series, in turn, is explained by the difference in the calibration anchors: the TM anchor is 626.7 hectares and the OLI and Sentinel-2 anchor 756.1 hectares, and when calculated on the same base the difference of 20.7% between them is larger than the difference of 15.3% between the TM and OLI series means. The anchors themselves, however, were derived from products of different spatial resolution; for this reason it cannot be determined within the present design how much

of the anchor difference arises from resolution, how much from the definition of forest and how much from the difference in date.

The effect of resolution that cannot be removed by calibration is on spatial pattern (Table 6). At 30 metre resolution the edge ratio is 47.1% (TM) and 52.6% (OLI), whereas at 10 metres it falls to 26.4%. Patch number, by contrast, rises from 46 and 66 to 94, and the largest patch index falls from 65.3% and 44.4% to 23.3%. The reason is that the woody cover in the area occurs as strips 60-100 metres wide, and the 30 metre pixel bridges the narrow gaps between these strips, merging separate patches into a single large patch. Threshold calibration can correct the bias in total area, but it cannot correct this distortion of the fragmentation structure. The spatial distribution of the classification results is presented in Figure 3.

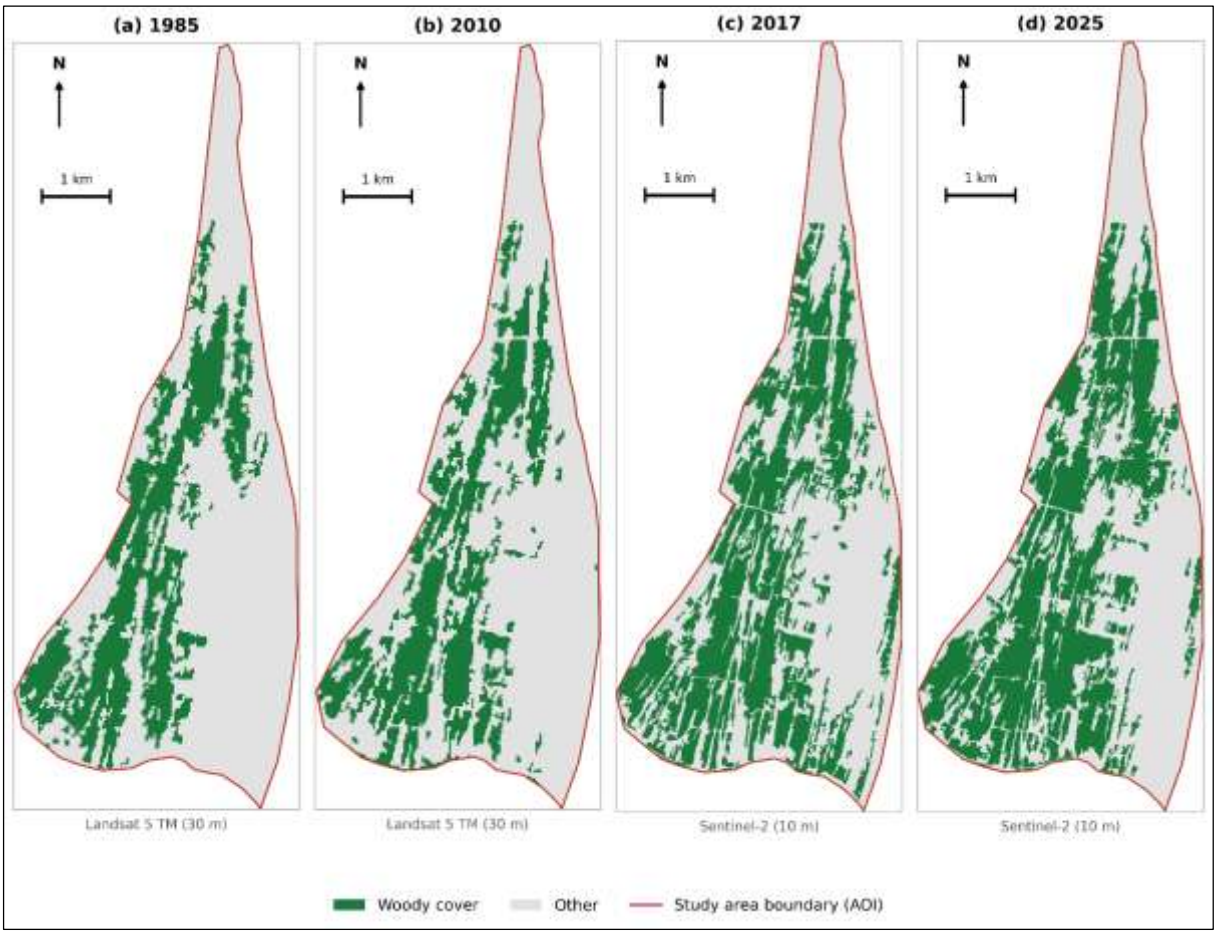


Figure 3. Woody cover classification results. (a) 1985 (618.2 ha) and (b) 2010 (624.6 ha) Landsat 5 TM (30 m); (c) 2017 (843.8 ha) and (d) 2025 (907.3 ha) Sentinel-2 (10 m). The panels should be compared only within their own series; because the two series are calibrated to different anchors, the absolute areas of the panels are not directly comparable.

3.6. Spatial Pattern of Change

The change budgets are given in Table 4 and their spatial distributions in Figure 4. Net changes are small in all periods: +6.4 hectares for 1985-2010, +10.6 hectares for 1990-2010 and +63.5 hectares for 2017-2025. Gross change (the sum of loss and gain), by contrast, is much larger and reaches 43.8% of the initial area in the 1985-2010 period.

Part of the gross change arises from classification instability. The evidence for this is that gross change reaches 27.3% even in the 1985-1990 period of only five years; real land change of this magnitude is not possible over such a period. Accordingly, classification instability at edge pixels forms a floor of about 13-14% in one direction. The rise of gross change to 44% over the twenty-five-year period shows that a real spatial displacement is added on top of this floor. That net change remains close to zero, however, indicates that cover is regained where it is lost.

Table 4. Woody cover change budgets.

Period	Sensor	Persistent (ha)	Loss (ha)	Gain (ha)	Net (ha)	Gross change (%)
1985 - 1990	TM	531.6	86.6	82.4	-4.2	27.3
1985 - 2010	TM	485.9	132.3	138.7	+6.4	43.8
1990 - 2010	TM	482.7	131.4	142.0	+10.6	44.5
2017 - 2025	Sentinel-2	733.4	110.4	173.9	+63.5	33.7

Gross change is the ratio of the sum of loss and gain to the area of the initial year.

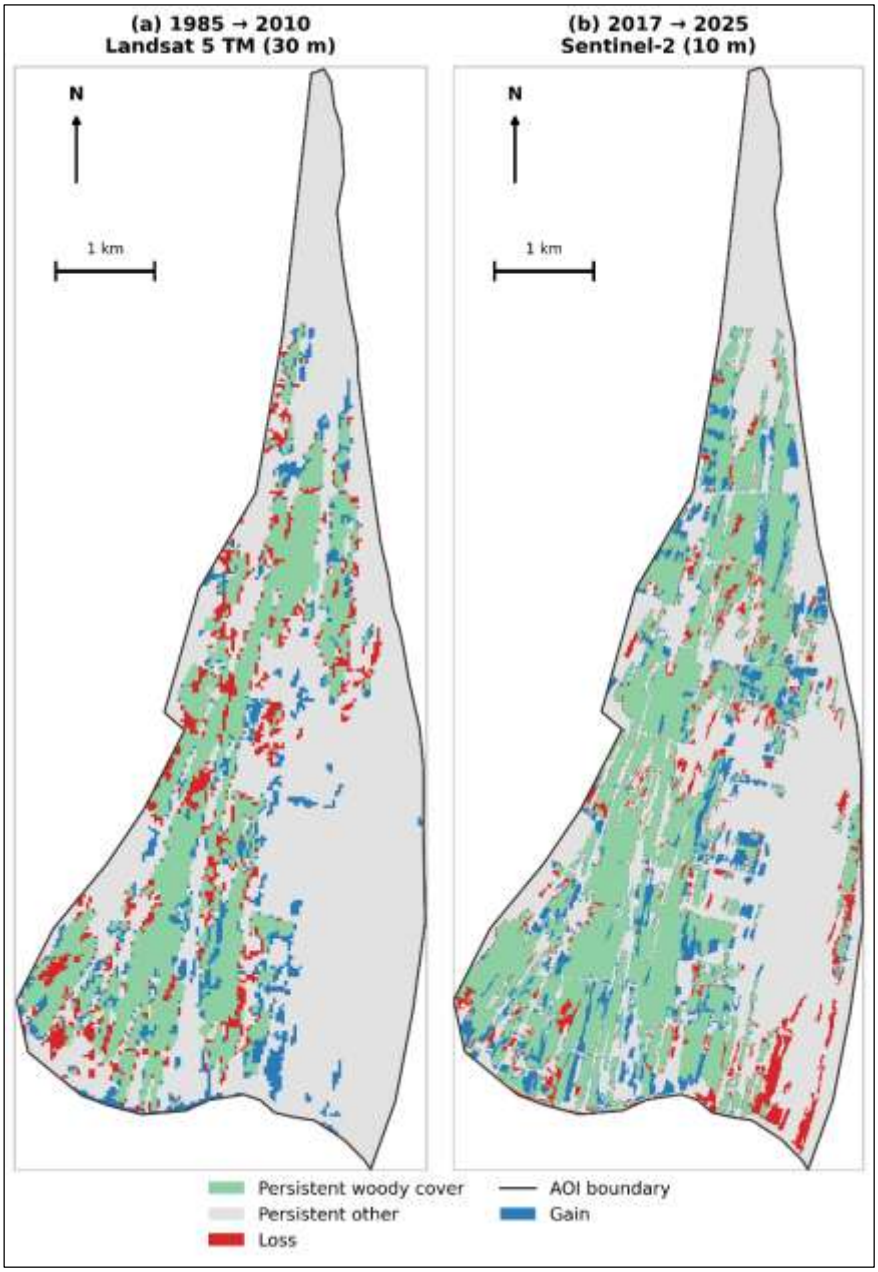


Figure 4. Woody cover change maps. (a) 1985 → 2010 period, Landsat 5 TM (30 m); (b) 2017 → 2025 period, Sentinel-2 (10 m).

In the southeastern part of the Sentinel-2 change map, a linear cluster of loss running parallel to field boundaries is notable (Figure 4b). This section was not classified as woody cover in the 1985 and 2010 maps; that is, the cover present in 2017 is absent both in the earlier epochs and in 2025. This pattern is consistent less with a permanent forest loss than with the felling of a short-rotation plantation or with the clearing of scrub for conversion to agriculture. Associating this cluster of loss with a disturbance agent such as fire is not supported by the available data; a definite attribution would require a separate analysis based on burn severity indices.

3.7. Independent Products and the Uncertainty of the Forest Definition

The comparison with independent products is given in Table 5. Within the study area the Hansen product gives only 3.09 hectares of forest loss for the 2001-2023 period; this corresponds to 0.48% of the tree cover in 2000. Gain over the same period is zero. This value is consistent with the stability shown by the normalized series.

The most striking finding in Table 5 concerns the forest definition itself. In the Hansen product, when the tree cover threshold is taken as 10%, 1,048.2 hectares of forest are calculated within the study area; at 30%, 637.8 hectares; and at 50%, 476.5 hectares. A single reference product produces a 2.20-fold range simply by changing the threshold. By contrast, the series means of the three sensors used in this study lie between 617.2 and 827.2 hectares, that is, within a 1.34-fold range. In other words, the uncertainty arising from the forest definition is greater than the uncertainty arising from the choice of sensor.

Table 5. Independent control products and the sensitivity of the forest definition.

Product / criterion	Year	Base data	Area (ha)	Share of AOI (%)
Hansen GFC, tree cover ≥ 10%	2000	Landsat	1,048.2	51.1
Hansen GFC, tree cover ≥ 30%	2000	Landsat	637.8	31.1
Hansen GFC, tree cover ≥ 50%	2000	Landsat	476.5	23.2
Hansen GFC, loss 2001-2023	2001-2023	Landsat	3.1	0.2
ESA WorldCover, tree cover	2021	Sentinel-1/2	756.1	36.8
ESA WorldCover, herbaceous wetland	2021	Sentinel-1/2	570.7	27.8
ESA WorldCover, grassland	2021	Sentinel-1/2	529.1	25.8
Dynamic World, tree (mean)	2016-2025	Sentinel-2	678.5	33.0
This study, TM (mean)	1985-2010	Landsat	617.2	30.1
This study, OLI (mean)	2015-2025	Landsat	711.8	34.7
This study, Sentinel-2 (mean)	2017-2025	Sentinel-2	827.2	40.3

3.8. Drift of the Anchor Values

The anchor values used in the normalization themselves also carry information. The 2nd percentile of the spring NDVI distribution of the study area, that is, the lowest greenness end of the non-woody matrix, rises significantly in all three sensors (Figure 6c). In tracking the anchor values, the 2014 epoch, the first year of operation of the sensor, was also included in the evaluation for OLI (n = 12). In the Landsat 5 TM series this value rises from -0.020 in 1985 to +0.067 in 2010 ($r = +0.950$; $p = 0.004$), in the OLI series from 0.098 in 2014 to 0.152 in 2025 ($r = +0.935$; $p < 0.001$), and in the Sentinel-2 series from 0.035 in 2017 to 0.082 in 2025 ($r = +0.931$; $p < 0.001$). In parallel, the dynamic range between the lower and upper anchors

narrows significantly in the OLI (r = -0.660; p = 0.020) and Sentinel-2 (r = -0.741; p = 0.022) series.

That three different sensors, in three different periods and through mutually independent processing chains, give results in the same direction indicates that this drift is not merely a processing artefact. The finding suggests that the non-woody matrix of the study area has been greening over time. Because the method used rests by definition on the within-area distribution, however, it cannot measure a change that affects the whole area in the same direction; it removes it during normalization. This point is regarded as the most important limitation of the study.

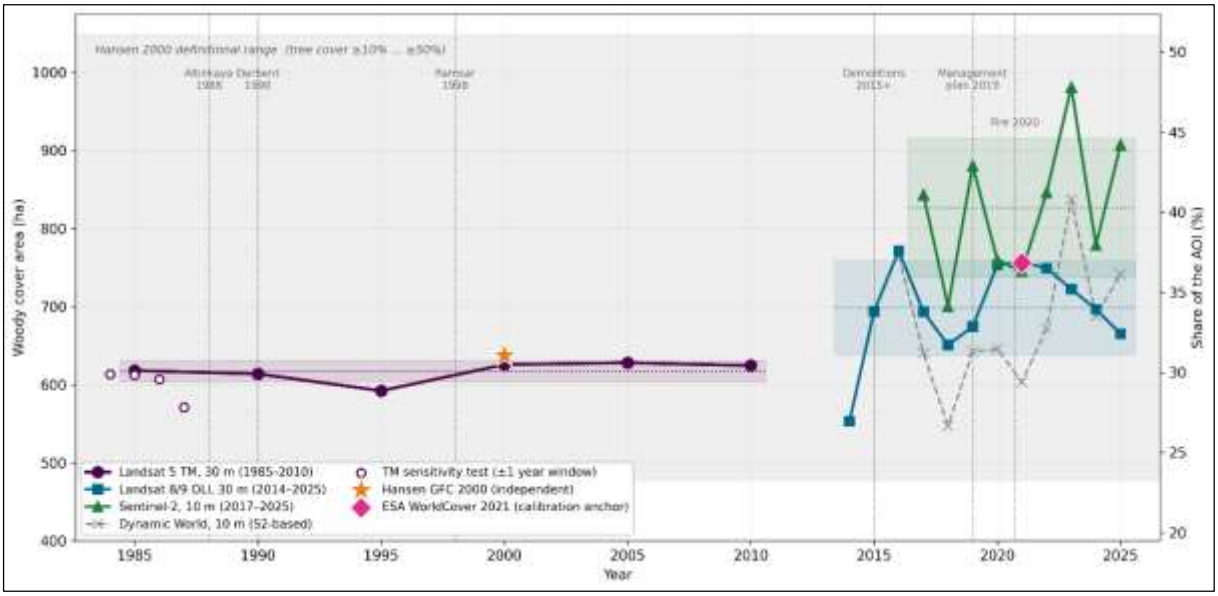


Figure 5. Woody cover area over the 1985–2025 period. The shaded horizontal band shows the definitional range obtained by varying the tree cover threshold within a single reference product.

Table 6. Variation of spatial pattern metrics by sensor and resolution (series means).

Sensor	Resolution	Edge ratio (%)	Patch number	Mean patch (ha)	LPI (%)
Landsat 5 TM	30 m	47.1	46	13.7	65.3
Landsat 8/9 OLI	30 m	52.6	66	11.0	44.4
Sentinel-2	10 m	26.4	94	9.3	23.3

LPI: largest patch index.

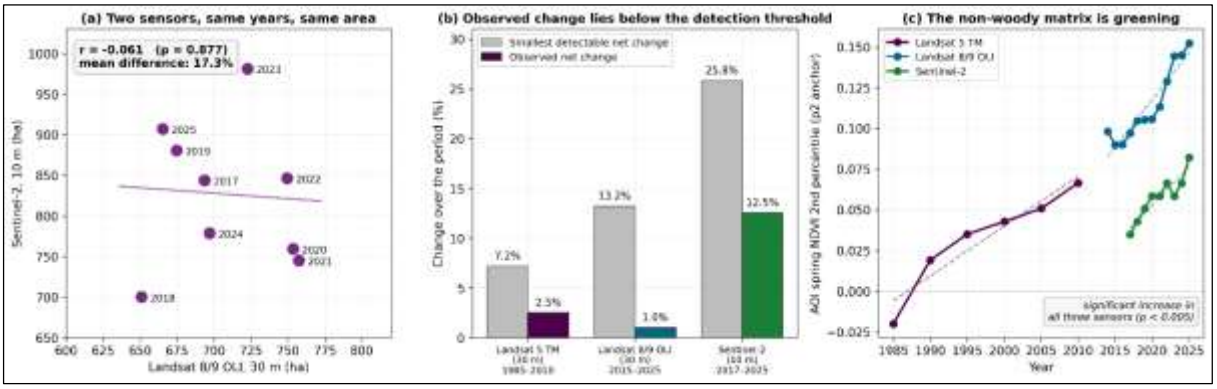


Figure 6. Components of uncertainty. (a) Relationship between the Landsat 8/9 OLI and Sentinel-2 series in overlapping years; (b) observed net change compared with the detection threshold; (c) the lower anchor of the within-AOI NDVI distribution across the three sensors.

4. DISCUSSION

The clearest result of this study is methodological. A classifier built with training data from a single epoch reported a 2.57-fold increase over the same area, and this increase is the only statistically significant trend in the study. Partial correlation analysis showed that this trend tracks image radiometry rather than land cover. The finding restates, through a small-scale and concrete example, the long-emphasised necessity of relative radiometric normalization (Schott et al., 1988; Hall et al., 1991; Yuan and Elvidge, 1996; Canty and Nielsen, 2008). The contribution here is that the effect of normalization has for once been measured quantitatively on the same data.

The practical consequence of this finding is as follows: the high accuracy values reported in multi-temporal classification studies carry no information about the transferability of the model to other epochs. In this study the internal accuracy in the training epoch was 99.2%, while the same model produced a result at one third of the independent reference in the 1990 epoch. Recommendations that accuracy assessment be carried out with reference data independent of the training epoch (Olofsson et al., 2014) are important in this respect as well.

The field finding, by contrast, runs counter to expectation. No significant decreasing trend was detected in any of the three sensors, no difference was found between the periods before and after the commissioning of the dams, and the independent Hansen product gave only 3.09 hectares of loss over twenty-three years. This result appears at first sight to contradict local studies reporting that forests in the delta have contracted (Bağcı and Bahadır, 2019). There are three possible sources of the difference. The first is a difference in scope: that study addresses the delta as a whole, covering 67,700 hectares (677 km²), whereas the present study is confined to a belt of 2,053 hectares. The second is class definition; Bağcı and Bahadır (2019) included afforestation sites as well as natural forest vegetation in their forest class and reported that

forest area across the delta fell from 114.1 km² in 1987 to 82 km² in 2018. The third, and probably the most important, is whether radiometric normalization is applied in multi-temporal comparisons; the artefact shown in Figure 2 of this study arises precisely where this step is omitted.

The statement of the finding should nevertheless be kept narrow. The failure to detect a significant trend does not mean that no change has occurred. The detection floors show that the TM series excludes net changes greater than 7.2%, the OLI series greater than 13.2% and the Sentinel-2 series greater than 25.8%. Losses below these thresholds will remain invisible to the present method.

There are three further matters that the method cannot see. First, the boundary of the study area was drawn on the basis of the present forest belt; areas converted to agriculture before 1985 and no longer appearing as forest are by definition outside the analysis. Second, the quantity measured is the area of woody canopy. Flood regime, species composition, regeneration success, age structure and tree health were not measured. A floodplain forest that is no longer inundated may retain its canopy for decades and appear healthy in remote sensing, while its ecological function may have deteriorated. Third, because of the 0.45-hectare minimum mapping unit and the 30 metre pixel size, interventions such as selective felling, thinning and the removal of single tree rows cannot be detected.

The widespread expectation that the differences in area between sensors can be explained by resolution is partly supported by the data of this study. The spatial comparison showed that the 30 metre pixel leads to a systematic undercount at the edges of narrow strips; approximately half of the area classified as woody by Sentinel-2 alone lies within this edge fringe. This bias, however, is not reflected in the series level, because calibrating the threshold against an independent reference absorbs it. Indeed, the finer resolution gave less area in the year in which the same calibration anchor was used, and the difference in level between the series could be explained by the difference in the calibration anchors. The conclusion is therefore not that the effect of resolution disappears, but that it is concealed by the calibration step. This increases the risk that, in studies which do not use a calibration anchor, the difference in level between sensors will be read directly as land change. What calibration cannot remove is spatial pattern: the 30 metre pixel bridges the gaps between the narrow forest strips in the area and systematically understates fragmentation. This is a direct example of the classical relationship between scale and perceived texture (Woodcock and Strahler, 1987).

Absolute comparison of area between sensors was deliberately avoided. When the threshold derived from the Landsat 5 TM epoch is applied directly to Landsat 8/9, a result deviating by 23.1% from the independent reference is obtained for 2021; this deviation is larger than the magnitude of the land change being sought. The mechanism is the difference in band response functions; Roy et al. (2016) showed that this difference leads to systematic NDVI shifts between ETM+ and OLI. This study therefore does not report a single net change figure between 1985 and 2025. Such a figure would require the Landsat 5, 7, 8 and 9 series to be harmonized with cross-sensor transformation coefficients, and this is foreseen as a continuation of the study.

Interpreting the rising trend in the Sentinel-2 series as a real forest expansion is likewise not defensible with the available data. The trend is not significant, it shows no relationship with the Landsat 8/9 series for the same years, and the magnitude of the year-to-year fluctuation is ecologically impossible. The strong agreement observed with the Dynamic World product cannot be regarded as an independent validation, because both products share the same Sentinel-2 input. On the other hand, the greening signal observed in the non-woody matrix of the area across all three sensors raises the possibility that wet meadow and reed areas are being invaded by woody species in a delta whose flood pulse has weakened. It should be emphasised that such a process, while increasing woody cover, would reduce wetland function and could therefore not be regarded as an ecologically favourable development. This is, however, not a finding with the present data but a hypothesis that needs to be tested.

Finally, the value of 1,850 hectares given in the literature for the floodplain forest resource of the delta and the quantities measured in this study correspond to different objects. That value denotes a habitat unit defined across the delta and includes the openings, floodplain meadows and internal gaps within that unit. What is measured in this study is the woody canopy. Indeed, the share of tree cover in the independent land cover composition of the study area was calculated as 36.8%. Warnings that the uncertainty of the forest definition may be greater than the uncertainty of measurement (Sexton et al., 2016; Chazdon et al., 2016) were confirmed quantitatively in this study by the Hansen threshold test. The floodplain forest belt is a landscape unit; the woody canopy is one component of it. Confusing the two leads to systematic overstatement of the tree resource of the protected area.

5. CONCLUSION

Woody cover area in the 2,053-hectare floodplain forest belt of the Kızılırmak Delta was examined over the 1985-2025 period with three separate satellite systems, each kept internally consistent. The principal results obtained are as follows.

First, the classifier built with training data from a single epoch reported a 2.57-fold increase between 1990 and 2010. This increase coincides almost exactly with the image radiometry of the epochs; with year controlled, the partial correlation between area and mean spring NDVI is +0.922, whereas with radiometry controlled the partial correlation between area and year falls to -0.165. Relative radiometric normalization removes this dependence. The only statistically significant trend in the study is this artefact itself.

Second, when normalization is applied, no significant trend is detected in any sensor. The Landsat 5 TM series shows a stable level of 617.2 ± 13.3 hectares, and there is no difference between the periods before and after the commissioning of the dams ($p = 0.966$). The independent Hansen product gives only 3.09 hectares of loss over the 2001-2023 period.

Third, this result should not be read as meaning that the ecosystem has been preserved. The detection floors of the series show that net changes below 7.2% (TM), 13.2% (OLI) and 25.8% (Sentinel-2) cannot be distinguished. Moreover, the quantity measured is the area of woody cover; flood regime, species composition and regeneration success were not measured.

Fourth, the difference between the mean levels of the series arises not directly from resolution but from the calibration reference. Nevertheless, the 30 metre pixel produces a systematic undercount because it sees the edges of narrow forest strips as mixed pixels, and this bias is absorbed by threshold calibration. The effect that calibration cannot remove is on spatial pattern; the 30 metre pixel bridges the gaps between the strips and understates fragmentation. For woody cover occurring as strips 60–100 metres wide, as in the study area, it is therefore recommended that fragmentation metrics be reported only from fine-resolution data.

Fifth, the forest definition itself is an important source of uncertainty. Changing the tree cover threshold within a single reference product produces results between 476.5 and 1,048.2 hectares; this 2.20-fold range is larger than the 1.34-fold difference between the three sensors.

Three directions are foreseen as a continuation of the study: harmonizing the Landsat 5, 7, 8 and 9 series with cross-sensor transformation coefficients so as to establish a single uninterrupted series for 1984-2025; applying trajectory-based change detection approaches (Kennedy et al., 2010; Zhu and Woodcock, 2014); and testing the greening signal observed in the non-woody matrix through a separate analysis. In addition, the ecological condition of the

area needs to be assessed by field measurements rather than by remote sensing, because the real vulnerability of a floodplain forest lies not in the area of its canopy but in the processes tied to the flood regime.

REFERENCES

Ataol, M., Kale, M. M., & Tekkanat, İ. S. (2019). Assessment of the changes in shoreline using digital shoreline analysis system: A case study of Kızılırmak Delta in northern Turkey from 1951 to 2017. Environmental Earth Sciences, 78(19), 579. https://doi.org/10.1007/s12665-019-8591-7

Bağcı, H. R., & Bahadır, M. (2019). Kızılırmak Deltasında (Samsun) arazi kullanımı ve zamansal değişimi (1987-2019). The Journal of Academic Social Science Studies, (78), 295-312. https://doi.org/10.29228/JASSS.40162

Bahadır, M. (2011). Kızılırmak Nehri akım değişimlerinin istatistiksel analizi. Turkish Studies, 6(3), 1339-1356. https://doi.org/10.7827/TurkishStudies.2120

Bahadır, M., & Özlü, T. (2014). Ağaçlı sulakalanlara bir örnek: Yörükler su basar ormanı (Kızılırmak Deltası). Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 7(35), 329-344.

Breiman, L. (2001). Random forests. Machine Learning, 45(1), 5-32. https://doi.org/10.1023/A:1010933404324

Brown, C. F., Brumby, S. P., Guzder-Williams, B., Birch, T., Hyde, S. B., Mazzariello, J., Czerwinski, W., Pasquarella, V. J., Haertel, R., Ilyushchenko, S., Schwehr, K., Weisse, M., Stolle, F., Hanson, C., Guinan, O., Moore, R., & Tait, A. M. (2022). Dynamic World, near real-time global 10 m land use land cover mapping. Scientific Data, 9, 251. https://doi.org/10.1038/s41597-022-01307-4

Canty, M. J., & Nielsen, A. A. (2008). Automatic radiometric normalization of multitemporal satellite imagery with the iteratively re-weighted MAD transformation. Remote Sensing of Environment, 112(3), 1025-1036. https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.07.013

Chazdon, R. L., Brancalion, P. H. S., Laestadius, L., Bennett-Curry, A., Buckingham, K., Kumar, C., Moll-Rocek, J., Vieira, I. C. G., & Wilson, S. J. (2016). When is a forest a forest? Forest concepts and definitions in the era of forest and landscape restoration. Ambio, 45(5), 538-550. https://doi.org/10.1007/s13280-016-0772-y

Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment, 202, 18-27. https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031

Hall, F. G., Strebel, D. E., Nickeson, J. E., & Goetz, S. J. (1991). Radiometric rectification: Toward a common radiometric response among multidate, multisensor images. Remote Sensing of Environment, 35(1), 11-27. https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90062-B

Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O., & Townshend, J. R. G. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. Science, 342(6160), 850-853. https://doi.org/10.1126/science.1244693

Kennedy, R. E., Yang, Z., & Cohen, W. B. (2010). Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr — Temporal segmentation algorithms. Remote Sensing of Environment, 114(12), 2897-2910. https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.07.008

Naiman, R. J., & Décamps, H. (1997). The ecology of interfaces: Riparian zones. Annual Review of Ecology and Systematics, 28, 621-658. https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.28.1.621

Nilsson, C., Reidy, C. A., Dynesius, M., & Revenga, C. (2005). Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems. Science, 308(5720), 405-408. https://doi.org/10.1126/science.1107887

Olofsson, P., Foody, G. M., Herold, M., Stehman, S. V., Woodcock, C. E., & Wulder, M. A. (2014). Good practices for estimating area and assessing accuracy of land change. Remote Sensing of Environment, 148, 42-57. https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.02.015

Pasquarella, V. J., Brown, C. F., Czerwinski, W., & Rucklidge, W. J. (2023). Comprehensive quality assessment of optical satellite imagery using weakly supervised video learning. Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, 2125-2135. https://doi.org/10.1109/CVPRW59228.2023.00206

Roy, D. P., Kovalskyy, V., Zhang, H. K., Vermote, E. F., Yan, L., Kumar, S. S., & Egorov, A. (2016). Characterization of Landsat-7 to Landsat-8 reflective wavelength and normalized difference vegetation index continuity. Remote Sensing of Environment, 185, 57-70. https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.024

Schott, J. R., Salvaggio, C., & Volchok, W. J. (1988). Radiometric scene normalization using pseudoinvariant features. Remote Sensing of Environment, 26(1), 1-16. https://doi.org/10.1016/0034-4257(88)90116-2

Sexton, J. O., Noojipady, P., Song, X.-P., Feng, M., Song, D.-X., Kim, D.-H., Anand, A., Huang, C., Channan, S., Pimm, S. L., & Townshend, J. R. (2016). Conservation policy and the measurement of forests. Nature Climate Change, 6(2), 192-196. https://doi.org/10.1038/nclimate2816

Syvitski, J. P. M., Kettner, A. J., Overeem, I., Hutton, E. W. H., Hannon, M. T., Brakenridge, G. R., Day, J., Vörösmarty, C., Saito, Y., Giosan, L., & Nicholls, R. J. (2009). Sinking deltas due to human activities. Nature Geoscience, 2(10), 681-686. https://doi.org/10.1038/ngeo629

Woodcock, C. E., & Strahler, A. H. (1987). The factor of scale in remote sensing. Remote Sensing of Environment, 21(3), 311-332. https://doi.org/10.1016/0034-4257(87)90015-0

Yuan, D., & Elvidge, C. D. (1996). Comparison of relative radiometric normalization techniques. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 51(3), 117-126. https://doi.org/10.1016/0924-2716(96)00018-4

Zanaga, D., Van De Kerchove, R., Daems, D., De Keersmaecker, W., Brockmann, C., Kirches, G., Wevers, J., Cartus, O., Santoro, M., Fritz, S., Lesiv, M., Herold, M., Tsendbazar, N.-E., Xu, P., Ramoino, F., & Arino, O. (2022). ESA WorldCover 10 m 2021 v200. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.7254221

Zhu, Z., & Woodcock, C. E. (2014). Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. Remote Sensing of Environment, 144, 152-171. https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.01.011

ÇEVRE ADALETSİZLİĞİ BAĞLAMINDA SİYAH ÇEVRECİLİK: KURAMSAL BİR DEĞERLENDİRME

Dr. Öğretim Üyesi Filiz ASLAN
Mardin Artuklu Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, İktisat Bölümü, Artuklu, Mardin
ORCID ID: 0000-0002-5599-9021

ÖZET

Çevresel adaletsizlik, çevresel risk ve zararların toplum içinde eşitsiz dağılımını ifade etmektedir. Bu kavram aynı zamanda çevresel faydalara erişim, siyasal temsil, karar alma sürecine katılım, sağlık, barınma, eğitim ve geçim kaynaklarına erişim gibi çok boyutlu eşitsizlikleri içermektedir. Bu çevresel eşitsizliklerin arkasındaki ırksal, sınıfsal ve mekânsal güç ilişkilerinin sorgulanmasıyla beraber siyah çevrecilik yaklaşımı gelişmesinde önemli bir zemin oluşturmuştur. Siyah çevrecilik, çevresel adalet fikrinden doğan ve çevresel eşitsizlikleri ırk ve ayrımcılık üzerinden açıklayan bir yaklaşımdır.

Siyah çevrecilik, Amerika Birleşik Devletleri'nin özgün ırksal tarihsel deneyimine dayanırken, sunduğu analitik araçlar, çevresel eşitsizliklerin bölgesel ve küresel boyutlarını ele almak için evrensel bir çerçeve sunmaktadır. Türkiye açısından değerlendirildiğinde ise Türkiye'de, ABD'deki siyah toplulukların tarihsel ve ırksal deneyimlerine dayanan, aynı tarihsel bağlam içerisinde şekillenmiş özgün bir siyah çevrecilik hareketinden söz etmek mümkün görünmemektedir. Ancak yapısal eşitsizlik, kesişimsellik, mekânsal ayrımcılık ve katılımcı adalet gibi siyah çevreciliğin sunduğu analitik araçlar Türkiye'deki çevresel adaletsizlikleri anlamada kullanılabilir. Hidroelektrik santraller, madencilik projeleri, termik santraller ve büyük ölçekli altyapı projelerine karşı gösterilen yerel mücadeleler, çevresel zararlarla beraber ekonomik kayıplar, geçim kaynaklarının korunması, kültürel tanınma, siyasal temsil ve karar alma süreçlerine katılım talepleriyle değerlendirilmektedir.

Anahtar kelimeler: Çevresel Adalet, Siyah Çevrecilik, Türkiye

BLACK ENVIRONMENTALISM IN THE CONTEXT OF ENVIRONMENTAL INJUSTICE: A THEORETICAL ASSESSMENT

ABSTRACT

Environmental injustice refers to the unequal distribution of environmental risks and harms within a society. This concept also encompasses multifaceted inequalities such as access to environmental benefits, political representation, participation in decision-making processes, health, housing, education, and livelihoods. The questioning of the racial, class, and spatial power relations underlying these environmental inequalities has laid a significant foundation for the development of the Black environmentalist approach. Black environmentalism is an

approach born from the idea of environmental justice that explains environmental inequalities through the lens of race and discrimination.

While Black environmentalism is based on the unique racial historical experience of the United States, the analytical tools it offers provide a universal framework for addressing the regional and global dimensions of environmental inequalities. From a Turkish perspective, it does not seem possible to speak of a unique Black environmentalist movement in Türkiye that is based on and shaped within the same historical context as the historical and racial experiences of Black communities in the US. However, analytical tools offered by Black environmentalism, such as structural inequality, intersectionality, spatial discrimination, and participatory justice, can be used to understand environmental inequalities in Turkey. Local struggles against hydroelectric power plants, mining projects, thermal power plants, and large-scale infrastructure projects are evaluated in terms of environmental damage, economic losses, livelihood protection, cultural recognition, political representation, and participation in decision-making processes.

Keywords: Environmental Justice, Black Environmentalism, Türkiye

1. GİRİŞ

Çevre adaletsizliği, çevresel risk ve zararların toplumdaki kişi ve gruplar arasında adil bir şekilde paylaşılmamasını ifade etmektedir. Çevre adaletsizliği, sadece çevresel tehlike ve zararları değil aynı zamanda güvenli çalışma koşulları, temiz suya ve yeşil alanlara erişim, sağlıklı konut hakkı, temiz hava ve afet riskleri gibi birçok unsuru içinde barındırmaktadır. Çevresel adalet fikrinden doğan siyah çevrecilik kavramı ise çevresel risk ve zararların dağılımında ırk ve sınıf farklılıkların dikkate alınması olarak ifade edilebilir.

Çevresel adalet fikri 1982 yılında ABD'deki büyük çoğunluğun siyah toplulukların yaşadığı Kuzey Carolina eyaletinde tehlikeli atık depolama sahasının kurulma kararı ve ardından başlayan kitlesel protestolar olmuştur. Ardından 1991 yılında Washington'da gerçekleştirilen Birinci Ulusal Renkli İnsanlar Çevre Liderliği Zirvesi ile gelir düzeyi düşük olan ve siyahi toplulukların çevresel zararlara daha fazla maruz kaldığı ve karar alma sürecine dışlandıkları belirlenmiştir.

Siyah çevreciliğin çevre adaletsizliği literatürüne en önemli katkısı çevresel tehlike ve zararların toplum için adil dağıtılmadığını ve bu adil olmayan dağılımın tesadüfi olmadığını; ırk, sınıf, mekânsal ayrışma ve siyasi güç ile ilişkili olduğunu ortaya koymasıdır. Ayrıca siyah çevrecilik; ırksal kapitalizm, black geographies, black ecologies, eleştirel çevresel adalet ve dekolonyal çevre yaklaşımlarıyla çok boyutlu bir kuramsal ağ sunmaktadır.

Türkiye açısından değerlendirildiğinde ise ABD'de olduğu gibi tarihsel, ırksal ve sosyal koşulların doğrudan bir karşılığı olarak değil sunduğu analitik araçlar aracılığıyla, Türkiye'deki çevre hareketlerinin sınıf, etnik köken, bölgesel eşitsizlikler ve mekânsal ayrışma eksenlerinde daha derinlemesine incelenmesine katkı sunmaktadır.

Çalışmanın amacı, çevresel adaletsizlik bağlamında siyah çevrecilik yaklaşımını kuramsal açıdan değerlendirmeyi ve bu yaklaşımın çevresel adalet anlayışına sağladığı kuramsal katkıları Türkiye bağlamında değerlendirmektir. Bu kapsamda çalışmada ilk olarak çevresel adaletsizlik kavramı ve gelişimi incelemekte, ardından ise siyah çevrecilik kavramı ve siyah çevreciliğin çevre adaletsizliği yaklaşımına katkıları, son olarak siyah çevreciliğin küresel boyutu ve Türkiye bağlamı değerlendirilmektedir.

2. KAVRAMSAL VE KURAMSAL ÇERÇEVE OLARAK ÇEVRE ADALETSİZLİĞİ

2.1. Çevre Adaletsizliği Kavramı

Çevresel adaletsizlik; çevresel zarar ve risklerin toplum içindeki gruplar ve bireyler arasında adaletsiz bir biçimde dağıtılmasını ifade etmektedir (Bullard, 2000). Başka bir ifadeyle çevresel tehlikelerin dağılımında sınıfsal ve ırksal eşitsizliklerin bulunması olarak tanımlanabilmektedir (Mohai and Walker, 1992, s.932). Çevresel adaletsizlikleri daha sistematik biçimde açıklayabilmek amacıyla farklı sınıflandırmalar geliştirilmiştir. Bu kapsamda Laurent, çevresel adaletsizlikleri dört temel boyutta ele almaktadır (Laurent, 2011, s.1849).

İlk olarak**,** maruz kalma ve erişim eşitsizlikleridir. Bu eşitsizlikler, çevresel kalitenin bireyler ve toplumsal gruplar arasında eşit olmayan biçimde dağıtılmasını ifade etmektedir. Söz konusu eşitsizlikler, bir yandan çevresel kirleticilere, risklere ve tehlikelere orantısız biçimde maruz kalma; diğer yandan ise yeşil alanlar, temiz çevre ve sağlıklı yaşam koşulları gibi çevresel olanaklara erişimde yaşanan farklılıklar şeklinde ortaya çıkmaktadır.

İkinci olarak**,** politika etkisi eşitsizlikleridir. Çevre politikalarının bireyler ve toplumsal gruplar üzerindeki etkilerinin eşit olmamasını ifade etmektedir. Burada söz konusu olan, çevresel fayda veya çevresel yüklerin eşitsiz dağılımından ziyade; düzenleyici politikalar ya da çevre vergileri gibi uygulamaların gelir üzerindeki etkilerinin toplumun farklı kesimleri arasında adil olmayan biçimde dağılmasıdır.

Üçüncü boyut olan etki eşitsizlikleri ise bireylerin ve toplumsal grupların gelir düzeyleri ve yaşam tarzlarına bağlı olarak çevre üzerinde farklı düzeylerde baskı oluşturmasını ifade etmektedir. Başka bir ifadeyle, bazı bireyler ve toplumsal gruplar çevreye diğerlerinden çok daha fazla zarar vermektedir.

Son olarak, politika oluşturma sürecine katılım eşitsizlikleri ise, bireylerin ve toplumsal grupların çevre politikalarının hazırlanması ve uygulanmasına eşit ölçüde katılamamasını ifade etmektedir. Bu eşitsizlik, insanların kendi yaşam çevrelerini ilgilendiren karar alma süreçlerine katılım düzeyleri ile bu süreçlerde etkili olabilme güçlerinin farklılık göstermesinden kaynaklanmaktadır.

Laurent'in ortaya koyduğu bu sınıflandırma, çevresel adaletsizliğin yalnızca çevresel risklerin eşitsiz dağılımından ibaret olmadığını; çevresel faydalara erişim, çevre politikalarının ekonomik sonuçları, bireylerin çevre üzerindeki farklı etkileri ve karar alma süreçlerine katılım gibi birçok boyutu kapsadığını göstermektedir. Bu açıdan değerlendirildiğinde çevresel adaletsizlik, salt ekolojik bir sorun değil; aynı zamanda sosyal, ekonomik ve siyasal boyutları bulunan çok yönlü bir adalet sorunudur.

Çevresel adaletsizliğin çok boyutlu yapısı, kavramın tarihsel gelişim süreci içerisinde yapılan ampirik araştırmalarla daha görünür hâle gelmiştir. Özellikle Amerika Birleşik Devletleri'nde 1980'li yıllarda gerçekleştirilen çalışmalar, çevresel risklerin toplum içerisinde eşit dağılmadığını ortaya koyarak çevresel adalet literatürünün gelişimine önemli katkılar sağlamıştır. Özellikle 1987 yılında United Church of Christ tarafından yayımlanan *Toxic Wastes and Race in the United States* raporu, tehlikeli atık depolama alanlarının en güçlü belirleyicisinin gelir değil, ırk olduğunu ortaya koymuştur. Rapora göre siyahların ve diğer etnik azınlıkların yaşadığı bölgeler, beyaz nüfusun yoğun olduğu yerleşim alanlarına kıyasla çevresel kirleticilere çok daha fazla maruz kalmaktadır. Bu bulgu, çevresel eşitsizliklerin yalnızca ekonomik yoksullukla açıklanamayacağını; yapısal ırkçılığın çevresel risklerin dağılımında belirleyici bir rol oynadığını göstermiştir.

Çevresel eşitsizliklerin giderilebilmesi için mevcut çevre politikalarının yalnızca kirliliği azaltmaya değil, aynı zamanda çevresel yüklerin ve çevresel faydaların adil dağılımını sağlamaya yönelik bir çevresel adalet perspektifi ile yeniden düzenlenmesi gerektiğini savunmaktadırlar (Mohai and Walker, 1992, s.932). Bu çerçevede çevresel adalet yaklaşımı, azınlık gruplarının, siyah toplulukların, yerli halkların ve düşük gelirli kesimlerin orantısız biçimde maruz kaldığı çevresel yüklerin giderilmesini ve herkesin sağlıklı, güvenli ve sürdürülebilir bir çevrede yaşama hakkının güvence altına alınmasını hedeflemektedir (Bullard, 2000). Çevresel adalet kavramı başlangıçta çevresel risk ve zararların farklı toplumsal gruplar arasında eşitsiz dağılımına odaklanmış olsa da, zamanla kapsamı önemli ölçüde genişlemiştir (Schlosberg, 2007). Bu kavramsal dönüşümü ayrıntılı biçimde ele alan Schlosberg "*Theorising Environmental Justice: The Expanding Sphere of a Discourse"* adlı

çalışmasında çevresel adaleti; sosyal adalet, akıllı büyüme politikası, kırsal alana ve yeşil alanlara erişim, küresel eşitsizlikler, iklim değişikliği, gıda güvenliği, doğal kaynakların paylaşımı ve gelecek kuşakların hakları gibi birçok yeni konuyu da içine alacak şekilde genişlemiştir. Bu gelişme, çevresel adaleti yalnızca yerel çevre sorunlarını açıklayan bir yaklaşım olmaktan çıkararak küresel ölçekte çevresel ve toplumsal eşitsizlikleri analiz eden kapsamlı bir paradigma hâline getirmiştir (Schlosberg, 2013.s. 41).

2.2. Çevresel Adalet Hareketinin Ortaya Çıkışı

Irk, ten rengi, ulusal köken veya gelir düzeyine bakılmaksızın bütün insanların çevreyle ilgili yasa, düzenleme ve politikaların hazırlanması, uygulanması ve yürütülmesi süreçlerinde adil biçimde muamele görmesi ve anlamlı şekilde katılım sağlaması anlamına gelen çevresel adalet fikri 1980'li yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nde çevresel ırkçılığa karşı yürütülen mücadeleler sonucunda gelişmiştir (Laurent, 2011, s.1847).

Her ne kadar çevresel adalet kavramı kamuoyunda daha erken dönemlerde kullanılmaya başlanmış olsa da, bugünkü anlamıyla çevresel adalet düşüncesi esas olarak 1980'li yıllarda Amerika Birleşik Devletleri'nde çevresel ırkçılığa karşı yürütülen sivil haklar mücadelesi çerçevesinde ortaya çıkmıştır. Çevresel adaletsizlik konusunun ulusal ölçekte dikkat çekmesini sağlayan en önemli gelişme, 1982 yılında Kuzey Carolina eyaletinin Warren County bölgesinde ağırlıklı olarak Afrikalı Amerikalıların yaşadığı bir yerleşim alanının yakınına poliklorlu bifenil atık depolama sahası kurulma kararı ve ardından başlayan kitlesel protestolar olmuştur. Bu protestolar neticesinde Kongre Üyesi Walter E. Fauntroy'un talebiyle 1983 yılında ABD Genel Muhasebe Ofisi (GAO) raporu hazırlanmış ve raporda, bölgedeki tehlikeli atık sahalarının çoğunlukla yoksul ve siyahi toplulukların yer aldığını belgelemiştir. Bu bulgular ışığında United Church of Christ tarafından yürütülen ve 1987'de yayımlanan "Toxic Wastes and Race in the United States" raporu, sosyo-ekonomik değişkenler kontrol edildiğinde dahi tesis yer seçiminde en güçlü belirleyicinin ırk olduğunu ampirik olarak kanıtlamıştır. Siyasal temsil eksikliği ve konut ayrımcılığı gibi yapısal faktörlerden kaynaklanan bu durum, "çevresel ırkçılık" olarak adlandırılmıştır. Yaşanan bu süreç, ABD Çevre Koruma Ajansı'nın (EPA) konuyu gündemine almasını sağlamış; 1992'de yayımlanan raporun ardından kurulan Office of Environmental Justice ile çevresel adalet, federal çevre politikalarının temel ilkelerinden biri hâline gelmiştir (Laurent, 2011; Mohai ve Walker, 1992).

Sahadaki bu sivil mücadele ve kurumsal adımlar, konunun eş zamanlı olarak akademik literatürde de güçlü bir araştırma alanı hâline gelmesine zemin hazırlamıştır. Böylece çevresel adalet, yalnızca hak arayan toplumsal bir hareket olmaktan çıkarak çevresel risklerin toplum

içindeki eşitsiz dağılımını açıklayan kuramsal bir paradigmaya dönüşmüştür. Paradigmanın akademik temelleri, 1970'lerden itibaren risklerin dezavantajlı gruplar üzerinde yoğunlaştığını ortaya koyan çalışmalara dayanmakla birlikte, bu dönüşümde Robert Bullard'ın 1980'li yıllardaki öncü araştırmaları belirleyici olmuştur. Bullard; düşük gelirli grupların, işçi sınıfının ve özellikle siyahi nüfusun hem yaşam hem de çalışma alanlarında çok daha yüksek düzeyde çevresel riske maruz kaldığını kanıtlamıştır. Bu bulgular, çevre sorunlarının yalnızca ekolojik bir boyut taşımadığını, aynı zamanda sosyal, ekonomik ve siyasal eşitsizliklerle doğrudan ilişkili olduğunu göstererek çevresel adalet yaklaşımının teorik çerçevesini olgunlaştırmıştır (Öğüt Erbil, 2014, s. 68).

2.3. Siyah Çevrecilik Kavramı

Siyah çevrecilik, çevresel adalet fikrinden doğan ve çevresel eşitsizlikleri ırk ve ayrımcılık üzerinden açıklayan bir yaklaşımdır. Bu kapsamda siyah çevrecilik, çevresel tehlikelerin dağılımında hem ırksal hem de sınıfsal farklılıkların dikkate alınması olarak ifade edilebilir (Mohai ve Walker 1992, s.927). Başka bir ifadeyle her türden kirletici maddelerin (duman, toz, zehirli gaz, pis koku ve karbonmonoksit gibi) daha çok siyahilerin yaşadığı bölgelerde yoğunlaşması ve bu bölgelerin çevresel zararlara daha fazla maruz kalması durumu olarak tanımlanabilir. Siyahilerin mekânsal konumu ve dağılımı, siyah toplulukları daha yıkıcı ve farklı çevresel dezavantajlarla etkilemekle kalmayıp onların sosyal ve psikolojik uyumu üzerinde de olumsuz etki yaratmaktadır (Hare, 1970, s.3). Bu durum yapılan araştırmalarla desteklenmektedir. 2007 yılında yapılan bir araştırmaya göre ABD'de yaklaşık 9 milyon kişinin 413 ticari atık tesisinin yakınında yaşadığı belirtilmiştir. Bu tesislerin bulunduğu yerlerde yaşayan nüfusun %56'sının siyahilerden oluştuğu ve tesis bulunmayan bölgelerde ise renkli toplulukların (siyahilerin) oranının ise sadece %30 olduğu tespit edilmiştir. Yani çevresel tehlike taşıyan yerlerde siyahilerin oranı diğer bölgelere göre daha yüksek olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Laurent, 2011, s. 1847).

Siyah çevrecilik, çevresel sorunlarını analiz ederken kesişimsellik yaklaşımından faydalanarak çok eksenli bir çerçeve sunmaktadır. Bu yaklaşım bireyleri sadece tek bir eşitsizlik biçimiyle değil; ırk, toplumsal cinsiyet, etnik köken gibi diğer toplumsal konumların kesişiminde farklı ayrımcılık biçimleriyle ele alarak çevresel adaletsizliklerin çok katmanlı olduğunu kabul etmektedir (Crenshaw, 1989). Pulido ise siyah çevreciliği, çevresel adaletsizliği sadece çevresel zararların belirli gruplar üzerinde yoğunlaşması olarak değil, siyahilerin ve ırksallaştırılmış toplulukların nasıl değersizleştirildiği ve doğanın sömürülmesi ile bütünleşmiş bir ilişki içerisinde ele almaktadır (Pulido, 2016).

Siyah çevrecilik, çevreyi tarihsel adalet, insan hakları, mekânsal eşitlik ve ekolojik sürdürülebilirlik çerçevesinde ele alarak çevresel adalet literatürüne yeni bir kuramsal derinlik kazandırmıştır.

2.4. Siyah Çevreciliğin Ortaya Çıkışı ve Tarihsel Gelişimi

Siyah çevreciliğin tarihsel gelişimi, Amerika Birleşik Devletleri'nde çevresel sorunların ırk, sınıf ve mekânsal eşitsizliklerle birlikte ele alınmaya başlanmasıyla şekillenmiştir. 1960'lı ve 1970'li yıllarda sosyal hareketlerin güçlenmesiyle beraber, siyahi ve diğer azınlık grupların çevresel adaletsizliklere karşı tepkilerinde önemli bir artış yaşanmıştır. Bu dönemdeki çevresel adaletsizlikler sadece doğal çevrenin korunması kapsamında değil sağlık, yoksulluk, kötü çalışma koşulları ve ırksal eşitsizliklerle beraber değerlendirilmiştir. Azınlık grupları çevresel tehlikelere maruz kalmanın nedeni olduğu sağlık sorunlarını incelemek, yaşam koşullarını iyileştirmek, çevresel adaletsizlikleri araştırmak ve uğradıkları zararlar için yasal tazminat aramak amacıyla daha örgütlü mücadeleler vermeye başlamıştır (Taylor, 2011).

Siyah çevreciliğin gelişiminde en dikkat çekici dönüm noktalarından biri 1982 yılında büyük çoğunluğunun siyahilerin yaşadığı bölge olan Kuzey Carolina eyaletinde tehlikeli atık sahasının kurulmasına karşın gerçekleştirilen protestolar, ticari tehlikeli atık tesislerinin yer seçiminde ırkın tek başına en güçlü belirleyici olduğuna ilişkin tartışmaları ulusal ve uluslararası düzeye taşımıştır (Mohai ve Walker, 1992, s.921-922).

Siyah çevreciliğin ve çevre adaleti hareketinin tarihteki en önemli olaylardan biri 1991 yılında Washington'da gerçekleştirilen Birinci Ulusal Renkli İnsanlar Çevre Liderliği Zirvesidir. Zirvede özellikle, düşük gelirli ve renkli toplulukların çevresel zararların orantısız yükünü sıklıkla taşıdığını ve aynı zamanda kamu kurumları ve çevre örgütleri tarafından karar alma süreçlerinden sistematik olarak dışlandığını vurgulanmıştır. Ayrıca zirvede çevrenin kapsamı yeniden tanımlamasına olanak sağlamıştır. Zirvede kabul edilen 17 çevresel adalet ilkesi çevresel sorunların sadece tehlikeli zararların belirli alanlarda yoğunlaşması olarak değil sağlık, konut, işçi güvenliği, kaynaklara erişim ve karar alma süreçlerine katılım gibi daha geniş konuları da kapsamaya başlamıştır (First National People of Color Environmental Leadership Summit, 1991).

2000 yılından sonra ise siyah çevrecilik literatürde Black Ecology, Black Geographies ve Black Environmental Justice gibi kavramlarla yer almış ve geliştirilmiştir. Günümüzde çevre sadece doğal kaynakların korunması gereken bir alan olarak değil sağlık, güvenlik, eşitlik ve toplumsal haklarla ilişkili bir alan olarak ele alınmaktadır. Örneğin Murphy, Weddington ve Rio-Glick (2021), çalışmasında Black Ecology yaklaşımını çevre sosyolojisini ve kritik çevre

adaletini birleştirerek siyah hayatı tehdit eden çevresel adaletsizliklere karşı eleştirel ve dönüştürücü bir çerçeve sunmaktadır.

3. SİYAH ÇEVRECİLİĞİN ÇEVRE ADALETSİZLİĞİ YAKLAŞIMINA KATKILARI

Geleneksel çevrecilik anlayışı doğanın korunması ve yaban hayatı gibi konulara ağırlık verirken siyah çevrecilik çevresel sorunları sadece doğal çevrenin korunması kapsamında incelenmesine karşı çıkarak çevre sorunlarını ırk, yoksulluk, mekan, eşitsizlik, sağlık ve sosyal adalet açısından inceleyerek çevre ile toplum arasında ilişkiyi derinleştirmiştir. Siyah çevrecilik çevresel risklerin dağılımına odaklanmış ve çevresel risklerin hangi kesimleri daha fazla etkilediği sorularını gündeme getirmiştir (Height, Martin & Leggett, 2023).

Siyah çevreciliğin çevre adaletsizliği literatürüne en önemli katkısı çevresel tehlike ve zararların toplum için adil dağıtılmadığını ortaya koymasıdır. Siyah çevrecilik bu adil olmayan dağılımın tesadüfi olmadığını; ırk, sınıf, mekânsal ayrışma ve siyasi güç ile ilişkili olduğunu belirtmiştir. Böylece çevresel zararların kimlere daha fazla yüklendiği ve çevresel faydalardan ise kimlerin daha fazla yararlandığı soruları sorulmaya başlanmıştır. Siyah çevreciliğin bir diğer önemli katkısı ise çevresel adaletsizlik ile ırkçılık arasındaki yapısal ilişkiyi görünür hale getirmiştir. Çevresel tehlike ve zararların siyahi toplulukların yaşadıkları alanlarda fazla olması çevresel eşitsizlikleri sadece gelir farklılıklarıyla değil ayrımcılık, ırk, siyasi güç ve mekânsal ayrışma ilişkilerinin kesişiminden kaynaklanan sistematik bir yapı olduğunu göstermektedir (Bullard, 2000).

Siyah çevreciliğin çevre adaletsizliği yaklaşımına sağladığı bir başka önemli katkı ise çevre kavramının kapsamını genişletmesidir. Çevre sadece ormanlar, nehirler, doğal alanlar ya da yaban hayatından oluşan bir fiziksel alan değil çalışma alanı, barınma, eğitim, sağlık, altyapı ve ekonomik yaşam gibi bireylerin çevresel deneyimlerin bir parçasını oluşturmaktadır. Böylece çevre adaleti birey ve doğa arasındaki ilişki kadar insanlar arasındaki çevresel ilişkileri ve adaletsizlikleri/adaleti inceleyerek daha geniş bir çerçeve sunmaktadır (Taylor, 2011).

Çevresel ve kurumsal ırkçılık, marjinalleştirilmiş toplulukların güvenli, temiz ve sağlıklı yaşam koşullarına erişiminin sınırlı olduğu bir ortamı besleyerek daha kötü sağlık sonuçlarına yol açmaktadır. Daha zengin, beyaz mahallelerin çıkarlarını önceliklendiren, yoksul ve siyah toplulukların çevresini ihmal eden veya sömüren politikalar, bu zarar döngüsünü sürdürmektedir. Dolayısıyla siyah çevrecilik, çevresel adaletsizlikleri ırksal ve toplumsal eşitsizliklerin bir sonucu olarak görmektedir (Page & Broussard, 2025).

Sonuç olarak siyah çevrecilik, çevre adaletsizliği yaklaşımına sağladığı üç temel dönüşüm şunlardır.

1. Çevresel sorunların toplumsal gruplar arasında adil dağılmadığını ortaya koyarak çevresel adaletsizliklerin dağıtımsal boyutunu görünür hale getirmiştir.
2. Çevresel adaletsizliklerin ırkçılık, sınıf, mekânsal ayrışma ve ekonomik güç ilişkileriyle bağlantı kurarak çevresel adaletsizlikleri yapısal bir sorun olarak ele almaktadır.
3. Çevre kavramının kapsamını genişleterek konut, sağlık, altyapı ve barınma gibi alanları çevresel adalete dahil etmiştir.

4. SİYAH ÇEVRECİLİK PERSPEKTİFİNDEN ÇEVRESEL ADALETİN YENİDEN DÜŞÜNÜLMESI

Siyah çevrecilik, eleştirel çevresel adalet yaklaşımını geleneksel sınırların ötesine taşıyarak ırk, sınıf ve diğer toplumsal eşitsizlik biçimleriyle beraber çevre ile olan ilişkisini yediden ele almaktadır. Ayrıca baskı sistemlerinin tarihsel kökenlerini özellikle kölelik, sömürgecilik ve ırksal kapitalizm açısından yeniden değerlendirerek çevresel adaletin sadece mevcut politikaların reformu değil yapısal eşitsizliklerin tarihsel temellerinin sorgulanmasını sağlamaktadır (Álvarez & Coolsaet, 2018).

Siyah çevrecilik dekolonyal çevre yaklaşımı ile kesişerek çevresel adaletsizliklerin sadece ekonomik, sosyal ve politik tercihlerle açıklamak yerine sömürgecilik, kapitalizm ve ırksallaştırma gibi güç ilişkileriyle beraber değerlendirilmektedir. Bu kapsamda siyahi grupların ekolojik deneyim ve alternatif yaşam biçimleri, çevre bilgisi üretiminde meşru ve kurucu unsurlar olarak değerlendirilmektedir.

Siyah çevrecilik, çevresel adaleti sadece çevresel risk ve zararların toplumdaki bireyler arasında nasıl dağıtıldığıyla ilgilenmemekte aynı zamanda bu risklerin ortaya çıkış nedenlerini tarihsel, sosyal ve siyasi güç ilişkisiyle ilgilenmektedir. Siyah çevrecilikte en önemli hususlardan biri çevresel risklerin neden belirli topluluklar üzerinde yoğunlaştığı ve çevre ile ilgili kararlarda bu toplulukların ne kadar söz sahibi olduğu ve hangi gurupların bu süreçte dışlandığıdır. Bu kapsamda siyah çevrecilik, çevresel adaleti sadece çevresel zararların adil dağıtılmasıyla değil aynı zamanda siyasi temsil, kaynaklara erişim, karar alma sürecinde söz sahibi olma yoluyla yeniden düşünmektedir (Roy ve Hanaček, 2023).

Siyah coğrafyalar, siyahilerin mekân ve yerle ilişkilerini; ırksal tahakküm, mülksüzleştirme, sömürgecilik ve toplumsal ayrımcılığın mekânsal etkilerini ele alırken (McKittrick, 2006) siyah ekoloji ise siyahilerin ırkçı kapitalizme ve beyaz üstünlükçülğüne karşı çevre ve mekanla nasıl özgürleştirici ilişkiler kurduğunu ele almaktadır (Barra, 2023). Bu kapsamda siyah ekoloji (*Black ecology*) ve siyah coğrafyalar (*Black geographies*), çevresel adaletin hem mekânsal hem

de kavramsal olarak yapısını genişleten iki önemli kavramı oluşturmaktadır. Çevresel adalet çevresel risk ve zararların toplum içinde adil olarak dağıtılmasını ele alırken siyah ekoloji ve siyah coğrafyalar ise mekân, doğa, ırk, sınıf ve güç ilişkilerinin birbirini nasıl şekillendirdiğini göstermektedir.

Sonuç olarak siyah çevrecilik, çevresel adaleti açıklamak için sadece tek bir teori değil çok katmanlı bir kuramsal ağ sunmaktadır. Irksal kapitalizm, Black Geographies, Black Ecologies, eleştirel çevresel adalet ve dekolonyal çevre yaklaşımı beraber değerlendirildiğinde çevresel adaletsizliklerin sadece çevresel politikalar ile ilgili olmadığı, modern dünyanın tarihsel olarak ırk, mekan ve doğa üzerine kurulu bir güç, egemenlik ve sömürü ilişkisi olduğunu ortaya koymaktadır.

5. ÇEVRESEL ADALETİN KÜRESEL BOYUTU

Çevresel adalet başlangıçta çevresel fayda ve risklerin toplum içinde adil dağıtılması gerektiğine odaklanırken zamanla uluslararası ve küresel ölçekte ortaya çıkan adaletsizlikleri kapsayacak şekilde genişlemiştir. Walker çalışmasında çevresel adalet çerçevesinin yatay ve dikey yönde genişlediğini savunmaktadır. Yatay yönde genişleme fikirlerin, anlamların ve çerçeve süreçlerinin dünyanın dört bir yanındaki yeni ortamlarda uluslararası olarak ortaya çıkmasını içermektedir. Dikey genişleme ise çevresel adaletin ulusal sınırlarda sona ermeyen ülkeler arasındaki ilişkileri ve ticari anlaşmaların atık transferleri ve iklim değişikliği gibi küresel ölçekteki konuları kapsamaktadır. Bu bağlamda çevresel adalet söyleminin ABD'deki ilk hareketlerinden farklı olarak çeşitli toplumsal alanlara yayılması kavramın küresel ölçekte yeniden yorumlanmasına yol açmıştır (Walker, 2009).

Küresel çevresel adalet tartışmasının temel unsurlarından bir diğeri ise Küresel Kuzey ile Küresel Güney arasında görülen eşitsizliklerdir. İklim değişikliğinin olumsuz etkileri**,** yoksulluk, göç, eşitsizlik, temel hizmetlere erişim, eğitim, kurumlar ve yönetim kapasiteleri ile ilgili birçok sorun marjinalleştirilmiş grupları orantısız bir şekilde etkileyerek eşitsizlikleri arttırmakta ve tüm bölgelerde sürdürülebilir kalkınmayı baltalamaktadır. Sosyo-ekonomik koşulları ve daha geniş kalkınma bağlamı nedeniyle, özellikle yüksek düzeyde kırılganlık ve eşitsizliğe sahip bölgelerdeki birçok yoksul topluluk, çeşitli iklim etkilerine karşı daha az dirençlidir. İklim değişikliğinin gözlemlenen toplumsal etkileri, örneğin seller, kuraklıklar ve fırtınalar nedeniyle oluşan ölümler, düşük kırılganlığa sahip bölgelere kıyasla yüksek kırılganlığa sahip bölgelerde çok daha fazladır. Bu durum bölgelerin iklim değişikliğine dayanıklı kalkınmaya doğru ilerlemelerinde farklı başlangıç noktalarına sahip olduklarını ortaya koymaktadır. Son yıllarda, Mozambik, Somali, Nijerya, Afganistan ve Haiti gibi çok

yüksek kırılganlığa sahip bölgeler ve ülkeler için sellerden, kuraklıklardan ve fırtınalardan kaynaklanan ortalama ölüm oranı, İngiltere, Avustralya, Kanada ve İsveç gibi çok düşük kırılganlığa sahip bölgeler ve ülkelere göre 15 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir (IPCC, 2022).

Küresel çevresel adalet, sadece "çevresel zarar kimlere ulaşmaktadır?" sorusuyla sınırlı kalmamakta aynı zamanda "Bu zararların ortaya çıkmasında kimlerin tarihsel sorumluluğu bulunmaktadır?", "Çevresel kaynaklardan kimler daha fazla yararlanmaktadır?" ve "Çevre politikalarının oluşturulmasında kimlerin karar alma gücü bulunmaktadır?" sorularını da gündeme getirmektedir. Bu açıdan çevresel adalet; dağıtımsal adalet, usule ilişkin adalet ve tanınma adaleti boyutlarını birlikte ele almaktadır. Dağıtımsal adalet çevresel maliyet ve faydaların adil paylaşımını, usule ilişkin adalet karar alma süreçlerine katılımı, tanınma adaleti ise farklı toplulukların tarihsel, kültürel ve toplumsal özelliklerinin dikkate alınmasını ifade etmektedir (Schlosberg, 2007).

Sonuç olarak küresel çevre adaleti, çevre ile ilgili sorunların ulusal sınırlar içinde ele alınmasını yetersiz görerek uluslararası boyuta taşımıştır. Küresel düzeydeki üretim ve tüketim ilişkileri, doğal kaynakların uluslararası dolaşımı, sömürgecilik, iklim değişikliği ve çevresel zararların eşitsiz dağılımı beraber değerlendirildiğinde çevre sorunlarının aynı zamanda iktidar ve adalet sorunu olduğunu da göstermektedir. Bu nedenle küresel çevresel adalet, yalnızca çevresel zararların azaltılmasını değil; tarihsel sorumlulukların dikkate alınmasını, kaynaklara ve çevresel faydalara adil erişimi, etkilenen toplulukların karar alma süreçlerine katılımını ve farklı bilgi sistemlerinin tanınmasını gerektiren daha kapsamlı bir yaklaşımı ifade etmektedir.

6. TÜRKİYE BAĞLAMINDA ÇEVRESEL ADALET VE SİYAH ÇEVRECİLİK

Türkiye'de, ABD'deki siyah toplulukların tarihsel ve ırksal deneyimlerine dayanan, aynı tarihsel bağlam içerisinde şekillenmiş özgün bir siyah çevrecilik hareketinden söz etmek mümkün görünmemektedir Fakat çevresel risklerin ve ekolojik bozulmanın toplumun farklı kesimleri üzerinde eşitsiz bir şekilde yoğunlaşması (özellikle düşük gelirli toplulukların, kırsal nüfusun, etnik ve kültürel olarak dezavantajlı grupların ve çevresel kaynaklara bağımlı yerel toplulukların mücadeleleri) siyah çevre literatüründe sunulan çevresel adalet perspektifi çerçevesinde ele alınabilir. Bu kapsamda Türkiye'deki siyah çevrecilik, doğrudan bir sosyal hareket veya kimlik kategorisi olarak değil, çevresel eşitsizlik, marjinalleşme, mekânsal adaletsizlik ve güç ilişkileri merceğinden yeniden düşünülmesi gereken eleştirel bir analitik çerçeve olarak ele alınmalıdır.

ABD'de Siyah çevreci hareketlerin gelişimi; ırksallaştırılmış toplumsal yapı → mekânsal ayrışma → çevresel yüklerin eşitsiz dağılımı → çevresel ırkçılığa karşı mücadele → çevresel adalet hareketi şeklinde sıralanabilir.

Türkiye'de ise sınıf → etnik kimlik → kır-kent ayrımı → bölgesel eşitsizlik → mekânsal konum → çevresel risk → çevresel adalet mücadelesi şeklinde sıralanabilir.

Türkiye'de siyah çevrecilik kavramı, ABD'de olduğu gibi tarihsel, ırksal ve sosyal koşulların doğrudan bir karşılığı olarak ortaya çıkmamıştır. Sunduğu analitik araçlar aracılığıyla, Türkiye'deki çevre hareketlerinin sınıf, etnik köken, bölgesel eşitsizlikler ve mekânsal ayrışma eksenlerinde daha derinlemesine incelenmesine katkı sağlamıştır.

Türkiye'de 1990'lı yılların başlarında İzmir'in Bergama ilçesinde çokuluslu bir şirket tarafından yürütülen siyanürlü altın madenciliği faaliyetlerine karşı yürütülen protestolar ülkenin en önemli çevresel hareketlerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Kökalan Çımrın, 2015; Özen, 2009)

Türkiye'de çevresel bilinç ve aktivizmin olgunlaşmamış niteliği, özellikle son on yılda kırsal kesimde madencilik ve hidroelektrik baraj inşaatına karşı yapılan protestolarla yeni bir ivme kazanmıştır. Bu ivme, özellikle Mayıs 2013 Gezi Park Protestoları, kapsamlı ve yıkıcı kalkınma planları (İstanbul Kanalı, üçüncü havalimanı ve kırsal alanlardaki çeşitli baraj projeleri, açık/yeşil alanları binalarla değiştiren çeşitli kentsel gelişimler) ve iş kazaları (Soma faciası ve diğer maden kazaları; artan inşaat işçisi ölümleri) sonrasında hızlanmış ve kapsamı genişlemiştir (Öğüt Erbil, 2024, s.70).

Türkiye'de, çevresel adalet çerçevesinde, kadınların, yoksulların, romanların ve diğer dezavantajlı sosyal grupların çevresel tehlikelere maruz kalma biçimleri, çevresel kaynaklara erişimleri ve karar alma süreçlerine katılımları giderek daha fazla araştırma konusu haline gelmiştir. Bu kapsamda, farklı sosyal gruplar arasında çevresel eşitsizlik deneyimlerini ele alan çalışmalara bakıldığında Vurkun Çavdar ve Atasü Topcuoğlu (2025), Türkiye'nin Kırklareli ilçesindeki Roman ve Roman olmayan topluluklar arasındaki çevresel eşitsizlikleri, çevresel adalet perspektifinden anket yöntemi kullanarak incelemişlerdir. Bulgular, roman topluluklarının daha düşük eğitim seviyesi, daha yüksek işsizlik, temel hizmetlere daha az erişim, kirlilik, yetersiz atık yönetimi ve çevresel sağlık risklerine daha fazla maruz kalma gibi önemli dezavantajlar yaşadığını ortaya koymaktadır. Ayrıca, roman katılımcılar, uygun fırsatlar sağlandığı takdirde katılmaya istekli olsalar da çevresel katılım mekanizmaları konusunda farkındalıkta önemli boşluklar olduğunu bildirmişlerdir.

Roman topluluklarının karşılaştığı çevresel adaletsizlikleri ele alan bir diğer çalışma ise Gül (2024) tarafından yapılmıştır. Gül çalışmasında, Türkiye'nin Ergene Nehri Havzası'ndaki roman topluluklarının karşılaştığı çevresel adaletsizlikleri, sanayileşme, modernleşme politikaları ve tarihsel dışlanmanın kesişimini analiz ederek incelemiştir. Bulgular, Türkiye'nin modernleşme ve neoliberal sanayileşme politikalarının, roman toplulukları için çevresel adaletsizliğe yol açtığını, karşılaştıkları çevresel riskler ve çevresel zararın adaletsiz dağılımı ile karakterize edildiğini vurgulamaktadır. Ayrıca Türkiye'nin modernleşme ve neoliberal sanayileşme politikaları, Ergene Havzası'nda yaşayan Romanlar için adil dağıtım, katılım ve tanınma açısından çevresel adaletsizlikle sonuçlandığı ve Romanların sosyo-kültürel farklılıkları ve ihtiyaçları politika yapıcılar tarafından dikkate alınmadığı belirtilmiştir. Tüm vaka çalışmalarında Ergene Havzası'ndaki Romanlar kendilerini sosyal ayrımcılığın mirası olan çevresel ayrımcılığın kurbanları olarak görmüş ve Edirne bölgesi dışında daha iyi bir yaşam arayışı için göçü bir çözüm olarak görmüşlerdir. Ancak sanayileşmiş şehirlere taşınan romanlar da çevresel risklerden kaçamamakta ve yeni yerleşim yerlerinde sıklıkla hava kirliliği gibi yeni çevre sorunlarıyla karşılaşmaktadırlar.

Külcür (2022) tarafından yapılan çalışmada ise literatür taraması analizi yapılarak çevresel adalet ve iklim değişikliği bağlamında toplumsal cinsiyet faktörünün önemini ortaya konulmuştur. Ulaşılan bulgular doğrultusunda kadınların çevresel adaletsizliklerden ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerinden orantısız bir şekilde etkilendiği ve çevresel adaletsizliklere karşı gelişen taban aktivizmi ve çevre hareketlerinde önemli roller üstlendiği belirlenmiştir.

7. SONUÇ

Çevre adaletsizlikleri sadece ekolojik bir sorun değil; sınıf, ırk, etnik köken, mekânsal ayrışma ve siyasal temsil gibi toplumsal dinamiklerle ilişkili çok boyutlu bir sorun alanı olarak ele alınmaktadır. Çevresel yük ve zararların toplumda belirli gruplar ve alanlar üzerinde yoğunlaşmasının tesadüfi olmadığı, tarihsel ve yapısal eşitsizliklerle bağlantılı olduğu vurgulanmıştır.

Siyah çevreciliğin, çevresel adalete yaklaşımına sunduğu önemli katkılar; çevre kavramının kapsamını genişletmesi, çevresel adaletsizliklerin dağıtımsal boyutunu görünür hale getirmesi ve çevresel adaletsizliklerin ırkçılık, sınıf, mekânsal ayrışma ve ekonomik güç ilişkisiyle bağlantısını ortaya çıkarması şeklinde sıralanabilir.

Siyah çevrecilik ve eleştirel çevresel adalet literatürü, Türkiye bağlamında çevresel eşitsizliklerin analiz edilmesi için de önemli kuramsal imkânlar sunmaktadır. Siyah çevrecilik perspektifinin Türkiye bağlamında kullanılması, doğrudan bir sosyal hareket veya kimlik

kategorisi olarak değil, çevresel eşitsizlik, marjinalleşme, mekânsal adaletsizlik ve güç ilişkileri merceğinden incelemesine olanak tanımaktadır. Türkiye'de çevresel hareket kapsamında değerlendirilen en önemli toplumsal hareket 1990 yılında İzmir'in Bergama ilçesinde altın madenine karşı yürütülen protestolar ve ardından Karadeniz bölgesinde madencilik faaliyetlerine ve HES projelerine karşı protestolar ile yeni bir ivme kazanmıştır. Bu ivme Soma faciası gibi diğer maden kazaları ve gezi parkı olayları sonrası hızlanmış ve kapsamı genişlemiştir.

Mevcut çalışmalar; Türkiye'de, çevresel adalet çerçevesinde, kadınların, yoksulların, romanların ve diğer dezavantajlı sosyal grupların çevresel tehlikelere daha fazla maruz kaldıkları, çevresel kaynaklara erişimlerinin sınırlı olduğu ve karar alma süreçlerine katılımlarının az olduğunu ortaya koymaktadır. Bununla birlikte bu çalışma kuramsal bir değerlendirmeyle sınırlıdır. Dolayısıyla gelecekte yapılacak araştırmalarda Türkiye'nin farklı bölgelerinde çevresel risklerin ve çevresel faydaların toplumsal gruplar arasındaki dağılımının ampirik olarak incelenmesi, çevresel adaletsizliğin sınıfsal, etnik, bölgesel ve mekânsal boyutlarının karşılaştırmalı olarak ortaya konulması önem taşımaktadır. Böylece siyah çevreciliğin sunduğu analitik perspektifin Türkiye'deki çevresel adalet tartışmalarına hangi ölçüde katkı sağlayabileceği somut veriler üzerinden değerlendirilebilir.

KAYNAKÇA

Álvarez L, Coolsaet B. (2018). Decolonizing environmental justice studies: A Latin American perspective. Capitalism Nature Socialism 31(2), 50-69.

Barra MP. (2023), Plotting a geography of paradise: black ecologies, productive nostalgia, and the possibilities of life on sinking ground. Transform Anthropol 31 (1), 15-28.

Bullard R. (2000). Dumping in dixie: race, class, and environmental quality. 3 rd Edition.Westview Press.

Crenshaw KW. (1989). Demarginalizing the intersection of race and sex: a black feminist critique of antidiscrimination doctrine, feminist theory and antiracist politics. The University of Chicago Legal Forum 140, 139-167

First National People of Color Environmental Leadership Summit. (1991). The principles of environmental justice.

Gül S. (2024). Industrialisation in Modern Turkey and the Search for Environmental Justice for the Romani Population of the Ergene River Basin: Romani Voices amid Environmental Degradation. Critical Romani Studies. *7*(1), 14–34.

Hare, N. (1970). Black Ecology. The Black Scholar 1(6), 2–8.

Height TC., Martin KL, Leggett ZH. (2023). Call for environmental justice amplification among ecology scholars and practitioners: A black ecology perspective. Bulletin of the Ecological Society of America 104(1), 1-24.

Kökalan Çımrın F. (2015). Bergama köylü hareketinin dünü ve bugünü. Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi 14(53), 310-317.

Külcür R. (2022). Toplumsal cinsiyetin çevresel adalet ve iklim değişikliği bağlamında Türkçe literatürdeki görünürlüğü. İstanbul Üniversitesi Kadın Araştırmaları Dergisi 24, 31–54.

Laurent É. (2011). Issues in environmental justice within the European Union. Ecological Economics 70(11), 1846–1853.

Murphy MW, Weddington G, Rio-Glick AJ. (2021). Black ecology and critical environmental justice. Environmental Justice 14(6), 393-397.
McKittrick K. (2006). Demonic grounds: black women and the cartographies of struggle. Minneapolis: University of Minnesota Press. ISBN: 978-0-8166-6 (eBook - PDF).
Öğüt Erbil A. (2014). Türkiye'de kavramsal çerçeve olarak çevresel adalet paradigmasından faydalanmak, Planlama 24(2), 67–73.
Özen H. (2009). Bergama mücadelesi: doğuşu, gelişimi ve sonuçları, Atılım Üniversitesi Kütüphanesi E-Bülten.
Mohai P, Pellow D, Roberts JT. (2009). Environmental Justice. Annual Review of Environment and Resources 34, 405-430.
Page ST, Broussard PA. (2025). Environmental racism in America: Minority communities as dumping grounds for environmental waste. Southern Illinois University Law Journal 49(2). 199-235.
Roy B, Hanaček K. (2023). From the environmentalism of the poor and the indigenous toward decolonial environmental justice. The Barcelona School of Ecological Economics and Political Ecology ISBN: 978-3-031-22566-6 (eBook)
Schlosberg, D. (2007). *Defining environmental justice: Theories, movements, and nature*. Oxford University Press. ISBN: 9780191713323 (eBook - PDF).
Schlosberg D. (2013). Theorising environmental justice: The expanding sphere of a discourse. Environmental Politics 22(1), 37–55.
United Church of Christ, Commission for Racial Justice. (1987). Toxic wastes and race in the United States: A national report on the racial and socio-economic characteristics of communities with hazardous waste sites. United Church of Christ.
Vurkun Çavdar S, Atasü Topcuoğlu R. (2025). A comparison of environmental conditions and municipal environmental services in Roma and non-Roma communities in terms of environmental justice. Journal of Social Service Research 51(5–6), 1151–1176.
IPCC. (2022). Climate change 2022: impacts, adaptation and vulnerability. Working Group II contribution to the Sixth Assessment Report.
Taylor DE. (2011). Introduction: The evolution of environmental justice activism, research, and scholarship. Environmental Practice 13(4), 280–290.
Mohai P, Walker J. (1992). Environmental Injustice: Weighing Race and Class as Factors in the Distribution of Environmental Hazards. University Of Colorado Law Review 63(4), 921-932.
Pulido L. (2016). Flint, environmental racism, and racial capitalism. Capitalism Nature Socialism 27(3), 1-16.
Walker G. (2009). Globalizing environmental justice: The geography and politics of frame contextualization and evolution. Global Social Policy 9(3), 355–382.

İŞ YAŞAMINDA YAPAY ZEKÂ VE İŞ TATMİNİ PARADOKSU: KAVRAMSAL BİR YAKLAŞIM

Asst. Prof. Dr. Enes Uğur TOHUM
Kastamonu University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Business, 37150 Kuzeykent, Kastamonu
ORCID ID: 0000-0002-0006-7622

ÖZET

Yapay zekâ (YZ) teknolojilerinin iş yaşamında giderek yaygınlaşması, örgütlerin operasyonel verimliliğini artırırken çalışanların iş deneyimini ve psikolojik süreçlerini de önemli ölçüde dönüştürmektedir. YZ tabanlı uygulamalar, rutin ve tekrarlayan görevlerin otomatikleştirilmesi, karar destek mekanizmalarının güçlendirilmesi ve bilgiye hızlı erişim gibi avantajlar sağlayarak çalışanların iş yükünü azaltabilmekte ve daha yüksek katma değer yaratan faaliyetlere odaklanmalarına olanak tanımaktadır. Bununla birlikte, algoritmik yönetim uygulamaları, sürekli dijital izleme, performansın veri temelli değerlendirilmesi, mesleki yetkinliklerin zamanla değersizleşeceği yönündeki kaygılar ve teknolojik belirsizlikler çalışanlar üzerinde yeni stres kaynakları oluşturabilmektedir. Bu durum, yapay zekânın iş tatmini üzerindeki etkisinin tek yönlü değil, aynı anda hem olumlu hem de olumsuz sonuçlar doğurabilen paradoksal bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Bu bağlamda çalışmanın amacı, yapay zekâ kullanımının çalışanların iş tatmini üzerindeki çift yönlü etkilerini açıklayan bütüncül bir kavramsal model geliştirmek ve söz konusu paradoksun ortaya çıkış mekanizmalarını teorik bir çerçevede tartışmaktır. Çalışma, İş Talepleri-Kaynakları (Job Demands–Resources; JD-R) Modeli ile Öz-Belirleme Kuramı (Self-Determination Theory; SDT) temel alınarak tasarlanmıştır. JD-R Modeli doğrultusunda yapay zekânın bir taraftan çalışanların bilişsel yükünü azaltan ve iş süreçlerini kolaylaştıran bir iş kaynağı, diğer taraftan ise algoritmik denetim, performans baskısı ve teknostres yaratan bir iş talebi olarak işlev görebileceği ileri sürülmektedir. SDT perspektifinden ise yapay zekâ kullanımının çalışanların özerklik ve yetkinlik ihtiyaçlarını desteklediği ölçüde iş tatminini artırabileceği; buna karşılık karar alma süreçlerinin aşırı algoritmikleşmesi ve mesleki yeterliliklerin değersizleştiği algısının oluşması durumunda iş tatminini olumsuz etkileyebileceği savunulmaktadır. Sonuç olarak çalışma, yapay zekânın iş yaşamındaki etkilerinin yalnızca teknolojik verimlilik perspektifiyle değerlendirilemeyeceğini; çalışanların psikolojik ihtiyaçları ve iş deneyimleri dikkate alınarak insan odaklı bir yapay zekâ entegrasyonunun önem taşıdığını vurgulamaktadır.

Anahtar kelimeler: Yapay zekâ, iş tatmini, yapay zekâ paradoksu, İş Talepleri-Kaynakları Modeli, Öz-Belirleme Kuramı.

THE PARADOX OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND JOB SATISFACTION IN THE WORKPLACE: A CONCEPTUAL APPROACH

ABSTRACT

The increasing adoption of artificial intelligence (AI) technologies in the workplace is significantly transforming not only organizations' operational efficiency but also employees' work experiences and psychological processes. AI-based applications can reduce employees' workloads and enable them to focus on higher-value activities by automating routine and repetitive tasks, strengthening decision-support mechanisms, and facilitating rapid access to information. However, algorithmic management practices, continuous digital monitoring, data-driven performance evaluation, concerns about the gradual devaluation of professional competencies, and technological uncertainty may also create new sources of stress for employees. This suggests that the impact of artificial intelligence on job satisfaction is not unidirectional but rather paradoxical, in which AI can generate both positive and negative outcomes simultaneously. In this context, the aim of the study is to develop a holistic conceptual model that explains the dual effects of the use of artificial intelligence on employees' job satisfaction and to discuss the mechanisms underlying this paradox within a theoretical framework. The study is grounded in the Job Demands–Resources (JD-R) Model and Self-Determination Theory (SDT). From the perspective of the JD-R Model, it is argued that artificial intelligence can function, on the one hand, as a job resource that reduces employees' cognitive workload and facilitates work processes and, on the other hand, as a job demand that generates algorithmic control, performance pressure, and technostress. From an SDT perspective, the use of artificial intelligence may enhance job satisfaction to the extent that it supports employees' needs for autonomy and competence. Conversely, job satisfaction may be adversely affected when decision-making processes become overly algorithmic and employees perceive their professional competencies as devalued. In conclusion, the study emphasizes that the impact of artificial intelligence in the workplace cannot be evaluated solely in terms of technological efficiency and highlights the importance of a human-centered approach to AI integration that takes employees' psychological needs and work experiences into account.

Keywords: Artificial intelligence, job satisfaction, AI paradox, Job Demands–Resources Model, Self-Determination Theory.

ROLE OF HUMAN CAPITAL IN ENSURING GREEN ECONOMIC GROWTH

Assistant Professor Dr. Mohammad Nadimur RAHMAN
Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Faculty of Economics and Administrative Science, Department of Economics, 51000 Niğde, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-5301-1107

ABSTRACT

Green economic growth, economic growth without polluting environment, becomes essential all over the world for ensuring sustainable development. The fact is that conventional economic growth requires fossil energy resources that release CO2 emissions and as a result pollute the environment. This urges economic growth to become relatively greener for which economic growth remains constant without polluting the environment. Several studies revealed that human capital can ensure economic growth is relatively greener. Therefore, the main objective of this paper is to conduct a theoretical discussion on what role human capital can play in ensuring green economic growth all over the world. To do so, this paper uses several journal articles that belong to several international indexes including Scopus and web of science. Several studies found that human capital can enhance both environmental quality and economic growth. This implies that human capital can enhance green economic growth by increasing awareness on energy uses while increasing job opportunities in renewable sectors on the other. Thus, human capital can contribute to enhance economic growth by improving energy efficiency and developing renewable energy. Besides, other studies implied that technological innovation with human capital development makes the green economic growth faster because of improving efficiency in human capital to enhance economic growth. Some other studies recommended government sectors to enhance human capital by providing training, education and experience.

Keywords: Green economic growth, environmental quality, human capital, renewable energy, sustainable development

YEŞİL EKONOMİK BÜYÜMENİN SAĞLANMASINDA BEŞERİ SERMAYENİN ROLÜ

ÖZET

Çevreye zarar vermeden gerçekleşen ekonomik büyüme olan yeşil ekonomik büyüme, sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için tüm dünyada hayati önem taşımaktadır. Gerçek şu ki, geleneksel ekonomik büyüme, CO2 emisyonlarına neden olan ve sonuç olarak çevreyi kirleten fosil enerji kaynaklarını gerektirmektedir. Bu durum, ekonomik büyümenin çevreyi kirletmeden istikrarlı bir şekilde devam etmesini sağlayacak şekilde daha yeşil bir hale gelmesini gerektirmektedir. Birçok çalışma, beşerî sermayenin ekonomik büyümenin daha

yeşil olmasını sağlayabileceğini ortaya koymuştur. Bu nedenle, bu makalenin temel amacı, beşerî sermayenin tüm dünyada yeşil ekonomik büyümeyi sağlamada ne gibi bir rol oynayabileceğine dair teorik bir tartışma yürütmektir. Bunu yapmak için, bu makale Scopus ve Web of Science dahil olmak üzere çeşitli uluslararası indekslere ait birçok dergi makalesini kullanmaktadır. Birçok çalışma, beşerî sermayenin hem çevre kalitesini hem de ekonomik büyümeyi artırabileceğini bulmuştur. Bu, beşerî sermayenin, enerji kullanımı konusunda farkındalığı artırırken diğer yandan yenilenebilir sektörlerde iş fırsatlarını artırarak yeşil ekonomik büyümeyi artırabileceğini ima etmektedir. Dolayısıyla, beşerî sermaye, enerji verimliliğini artırarak ve yenilenebilir enerji geliştirerek ekonomik büyümeyi artırmaya katkıda bulunabilir. Ayrıca, diğer çalışmalar, beşerî sermaye gelişimiyle birlikte teknolojik yeniliğin, beşerî sermayedeki verimliliği artırarak ekonomik büyümeyi hızlandırdığını ima etmektedir. Diğer bazı çalışmalar, kamu sektörlerinin eğitim, öğretim ve deneyim sağlayarak beşerî sermayeyi geliştirmesini önermiştir.

Anahtar kelimeler: Çevre kalitesi, beşerî sermaye, sürdürülebilir kalkınma, yeşil ekonomik büyüme, yenilenebilir enerji

1. Introduction

Economic growth is essential for human beings to survive because it includes both living standards, sustenance and security. However, economic growth requires fossil energy sources that release CO2 emissions and as a result increase environmental degradation. As CO2 emissions increase the world temperature and as a result increase global warming, 195 countries signed Paris agreement in 2015 to reduce world temperature below 2^0C. In addition, the United Nations (UN) declared 17 sustainable development goals (SDGs) that include minimizing environmental pollution and ensuring constant economic development that needs to be achieved within 2030. As the living standard of the people depends on economic growth, it is necessary to ensure constant economic growth without harming environment. To do so, it is necessary to look for green economic growth, that is, economic growth without polluting the environment. As fossil energy sources release CO2 emissions, it is necessary to use alternative environmentally friendly energy sources that don't release CO2 emissions. Bosi et al. (2025) revealed that economic growth that is not relatively greener creates negative externalities including environmental degradation and ecological damages, while green economic growth creates positive externalities renewable energy development that can substitute fossil related energy uses that increase environmental degradation.

Lyulyov and Pimonenko (2026) revealed that green innovation, including technological and financial innovation as well as private capital, can contribute to increasing green economic growth. The reason is that green innovation and private capital doesn't only enhance economic growth but also ensure environmental sustainability. Here research and development can contribute to enhance both innovation and capital formation that can contribute positive role in enhancing green economic growth. Moreover, private capital can open the door for enhancing green finance that can contribute positively to enhancing green economic growth. In addition, trade openness and globalization can contribute to a positive role in enhancing green technological innovation.

CO2 emissions are the main barriers for ensuring green economic growth. Therefore, it is necessary to find a solution to how economic growth remains constant without increasing CO2 emissions. As Ahakwa et al. (2024) found that renewable energy, research and development and human capital can play positive role in reducing CO2 emissions, all these factors can contribute to enhance green economic growth. While the study suggested enhancing necessary investment for fostering renewable energy development and innovation, the study also recommended that human capital should be developed with environmental education that can enhance green economic growth by spurring innovation and renewable energy development. In addition, Hoque et al. (2026) revealed that investment in human capital can enhance green economic growth by developing technology and innovation. The study suggested to enhance expenditure for research and development that may further enhance human capital and as a result make the economy relatively greener by ensuring constant economic growth with environmental sustainability.

Chen et al. (2025) revealed that digital economy, including digital infrastructure and network information resources, can enhance green production where the production becomes higher as human capital is developed. For this reason, the study also recommended to enhance investment on education, training and skill development that can further enhance green production and as a result can ensure green economic growth. While Degirmenci et al. (2024) revealed that factors including technological development, innovation, globalization and human capital contribute positive roles in enhancing renewable energy, that is relatively greener than fossil energy sources in nature because of not releasing CO2 emissions, the study further claimed that investment in human capital, especially enhancing investment in education, training and skilled development can recruit skilled human resources and knowledges that can contribute to develop renewable energy. This study implies that

investment in human capital can ensure green economic growth because it can contribute to a positive role in developing renewable energy. Therefore, the current paper conducts research on how human capital can play positive role in enhancing green economic growth. For this the paper conducts a literature review based on past studies discussing the issue on how human capital can play role in ensuring green economic growth.

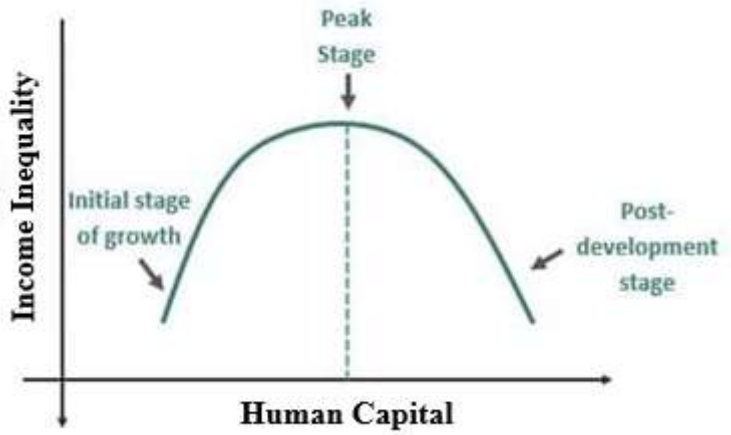
2. Literature Review

Several research has been conducted on how human capital can contribute to enhance green economic growth. The initially conducts literature review on human capital and green economic growth separately. After that the paper conducts literature review on how human capital can play role in enhancing green economic growth.

2.1. Human Capital

Human capital plays positive role in enhancing economic growth. Bharti et al. (2026) revealed that human capital and productivity growth are interrelated. However, the study found that the level of inequality in education and health investment increases along with human capital where education in Europe and America is more developed as compared to education in Africa. This implies that human capital increases income inequality in the short-run while decreases in the long-run. According to Kuznets (1955), there exists an inverted U-shaped relationship between economic growth and income inequality. Therefore, based on the Kuznets inverted U-shaped hypothesis theory, it can be said that the relationship between human capital and income inequality is inverted U-shaped as well. The inverted U-shaped relationship between human capital and income inequality can be shown in the following figure 1 by reforming the Kuznets inverted U-shaped curve. The following figure shows that human capital increases income inequality at the initial stage of economic growth where it continues to increase until it reaches a peak stage. However, human capital starts decreasing income inequality after economic growth reaches the peak stage. From then on, the increasing human capital continuously decreases income inequality at the post-development stage. While Chingri et al. (2026) found that investment in physical and human capital increases economic growth, Kumar (2026) claimed that investment in human capital increases welfare where both poor and rich people get similar benefits by keeping economic growth relatively constant.

Figure 1: Reformed Kuznets inverted U-shaped curve (The inverted U-shaped relationship between human capital and income inequality)



2.2. Green Economic Growth

Ensuring green economic growth is essential to control ecological damage and global warming. Although Dawid et al. (2026) revealed that technological innovation can contribute to ensure green economic growth by ensuring efficient use of fossil related energy, the study commented that several other policies including renewable energy development must be taken to ensure zero carbon emissions within 2050. To do so, it is necessary to increase necessary investment for both technological innovation and renewable energy development. However, the study revealed that only OECD countries can do necessary investment for enhancing technological innovation and renewable energy development because of having developed economic structure. For that the study recommended the OECD countries to help non-OECD countries, especially the African countries, that are relatively undeveloped, to gather necessary investment for which the enhancement of technological innovation and renewable energy development occurs all over the world.

Green finance can play vital role in ensuring green economic growth. This was found from Praveen et al. (2025) where the study revealed that green finance including green bond and green loan can contribute to increasing green economic growth by enhancing technological development. Moreover, the study revealed that green technology can enhance green economic growth by developing green finance and green energy, especially the development of renewable energy. On the other hand, Tansuchat and Yosthongngam (2026) revealed that renewable energy, energy efficiency, institutional quality and environmental regulation can contribute positively to green economic growth where green finance including green bonds and green loans can play positive roles on it.

Han and Zhang (2026) found that e-commerce can ensure green economic growth by reducing CO2 emissions. The study elaborated that e-commerce could promote technological innovation and can ensure efficient use of fossil related energy sources mainly in the industrial sectors. The study further implied that e-commerce can also contribute to developing renewable energy in the long run. For policy measures, the study recommended green finance and research and development expenditure should be enhanced for the purpose of enhancing technological innovation. The study further recommended that top priority should be given to developing renewable energy that makes the energy system relatively greener and as a result can ensure green economic growth. Khan et al. (2026) revealed that green economic growth, globalization, financial development and trade openness are among the main factors that can drive the economy through green economic growth. The study claimed that all these factors can help the economy to fulfill sustainable development goals (SDGs), especially SDGs 8 (Decent Work and Economic Growth), SDGs 9 (Industry, Innovation, and Infrastructure) and SDGs 13 (Climate Change). The study further argued that globalization can ensure economy relatively greener and sustainable while financial development can help to allocate necessary investment for renewable energy development.

2.3. Human Capital and Green Economic Growth

To make firms or industries relatively environmentally friendly, it is necessary to make the human capital relatively environmentally friendly. Shi et al. (2024) claimed that green human capital can make firms or industries relatively greener for which it is necessary to enhance green quality education in universities where students can learn on how to make environment relatively greener. Therefore, green human capital can enhance green economic growth because it helps to increase production without harming environment. While green innovation contributes to ensuring green economic growth, Ma and Liu (2026) revealed that digital financial access can enhance government green innovation by increasing investment in human capital including education and skill development. This implies that digital financial development can allocate necessary investment to enhance human capital that further enhance green innovation. Therefore, human capital can enhance green economic growth by enhancing green innovation if necessary financial resources can be allocated to it for investment. As Alfalih and Hadj (2024) revealed that the development of human capital can reduce ecological damage by increasing green innovation, the increase in investment in human capital can increase green innovation that can ensure green economic growth by reducing ecological damages. Likewise, Ni et al. (2023) revealed that green human capital enhances sustainable

development by enhancing green innovation and green industries in Bangladesh, India and Pakistan. This implies that green economic growth with the help of developing green human capital doesn't only enhance green economic growth but also ensures sustainable development. While green innovation was found to ensure green economic growth, Wen and Zhou (2025) found that trade openness can contribute positive role to enhance green innovation by developing financial sector and human capital in China. For developing financial sector, the study recommended that the government should take necessary policy measures that motivate domestic and foreign financial institutions to make domestic and foreign branches that make financial sectors relatively stronger. Besides, the study recommended that the government should encourage financial institutions to the industrial sector to enhance urban green innovation. For developing human capital, the study recommended to the government to promote vocational training and employment guidance services that develop workers' skills and quality for which they can contribute positive role in enhancing green innovation. Basically, the study implied that financial resources can also be used to develop human capital that can contribute to enhance green innovation and as a result ensuring green economic growth. Therefore, financial development, human capital, green innovation and green economic growth are interrelated. Hammar and Djebbouri (2026) revealed that human capital including higher level of education and skills in innovative economies can be a potential determinant of climate policy effectiveness. The study indicated that human capital in an innovative economy can play positive role in enhancing the capability of designing, implementing and sustaining effective climate policies. However, the study showed that the enhancement of the effectiveness of human capital depends on the level of urbanization. Lastly the study recommended that it is necessary to increase investment in education, skill development and innovation for which effective policy measures to climate change can be taken, especially in urban areas with highly innovative economies.

Meanwhile Li et al. (2026) revealed that increasing investment in education enhances green economic growth by enhancing innovation capacity, institutional quality and green productivity. The study implied that education could ensure green economic growth by developing renewable energy, efficient use of resources and promoting circular economy. The study further indicated that highly industrialized countries can ensure green economic growth to lower middle-income countries by transferring education for which lower middle-income countries become capable of developing renewable energy and technology to ensure efficient use of fossil energy sources. Yasin et al. (2026) revealed that financial inclusion and green

technological innovation can contribute to develop human capital in seven emerging countries including Brazil, China, India, Indonesia, Mexico, Russia, and Turkey. The study implies that both financial inclusion and green technological innovation can play positive role in ensuring green economic growth by developing human capital. The study recommended that the government should provide subsidies to private firms which encourage them to develop green technology. The study further recommended to enhance private credit and bond that enhance green technology and as a result enhance green economic growth by developing human capital. As Javed et al. (2026) revealed that both technological development and human capital can reduce CO2 emissions and increase renewable energy, the study implied that human capital could ensure green economic growth by enhancing technological development.

Study conducted by Ahakwa et al. (2024) revealed that green human capital can ensure both economic and environmental sustainability in Ghana in the long run. This implies that green human capital can ensure green economic growth in Ghana in the long run. The study was conducted under the framework of the environmental Kuznets curve (EKC) hypothesis. The result indicated that economic growth increases CO2 emissions at the initial stage. However, economic growth reduces CO2 emissions after reaching a threshold point. The study recommended to develop human capital based on developing skill and knowledge by raising awareness on protecting environment on one hand and by recruiting workers for developing environmentally friendly energy including renewable energy on the other. Besides, the study advised the country to reduce the dependency on consuming fossil related energy sources that pollute environment by releasing CO2 emissions and increase the consumption of renewable energy sources that don't release CO2 emissions. While natural resources are considered as the main source of economic growth in Ghana, Ahakwa and Tackie (2024) indicated that these natural resources are the main factor for damaging environment as well. The study revealed that green human capital can reduce environmental degradation by ensuring efficient use of natural resources. In fact, Khan et al. (2023) implied that increasing investment in human capital can ensure green economic growth by reducing CO2 emissions. Here investment in human capital can develop technology that can ensure efficient use of natural resource use in the production sector.

According to Ahakwa (2024), land degradation is the main barrier to ensure economic and environmental sustainability in Ghana. Here the study claimed that land degradation occurs mainly because of several ecological problems including deforestation, unsustainable farming, mining, urbanization, soil erosion and the loss of fertile land that causes negative effects to

environment including biodiversity loss, water cycle disruption and climate change, floods and droughts. The study revealed that green energy and green human capital can play positive role in reducing land degradation. Moreover, the inverted U-shaped relation between economic growth and land degradation in Ghana implies that both green energy and green human capital can move the country towards green economic growth. The study further claimed that human capital can ensure reducing land degradation by developing green energy and by ensuring efficient use of fossil fuel. This implies that human capital can ensure green economic growth in Ghana by ensuring green energy development and efficient use of fossil energy sources. The study recommended that education should be reformed by including several topics including sustainable agriculture, forestry and land management in the curriculum that can enhance green human capital in Ghana. As the study claimed, green human capital can ensure efficient use of fossil fuel, therefore green human capital can ensure efficient use of natural resources that may reduce land degradation and as a result can ensure green economic growth.

3. Conclusion and Discussion

Green economic growth is necessary to protect the world economy from the danger of ecological damage and global warming. As has been mentioned economic growth requires energy uses that are mainly generated from fossil related resources, fossil energy releases CO2 emissions that cause ecological damage and create global warming and as a result increase environmental pollution. For this reason, it is necessary to reduce energy intensity and increase energy efficiency to reduce environmental pollution. Alternatively, it is necessary to use alternative energy sources that don't release CO2 emissions. Here renewable energy sources, that is environmentally friendly because of not releasing CO2 emissions can be used as an alternative to fossil energy sources to reduce environmental pollution. All this evidence implies that it is necessary to efficient use of fossil energy sources in the short-run and replace fossil energy sources with renewable energy sources in the long-run, especially in the production sector to enhance green economic growth. Therefore, necessary policy measures must be taken to enhance efficient use of energy and to develop renewable energy sources.

Human capital is the main factor that can contribute to green economic growth. While factors including efficient use of energy and natural resources, renewable energy, technological innovation, green finance and financial development are factors that can contribute to enhance green economic growth, human capital can play significant role in ensuring green economic growth by enhancing all these factors. The reason is that human capital enhances higher education, skills and knowledge for which human resources are developed. These human

resources can be utilized to develop renewable energy and technological development that can increase efficient use of natural resources. Furthermore, human resources can help to enhance green finance that can further ensure green economic growth by developing renewable energy and technological development to develop energy efficiency.

However, human capital can contribute to enhance green economic growth mainly in developed economies. The reason is that developed countries can utilize financial resources to develop human capital. Here developed countries can help developing countries in developing human capital for which developing countries can utilize human capital to ensure green economic growth. Developed countries can transfer education, skill and knowledge to developing countries, especially countries located at Africa for which green economic growth can be ensured in African countries. The fact is that African countries have natural resources for which the development of human capital in these can play positive role to enhance green economic growth by ensuring efficient use of natural resources. As financial development was also found to enhance green economic growth, financial resources can also be transferred to developing economies that can develop human capital and as result can enhance human capital. Alternatively human capital in developed economies can be utilized to develop renewable energy and technological development for increasing energy efficiency in developing economies, especially the African countries.

REFERENCES

Ahakwa, I. (2024). Towards land degradation neutrality: Does green energy and green human capital matter? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *197*. https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114396

Ahakwa, I., & Tackie, E. A. (2024). Natural resources as a double-edged sword towards ecological quality: Can environmental regulations and green human capital rectify the adverse impacts? *Journal of Cleaner Production*, *457*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142436

Ahakwa, I., Tackie, E. A., Tackie, F. K., Mangudhla, T., Baig, J., Islam, S. ul, & Sarpong, F. A. (2024). Greening the path to carbon neutrality in the post-COP26 era: Embracing green energy, green innovation, and green human capital. *Innovation and Green Development*, *3*(3). https://doi.org/10.1016/j.igd.2024.100134

Ahakwa, I., Xu, Y., & Tackie, E. A. (2023). Greening human capital towards environmental quality in Ghana: Insight from the novel dynamic ARDL simulation approach. *Energy Policy*, *176*. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2023.113514

Alfalih, A. A., & Hadj, T. B. (2024). Ecological impact assessment of green technological innovation under different thresholds of human capital in G20 countries. *Technological Forecasting and Social Change*, *201*. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123276

Bharti, N., Gethin, A., Jenmana, T. M., Mo, Z., Piketty, T., & Yang, L. (2026). Human capital, unequal opportunities and productivity convergence: A global historical perspective, 1800–2100. *Journal of Public Economics*, *255*. https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2026.105578

Bosi, S., Le Van, C., & Phung, G. (2025). Economic growth with brown or green capital. *Journal of Mathematical Economics*, *117*. https://doi.org/10.1016/j.jmateco.2025.103101

Chen, H., Yu, Z., & Hu, S. (2025). Digital economy, human capital accumulation, and corporate green total factor productivity: Based on strategic emerging industries. *International Review of Financial Analysis*, *103*. https://doi.org/10.1016/j.irfa.2025.104152

Chingri, S., Mondal, D., & Prettner, K. (2026). Economic growth with human, physical, and automation capital: The role of population decline. *Economics Letters*, *267*. https://doi.org/10.1016/j.econlet.2026.113022
Dawid, S., Vinardell, S., & Valderrama, C. (2026). Can green economic growth and carbon emission reduction coexist? A decoupling study in the energy sector. *Journal of Cleaner Production*, *549*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2026.147867
Degirmenci, T., Aydin, M., Cakmak, B. Y., & Yigit, B. (2024). A path to cleaner energy: The nexus of technological regulations, green technological innovation, economic globalization, and human capital. *Energy*, *311*. https://doi.org/10.1016/j.energy.2024.133316
Hammar, N., & Djebbouri, K. (2026). Human capital, and climate policy effectiveness in the context of urbanization: System GMM evidence from innovative economies. In *Environmental Impact Assessment Review* (Vol. 120). Elsevier Inc. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2026.108422
Han, F., & Zhang, K. (2026). How to promote green economic growth? A Study on the low-carbon effects of cross-border e-commerce under the dual "Carbon Policy." *Finance Research Letters*, *94*. https://doi.org/10.1016/j.frl.2026.109639
Hoque, A., Tran, N. P., & Le, T. (2026). Examining the effects of intangible resources on green economic growth: Does institutional quality matter? *Innovation and Green Development*, *5*(3). https://doi.org/10.1016/j.igd.2026.100366
Javed, A., Ashraf, J., & Yong, L. (2026). Synergistic effects of digital capability and human capital development on the twin green and digital transition: Evidence from carbon emissions and renewable energy adoption. *Journal of Environmental Management*, *397*. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.128313
Khan, S. N., Munir, N., Abdullah, N. N., Alhebri, A., Antohi, V. M., Fortea, C., Zlati, M. L., & Breaz, T. O. (2026). Green growth, globalization and financial expansion in BRICS: PMG-ARDL insights for economic development. *International Review of Economics and Finance*, *108*. https://doi.org/10.1016/j.iref.2026.105235
Khan, Z., Hossain, M. R., Badeeb, R. A., & Zhang, C. (2023). Aggregate and disaggregate impact of natural resources on economic performance: Role of green growth and human capital. *Resources Policy*, *80*. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103103
Kumar, A. (2026). Human and physical capital: Welfare and income effects of government spending. *Journal of Macroeconomics*, *87*. https://doi.org/10.1016/j.jmacro.2025.103737
Kuznets, S. (1955). *Economic Growth and Income Inequality* (Vol. 45, Number 1).
Li, L., Ibrahim, R. L., & Alomair, A. (2026). Educating for a green future: Strategic human capital and the non-linear path to sustainability in low- and middle-income countries. *International Journal of Educational Development*, *121*, 103498. https://doi.org/10.1016/j.ijedudev.2026.103498
Lyulyov, O., & Pimonenko, T. (2026). Innovation drivers of green economic growth: Environmental patents and venture capital. *Global Economics Research*, *2*(1), 100027. https://doi.org/10.1016/j.ecores.2026.100027
Ma, X., & Liu, M. (2026). Unleashing potential: How human capital shapes the impact of digital financial inclusion on government green innovation. *Economic Analysis and Policy*, *91*, 505–518. https://doi.org/10.1016/j.eap.2026.03.032
Ni, L., Ahmad, S. F., Alshammari, T. O., Liang, H., Alsanie, G., Irshad, M., Alyafi-AlZahri, R., BinSaeed, R. H., Al-Abyadh, M. H. A., Abu Bakir, S. M. d. M., & Ayassrah, A. Y. A. B. A. (2023). The role of environmental regulation and green human capital towards sustainable development: The mediating role of green innovation and industry upgradation. *Journal of Cleaner Production*, *421*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138497
Praveen, B., Rath, B. N., & Akram, V. (2025). A new way of thinking about the nexus between green energy and green economic growth: The mediating role of green finance and green technology. *Journal of Environmental Management*, *390*. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.126235
Shi, D., Lu, S., & Fang, Z. (2024). The effect of executive green human capital on greenwashing. *Research in International Business and Finance*, *71*. https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2024.102461
Tansuchat, R., & Yosthongngam, S. (2026). Promoting green economic growth: The role of renewable energy, energy efficiency, environmental regulation, and governance in the G7 countries. *Energy Reports*, *15*. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2025.12.055

Wen, J., & Zhou, Y. (2025). Trade openness and urban green innovation: A dual perspective based on financial agglomeration and human capital accumulation. *Sustainable Futures*, *9*. https://doi.org/10.1016/j.sftr.2025.100478

Yasin, H. N., Samour, A., Alomari, M. W., & Abdelhadi, S. (2026). Financial inclusion and green technological innovation as drivers of human capital: Evidence from E7 countries. *Green Technologies and Sustainability*, *4*(2). https://doi.org/10.1016/j.grets.2025.100277

POUCH-CELL STUDY OF ADDITIVE-ENHANCED PEGDA/DTMPTA GEL POLYMER ELECTROLYTES FOR LONG-LIFE AND HIGH-VOLTAGE LITHIUM-ION BATTERIES

Gülşah Yaman Uzunoğlu
[1]Department of Chemical Engineering, Istanbul Health and Technology University (ISTUN), İstanbul 34445, Türkiye.
ORCID: 0000-0002-1589-4735

ABSTRACT

Gel polymer electrolytes (GPEs) provide effective electrode–electrolyte interfacial contact and high ionic conductivity; nevertheless, their practical implementation is hindered by limited electrochemical stability and insufficient long-term cycling durability. In this study, GPEs were prepared via thermal in situ copolymerization of poly(ethylene glycol) diacrylate (PEGDA-400) and di(trimethylolpropane) tetraacrylate (DTMPTA). The precursor solutions comprised PEGDA-400 as the primary monomer, DTMPTA as a multifunctional crosslinking comonomer, and tert-butyl peroxy-2-ethylhexanoate as the thermal initiator, dissolved in a vinylene carbonate (VC)-containing liquid electrolyte based on 1 M $LiPF_6$. Different PEGDA-400/DTMPTA ratios were investigated to determine their influence on the ionic conductivity, electrochemical stability, and cycling performance of the resulting GPEs. The resulting GPEs exhibited ionic conductivities of 6-7 mS cm^{-1} and electrochemical stability up to 4.8 V and were subsequently evaluated in 2 Ah NMC111//graphite pouch cells. Among the investigated compositions, the PEGDA-400/DTMPTA formulation with a 2:1 ratio (PD21) exhibited the best cycling performance, retaining 88.6% of its initial capacity after 2000 cycles at 1C over 3.00-4.15 V, compared with 76.9% for the liquid-electrolyte control. Repeated rate-capability testing from 1C to 4C over seven consecutive sequences and a total of 800 cycles demonstrated highly reproducible performance with negligible capacity decay. Extending the upper cutoff voltage from 4.15 to 4.50 V increased the accessible discharge capacity by 37%. TMSP and LiBOB were introduced as synergistic interphase-forming additives to stabilize the electrode–electrolyte interfaces under high-voltage conditions. Consequently, when cycled at 1C over a wide voltage window (2.80-4.50 V), the additive-modified GPE cell demonstrated exceptional cycling stability, requiring 890 cycles to reach 80% capacity retention. In comparison, the liquid-electrolyte control reached the 80% capacity-retention threshold after 491 cycles. Overall, the prolonged cycle life and stable high-voltage operation achieved with the additive-enhanced PEGDA-400/DTMPTA GPE demonstrate its potential for LIBs with improved energy density and cycling stability.

Keywords: PEGDA, gel polymer electrolyte, high voltage operation, pouch cell, cycling stability

CHALCOGENIDE MATERIALS FOR ENERGY STORAGE AND CATALYTIC APPLICATIONS

Öğr. Gör. Dr. Fahriye SARI
Huglu Vocational School, Selcuk University, 42710, Konya
ORCID: 0000-0002-1404-0631

ABSTRACT

The sustainable and efficient utilization of renewable energy sources necessitates the development of advanced materials capable of delivering high performance in energy storage and conversion processes. In this context, chalcogenide materials have emerged as an important class of advanced materials with significant potential for energy storage and conversion applications owing to their tunable electronic properties, high electrical conductivity, abundant surface-active sites, and diverse crystal structures. In particular, the depletion of fossil fuel resources, increasing global energy demand, and growing environmental concerns have intensified the need for high-performance energy storage and energy conversion systems that can facilitate the effective utilization of renewable energy. Accordingly, chalcogenides have attracted considerable attention as electrode materials in lithium-ion, sodium-ion, and multivalent-ion batteries and supercapacitors, as well as electrocatalysts and photocatalysts for processes such as hydrogen and oxygen evolution reactions, the oxygen reduction reaction, photocatalytic water splitting, and carbon dioxide reduction. In this study, the fundamental structural, electronic, and physicochemical properties of sulfur-, selenium-, and tellurium-based chalcogenides are first discussed, with particular emphasis on the effects of nanostructuring on surface area, active-site density, ion/electron transport, and catalytic activity. The potential of chalcogenides for various energy storage systems is examined in terms of their high theoretical capacities, rapid ion diffusion, redox activity, and favorable electrochemical properties. Strategies including elemental doping, nanostructuring, and heterostructure engineering are highlighted as effective approaches for enhancing the performance of chalcogenide-based materials. Nevertheless, challenges associated with long-term stability, scalable synthesis, cost, and integration into industrial systems remain significant barriers to their practical implementation. Overall, chalcogenide materials offer considerable potential for the development of next-generation energy storage and catalytic energy conversion technologies through the rational engineering of their structural and electronic properties. In the future, the development of scalable, environmentally friendly, and cost-effective synthesis methods, together with advanced heterostructure and nanostructure

designs, will be crucial for translating these materials from laboratory-scale research to industrial applications.

Keywords: Chalcogenide materials, energy storage, electrocatalysis, photocatalysis, Lithium-ion batteries, supercapacitors, hydrogen production, CO_2 reduction, heterostructures.

ENERJİ DEPOLAMA VE KATALİTİK UYGULAMALAR İÇİN KALKOJENİT MALZEMELER

ÖZET

Yenilenebilir enerji kaynaklarının sürdürülebilir ve verimli bir şekilde değerlendirilebilmesi, enerji depolama ve dönüşüm süreçlerinde yüksek performans sunan ileri malzemelerin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu doğrultuda kalkojenit malzemeler; ayarlanabilir elektronik özellikleri, yüksek elektriksel iletkenlikleri, zengin yüzey aktif bölgeleri ve çeşitli kristal yapıları sayesinde enerji depolama ve dönüşüm uygulamalarında önemli bir potansiyel sunan ileri malzeme sınıfı olarak öne çıkmaktadır. Özellikle fosil yakıt kaynaklarının azalması, artan enerji talebi ve çevresel sorunlar, yenilenebilir enerjinin etkin kullanımını sağlayacak yüksek performanslı enerji depolama ve enerji dönüşüm sistemlerinin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu kapsamda kalkojenitler; lityum-iyon, sodyum-iyon ve çok değerlikli iyon pilleri ile süperkapasitörlerde elektrot malzemesi olarak, ayrıca hidrojen ve oksijen oluşum reaksiyonları, oksijen indirgenme reaksiyonu, fotokatalitik su ayrıştırma ve karbondioksit indirgeme gibi süreçlerde elektrokatalizör ve fotokatalizör olarak dikkat çekmektedir. Bu çalışmada öncelikle sülfür, selenyum ve tellür temelli kalkojenitlerin temel yapısal, elektronik ve fizikokimyasal özellikleri ele alınmış; nanoyapılandırmanın yüzey alanı, aktif bölge yoğunluğu, iyon/elektron taşınımı ve katalitik aktivite üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Kalkojenitlerin farklı enerji depolama sistemlerindeki kullanım potansiyeli incelenirken, yüksek teorik kapasite, hızlı iyon difüzyonu, redoks aktivitesi ve uygun elektrokimyasal özellikleri üzerinde durulmuştur. Kalkojenitlerin performansının geliştirilmesinde elementel katkılama, nanoyapılandırma ve heteroyapı oluşturma gibi stratejilerin önemli rol oynadığı vurgulanmıştır. Bununla birlikte, uzun dönem kararlılık, ölçeklenebilir sentez, maliyet ve endüstriyel sistemlere entegrasyon gibi sorunların uygulamaya geçişte halen önemli engeller olduğu görülmektedir. Sonuç olarak kalkojenit malzemeler, uygun yapı ve elektronik özelliklerinin mühendisliği sayesinde yeni nesil enerji depolama ve katalitik enerji dönüşüm teknolojilerinin geliştirilmesinde güçlü bir potansiyel sunmaktadır. Gelecekte ölçeklenebilir, çevre dostu ve düşük maliyetli sentez yöntemlerinin yanı sıra gelişmiş heteroyapı ve nanoyapı tasarımlarının geliştirilmesi, bu malzemelerin laboratuvar ölçeğinden endüstriyel uygulamalara taşınmasında belirleyici olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Kalkojenit malzemeler, enerji depolama, elektrokataliz, fotokataliz; lityum-iyon piller, süperkapasitörler, hidrojen üretimi, CO_2 indirgeme, heteroyapılar

1. INTRODUCTION

The rapid growth of the global population, industrialization, and economic activity has led to a substantial increase in global energy demand, raising critical concerns regarding energy security, resource sustainability, and environmental protection. Despite the accelerated deployment of renewable energy technologies, fossil fuels continue to account for a significant share of global energy consumption, contributing substantially to greenhouse gas emissions and associated environmental impacts. Consequently, the transition toward cleaner, more sustainable, and low-carbon energy systems has become a major global priority (International Energy Agency [IEA], 2024). Renewable energy resources, particularly solar, wind, and hydropower, provide promising alternatives to conventional fossil-fuel-based energy generation. However, the variable and intermittent nature of solar and wind resources can create imbalances between electricity generation and demand, highlighting the importance of efficient energy storage technologies capable of storing surplus energy and supplying it when required (Conde et al., 2025; Deguenon et al., 2023).

In this context, the development of advanced energy storage and conversion technologies is essential for improving the reliability, flexibility, and efficiency of renewable-energy-based systems. Electrochemical energy storage technologies, including lithium-ion, lithium–sulfur, sodium-ion, metal–air, and other emerging rechargeable battery systems, together with supercapacitors, provide complementary solutions across a broad range of energy-density, power-density, charging-rate, and cycle-life requirements (Chen & Zhi, 2025; Palchoudhury et al., 2023). At the same time, photovoltaic, photocatalytic, and electrocatalytic technologies offer important pathways for the direct conversion of solar and chemical energy into electricity or energy-rich fuels. In particular, electrocatalytic reactions such as the hydrogen evolution reaction (HER), oxygen evolution reaction (OER), and oxygen reduction reaction (ORR) are central to technologies including water electrolysis, fuel cells, and metal–air batteries. Accordingly, the development of efficient, stable, and economically viable electrode and catalyst materials remains a central objective in contemporary energy research (Roy et al., 2024; Yang et al., 2024).

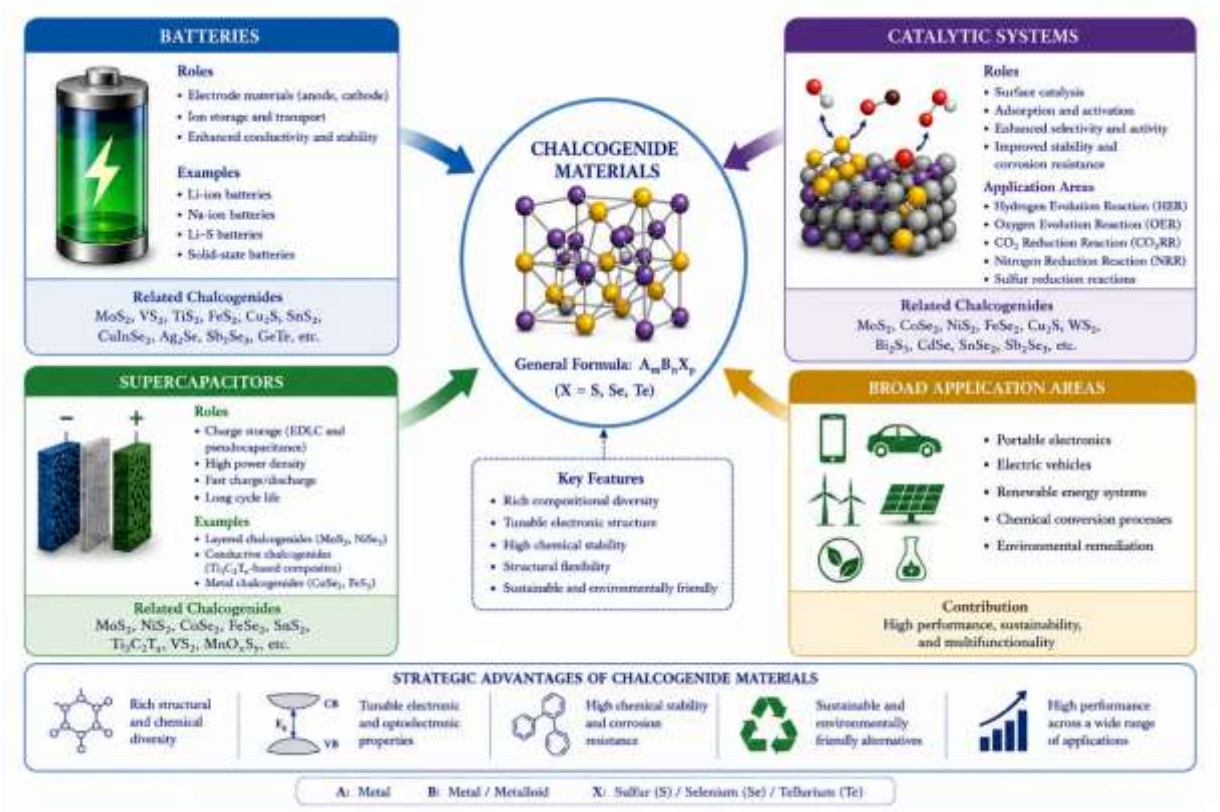


Fig. 1. Schematic illustration of the role of chalcogenide materials in energy storage and catalytic systems.

The performance of energy storage and conversion devices is strongly influenced by the structural, electronic, chemical, and interfacial properties of their constituent materials. Therefore, considerable research effort has been devoted to designing advanced functional materials that provide favorable charge-transfer kinetics, abundant electrochemically active sites, tunable electronic structures, and adequate chemical and structural stability. Among the various classes of functional materials investigated for these purposes, chalcogenide materials particularly metal sulfides, selenides, and tellurides have attracted substantial attention because of their diverse crystal structures, composition dependent electronic properties, tunable band structures, rich redox chemistry, and suitability for nanoscale engineering (Palchoudhury et al., 2023; Roy et al., 2024).

Transition-metal chalcogenides are particularly attractive because their physicochemical properties can be systematically tailored through control of composition, dimensionality, crystallographic phase, morphology, particle size, defect concentration, doping, and heterostructure formation. Such engineering strategies can modify charge transport, ion diffusion, surface reactivity, light absorption, and the availability of catalytically active sites, thereby enabling optimization for specific energy-related applications (Roy et al., 2024). Consequently, chalcogenide-based materials have been extensively investigated as electrode materials for rechargeable batteries and supercapacitors, as electrocatalysts for HER, OER, and

related electrochemical reactions, and as semiconductor components in photocatalytic and photovoltaic energy-conversion systems (Palchoudhury et al., 2023; Roy et al., 2024; Yang et al., 2024). Their structural and compositional versatility therefore provides a broad materials platform for the development of next-generation technologies for sustainable energy storage, conversion, and catalytic applications.

2. FUNDAMENTAL PROPERTIES OF CHALCOGENIDE MATERIALS

2.1 Classification: Sulfides, Selenides, and Tellurides

Chalcogenides can be broadly categorized into sulfides, selenides, and tellurides depending on the constituent chalcogen element. Each class exhibits distinct electronic, structural, and catalytic characteristics arising from differences in atomic size, electronegativity, and bonding interactions.

2.2 Structural and Electronic Properties

The electrochemical and catalytic performance of chalcogenide materials is strongly governed by their crystal structure and electronic configuration (Palchoudhury et al., 2023; Roy et al., 2024; Senthil & Gupta, 2026). Their structural diversity, tunable band structures, and favorable charge-transport characteristics can facilitate efficient electron transfer and improve redox reaction kinetics (Palchoudhury et al., 2023; Roy et al., 2024). Furthermore, structural and electronic engineering strategies, including phase regulation, defect engineering, doping, and heterostructure formation, can increase the accessibility of active sites and optimize interfacial charge transfer, thereby enhancing electrochemical and catalytic performance (Roy et al., 2024; Senthil & Gupta, 2026). As illustrated in Fig. 2, the crystal structures and band-gap energies of representative chalcogenide materials play a critical role in determining their electronic characteristics and functional performance.

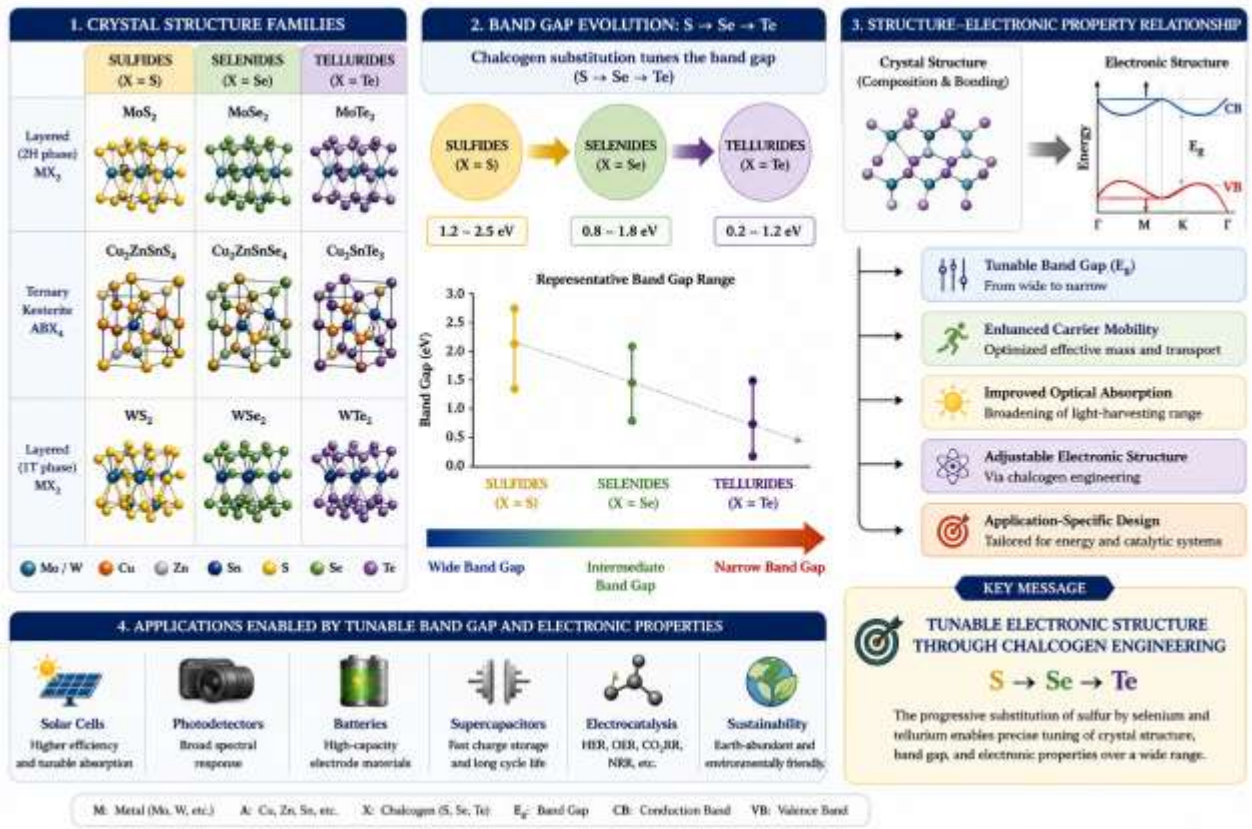


Fig. 2. Crystal structures and representative band-gap energies of common chalcogenide materials.

Chalcogenide materials constitute a broad class of semiconducting compounds with diverse crystal structures, electronic properties, and energy band gaps, making them attractive candidates for a wide range of energy storage and conversion technologies. Their electronic characteristics can be tailored through variations in chemical composition, crystal phase, dimensionality, defect chemistry, and nanostructure morphology.

Table 1. Fundamental physical properties of widely investigated chalcogenide materials

Chalcogenide material	Chemical formula	Crystal structure	Band gap (eV)	Electrical type	Main properties/applications
Copper(I) sulfide	Cu_2S	Hexagonal / monoclinic	1.2–1.6	p-type	Photovoltaics, photocatalysis, energy storage
Copper indium sulfide	$CuInS_2$	Chalcopyrite	1.45–1.55	p-type	Thin-film solar cells, photocatalysis
Copper gallium sulfide	$CuGaS_2$	Chalcopyrite	2.4–2.5	p-type	Photocatalysis, solar energy conversion
Copper zinc tin sulfide	Cu_2ZnSnS_4 (CZTS)	Kesterite	1.4–1.6	p-type	Photovoltaics, photocatalysis
Copper zinc tin selenide	$Cu_2ZnSnSe_4$ (CZTSe)	Kesterite	0.9–1.1	p-type	Photovoltaics, energy conversion
Copper nickel tin sulfide	Cu_2NiSnS_4 (CNTS)	Stannite / kesterite-like	1.3–1.5	p-type	Photovoltaics, hole transport layers
Copper cobalt tin sulfide	Cu_2CoSnS_4 (CCTS)	Stannite-like	1.2–1.4	p-type	Photovoltaics, photocatalysis
Copper manganese tin sulfide	Cu_2MnSnS_4 (CMTS)	Stannite-like	1.5–1.7	p-type	Photovoltaics, photocatalysis
Molybdenum disulfide	MoS_2	Hexagonal (2H)	1.2–1.9*	n-type / p-type	Photocatalysis, HER, supercapacitors
Tungsten disulfide	WS_2	Hexagonal (2H)	1.3–2.0*	n-type / p-type	Photocatalysis, HER, energy storage

Molybdenum diselenide	$MoSe_2$	Hexagonal	1.1–1.6*	n-type / p-type	HER, photocatalysis, batteries
Tungsten diselenide	WSe_2	Hexagonal	1.2–1.7*	n-type / p-type	HER, electrocatalysis, optoelectronics
Cadmium sulfide	CdS	Hexagonal / cubic	2.4	n-type	Photocatalysis, solar cells
Zinc sulfide	ZnS	Cubic / hexagonal	3.5–3.8	n-type	Photocatalysis, UV optoelectronics
Antimony sulfide	Sb_2S_3	Orthorhombic	1.7–1.8	p-type	Photovoltaics, photocatalysis
Bismuth sulfide	Bi_2S_3	Orthorhombic	1.3–1.7	n-type	Photocatalysis, thermoelectrics, batteries
Tin sulfide	SnS	Orthorhombic	1.3–1.5	p-type	Photovoltaics, photocatalysis
Tin disulfide	SnS_2	Hexagonal	2.0–2.3	n-type	Photocatalysis, batteries, sensors
Iron disulfide (pyrite)	FeS_2	Cubic (pyrite)	0.9–1.0	p-type / n-type	Solar cells, batteries, catalysis

As summarized in Table 1, widely investigated chalcogenides span narrow- to wide-band-gap semiconductors and may display p-type, n-type, or ambipolar behavior. These characteristics support their use in photovoltaics, photocatalysis, electrocatalysis, hydrogen evolution, rechargeable batteries, supercapacitors, thermoelectric devices, sensors, and optoelectronic applications. In particular, layered transition-metal dichalcogenides such as MoS_2, WS_2, $MoSe_2$, and WSe_2 show pronounced thickness-dependent electronic structures, including an indirect-to-direct band-gap transition as the material approaches the monolayer limit (Mak & Shan, 2016; Manzeli et al., 2017; Mueller & Malic, 2018). Metal sulfides are also extensively studied as photocatalysts because their tunable band structures and visible-light response can facilitate solar-to-chemical energy conversion (Wang et al., 2023; Zhang et al., 2022).

3. ENERGY STORAGE APPLICATIONS

3.1 Lithium-Ion Batteries

The growing demand for portable electronics, electric vehicles, and renewable-energy storage has accelerated the development of lithium-ion batteries (LIBs) with higher energy density, longer cycle life, improved rate capability, and enhanced safety (Chen et al., 2025; He et al., 2024). LIBs are widely employed owing to their high energy density, relatively low self-discharge rate, and favorable cycling performance. Nevertheless, several challenges, including electrode degradation, instability of the solid electrolyte interphase (SEI), structural and volumetric changes during repeated lithiation/delithiation, and thermal safety concerns, continue to limit their long-term performance and reliability (Chen et al., 2025; He et al., 2024). In this context, transition-metal chalcogenides, particularly metal sulfides and selenides, have emerged as promising electrode materials because of their high theoretical capacities, tunable electronic structures, structural diversity, and rich redox chemistry (Palchoudhury et al., 2023; Senthil & Gupta, 2026; Wang et al., 2023). Compared with conventional graphite, which

possesses a theoretical lithium-storage capacity of approximately 372 mAh g^{-1}, many transition-metal chalcogenides can achieve considerably higher specific capacities through intercalation, conversion, and, in some cases, alloying-type reaction mechanisms (Chen et al., 2025; Wang et al., 2023). Representative chalcogenide materials, including MoS_2, WS_2, $MoSe_2$, SnS_x, and FeS_2, have therefore attracted considerable attention as potential high-capacity electrode materials. Moreover, nanoscale structural engineering and hybridization with conductive carbonaceous materials can alleviate some of the intrinsic limitations of chalcogenide electrodes. Reducing particle dimensions can shorten Li^+ diffusion pathways, while integration with graphene, carbon nanotubes, or other conductive matrices can improve electron transport and accommodate the substantial volume variations associated with repeated lithiation and delithiation. These strategies can consequently enhance rate capability, structural integrity, and cycling stability (Palchoudhury et al., 2023; Senthil & Gupta, 2026; Wang et al., 2023). Therefore, rationally engineered chalcogenide-based electrodes represent promising candidates for the development of next-generation high-capacity and high-performance lithium-ion batteries.

3.2 Sodium-Ion and Multivalent-Ion Batteries

The increasing demand for cost-effective and sustainable energy storage has stimulated considerable interest in sodium-ion batteries (SIBs) and multivalent-ion batteries based on Mg^{2+}, Zn^{2+}, and Al^{3+} (Habib et al., 2025; Miao et al., 2024; Muthu et al., 2024). SIBs are particularly attractive because of the natural abundance and relatively low cost of sodium; however, the larger ionic radius of Na^+ compared with Li^+ can result in sluggish ion-diffusion kinetics, substantial volume changes, and structural degradation during repeated cycling (Habib et al., 2025; Liu et al., 2024). Transition-metal chalcogenides, particularly sulfides and selenides, have emerged as promising electrode materials for sodium-ion storage because of their tunable crystal and electronic structures, rich redox chemistry, and high theoretical capacities (Habib et al., 2025; Liu et al., 2024; Muthu et al., 2024). In layered chalcogenides, relatively accessible interlayer spaces can facilitate ion insertion and transport, while rational nanostructure and interface engineering can further shorten diffusion pathways and improve charge-transfer kinetics (Liu et al., 2024; Muthu et al., 2024). Accordingly, nanostructuring, defect and interface engineering, and hybridization with conductive materials represent important strategies for improving ion transport, electrical conductivity, and structural stability in chalcogenide-based electrodes. Nevertheless, further improvements in long-term cycling durability, full-cell performance, scalable synthesis, safety, and cost efficiency are required

before these materials can be widely implemented in practical sodium-ion and multivalent-ion energy-storage systems (Habib et al., 2025; Huang et al., 2024; Miao et al., 2024; Muthu et al., 2024).

3.3 Supercapacitors

Chalcogenide materials have emerged as promising electrode materials for supercapacitors due to their rich redox chemistry, tunable electronic structures, and abundant electrochemically active sites (Palchoudhury et al., 2023; Tamang & Baek, 2026; Zhu, 2022). Rapid and reversible Faradaic redox reactions occurring at or near the electrode surface contribute to enhanced specific capacitance and energy density (Tamang & Baek, 2026; Zhu, 2022). Furthermore, strategies such as nanostructuring, heterostructure engineering, and hybridization with conductive carbon materials can facilitate ion and electron transport, thereby improving power density and cycling stability (Meenakshi et al., 2026; Palchoudhury et al., 2023; Zhu, 2022). These advantageous characteristics make transition-metal chalcogenides promising electrode materials for the development of next-generation high-performance supercapacitors (Meenakshi et al., 2026; Tamang & Baek, 2026).

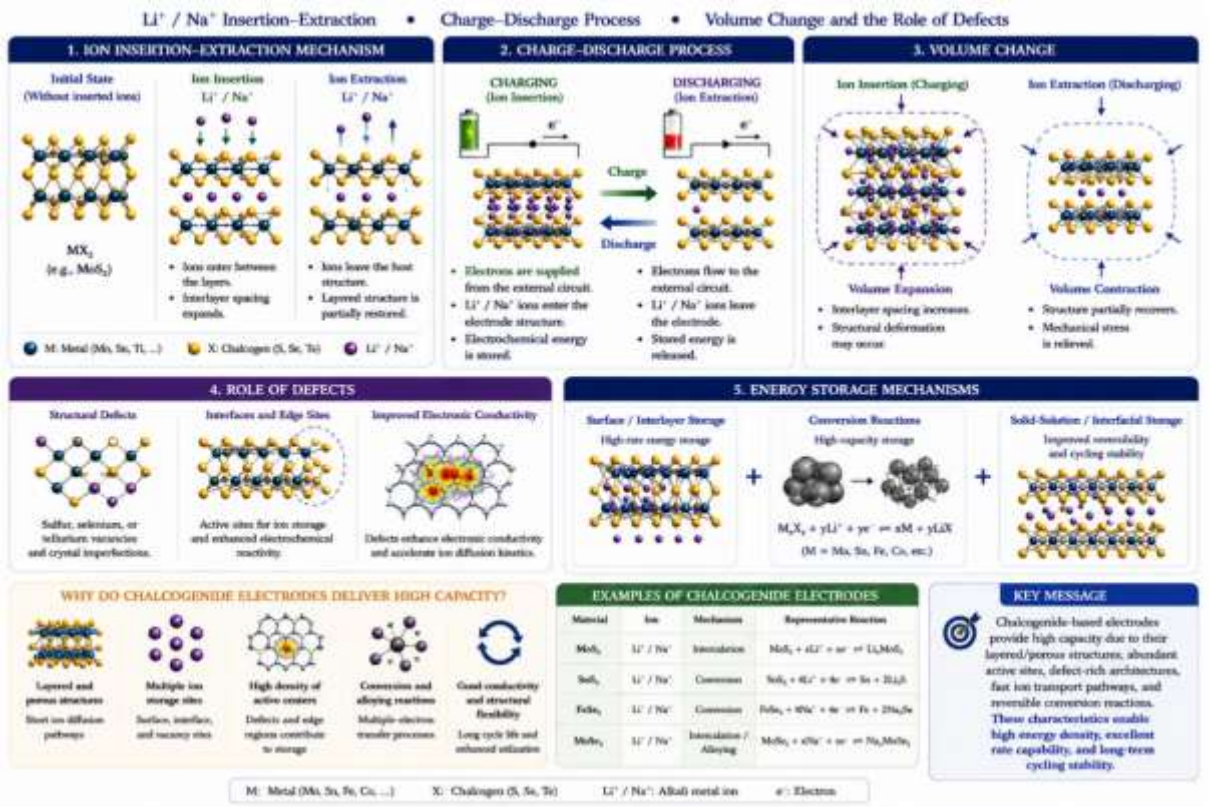


Fig. 3. Schematic representation of chalcogenide-based electrodes in rechargeable batteries and supercapacitors.

The electrochemical performance of representative chalcogenide-based electrode materials in different energy storage systems is summarized in Table 2. In general, transition-metal sulfides and selenides exhibit high charge-storage capacities owing to their rich redox chemistry and multiple ion-storage mechanisms, including intercalation, conversion, and alloying reactions. Layered chalcogenides such as MoS_2, $MoSe_2$, WS_2, and SnS_2 are particularly attractive for Li^+, Na^+, and multivalent-ion storage, whereas multimetallic sulfides such as $NiCo_2S_4$ exhibit high pseudocapacitive performance in supercapacitor applications. Nevertheless, structural degradation, volume expansion, and limited cycling stability remain major challenges for their practical implementation.

Table 2. Comparative electrochemical performance of representative chalcogenide-based energy storage systems.

Chalcogenide-based electrode	Energy storage system	Electrode role	Specific capacity / capacitance	Cycling performance	Key feature	Ref.
1T-rich MoS_2/C@N-doped graphene	LIB	Anode	1022.4 mAh g^{-1} at 2 A g^{-1}	1022.4 mAh g^{-1} after 1000 cycles	Expanded interlayer spacing and enhanced conductivity	[66]
3D MoS_2/GO	SIB	Anode	525 mAh g^{-1} at 0.5 A g^{-1}	95.6% retention after 100 cycles; 277 mAh g^{-1} after 3000 cycles at 5 A g^{-1}	3D porous architecture and improved Na^+ diffusion	[67]
MoS_2@N,S-doped carbon	SIB	Anode	691.7 mAh g^{-1} at 1 A g^{-1}	537 mAh g^{-1} after 1100 cycles at 5 A g^{-1}	Yolk–shell structure; accommodates volume changes	[68]
$MoSe_{2-x}S_x$@C	SIB	Anode	348.6 mAh g^{-1} at 0.1 A g^{-1}	83.9% retention after 600 cycles at 4 A g^{-1}	S substitution and carbon compositing	[69]
Sn-doped $MoSe_2$/graphene	SIB	Anode	268.5 mAh g^{-1} at 1 A g^{-1}	268.5 mAh g^{-1} after 1600 cycles	Defect engineering and expanded interlayer spacing	[70]
1T-SnS_2/RGO	SIB	Anode	768.8 mAh g^{-1} initial discharge capacity	650.8 mAh g^{-1} after 100 cycles; 84.6% retention	Highly reversible sodiation/desodiation	[71]
C@SnS_2/SnS@C	SIB	Anode	547.9 mAh g^{-1} at 0.5 A g^{-1}	502.5 mAh g^{-1} after 1000 cycles at 2 A g^{-1}	Hollow heterostructure and carbon confinement	[72]
VS_2@carbon foam	Aqueous ZIB	Cathode	172.8 mAh g^{-1} at 5 A g^{-1}	130.2 mAh g^{-1} after 1000 cycles at 1 A g^{-1}	3D conductive framework and fast Zn^{2+} transport	[73]
VS_2 microflowers	Aqueous ZIB	Cathode	215.7 mAh g^{-1} at 0.1 A g^{-1}	100.1 mAh g^{-1} after 900 cycles at 3 A g^{-1}	Lamellar structure and short diffusion pathways	[74]
$NiCo_2S_4$@HCs	Supercapacitor	Positive electrode	3178.2 F g^{-1} at 1 A g^{-1}	90.2% retention after 10,000 cycles*	Hierarchical architecture and abundant redox-active sites	[75]
$NiCo_2O_4$@$NiCo_2S_4$	Supercapacitor	Positive electrode	2243 F g^{-1} at 1 A g^{-1}	83.29% retention after 5000 cycles	Amorphous/crystalline heterointerfaces	[76]

4. CATALYTIC APPLICATIONS

4.1 Electrocatalysis

Transition-metal chalcogenides have emerged as promising electrocatalysts for key energy-conversion reactions, including the hydrogen evolution reaction (HER), oxygen evolution reaction (OER), and oxygen reduction reaction (ORR) (Ingsel & Gupta, 2022; Majhi, 2023; Yang et al., 2024). Their electrocatalytic performance is primarily associated with tunable electronic structures, abundant catalytically active sites, and favorable adsorption energies for reaction intermediates, which collectively facilitate interfacial charge transfer and accelerate reaction kinetics (Roy et al., 2024; Yang et al., 2024). Furthermore, strategies such as defect

engineering, heteroatom doping, phase modulation, and heterostructure formation can optimize the electronic configuration and increase the density of accessible active sites, thereby further enhancing catalytic activity and stability (Roy et al., 2024; Yang et al., 2024; Zhang et al., 2023).

4.2 Photocatalysis

Chalcogenide materials are promising photocatalysts due to their tunable band structures, relatively narrow band gaps, and strong visible-light absorption (Liu et al., 2024; Roy et al., 2024; Zhang et al., 2022). These properties facilitate solar-light harvesting and promote photocatalytic reactions such as hydrogen production and organic pollutant degradation (Liu et al., 2024; Zhang et al., 2022). Furthermore, heterostructure and defect engineering can enhance charge separation and suppress electron–hole recombination, thereby improving overall photocatalytic performance (Hu et al., 2024; Liu et al., 2024; Roy et al., 2024).

4.3 Carbon Dioxide Reduction

Electrochemical CO_2 reduction (CO_2RR) has emerged as a promising strategy for converting CO_2 into value-added fuels and chemicals (Chen et al., 2024; El Aisnada et al., 2023; Gao et al., 2021). Metal chalcogenides are attractive CO_2RR catalysts because of their tunable electronic structures and abundant active sites, which facilitate CO_2 adsorption and stabilize key reaction intermediates (Chen et al., 2024; Gao et al., 2021). Moreover, defect and interface engineering can improve product selectivity and suppress the competing hydrogen evolution reaction (HER), thereby enhancing overall CO_2 conversion efficiency (Chen et al., 2024; El Aisnada et al., 2023; Gao et al., 2021).

5. STRUCTURE–PERFORMANCE RELATIONSHIPS

5.1 Defect Engineering

Defect engineering is an effective strategy for tailoring the electronic structure and catalytic properties of chalcogenide materials (Liang et al., 2021; Tan et al., 2023; Zhou & Guo, 2025). Structural defects, including chalcogen vacancies, grain boundaries, and lattice distortions, can redistribute local charge density, expose additional active sites, and optimize the adsorption of reaction intermediates (Liang et al., 2021; Tan et al., 2023; Zhou & Guo, 2025). Consequently, controlled defect formation can promote charge-transfer kinetics and significantly enhance the catalytic performance of chalcogenide-based materials (Tan et al., 2023; Zhou & Guo, 2025).

5.2 Doping and Heterostructures

Doping and heterostructure engineering are effective strategies for tailoring the electronic and catalytic properties of chalcogenide materials (Chen et al., 2023; Rakov, 2023; Roy et al.,

2024). Elemental doping can modulate the electronic structure, charge distribution, and adsorption behavior of reaction intermediates, whereas heterostructure formation promotes interfacial charge transfer and synergistic interactions between different components (Chen et al., 2023; Rakov, 2023). These effects can increase the accessibility of active sites and accelerate reaction kinetics, thereby enhancing the overall electrochemical and catalytic performance (Chen et al., 2023; Roy et al., 2024).

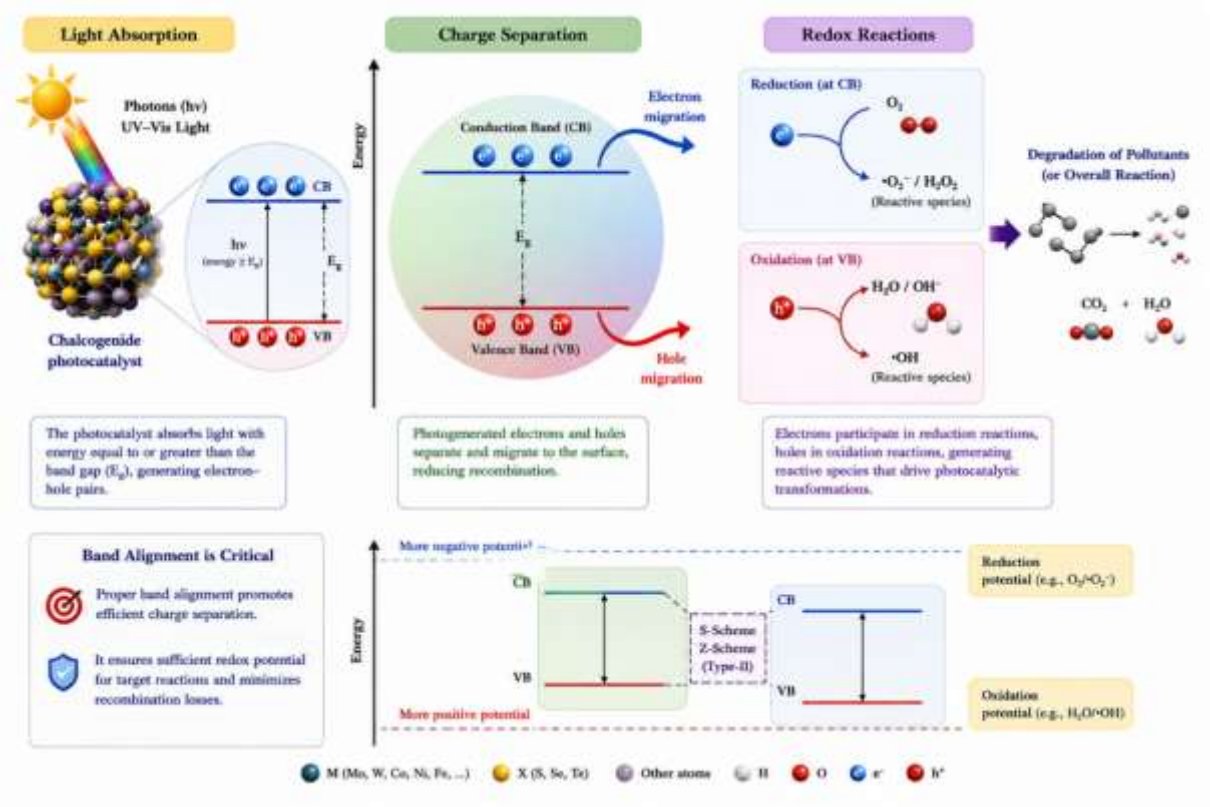


Fig. 4. Schematic diagram illustrating the relationship between structural engineering approaches and electrochemical/catalytic performance.

6. CHALLENGES AND FUTURE PERSPECTIVES

6.1 Stability and Scalability

Despite their promising performance, the practical implementation of chalcogenide materials is still limited by structural degradation, phase instability, and challenges associated with scalable synthesis (Lamiel et al., 2023; Palchoudhury et al., 2023; Roy et al., 2024). Structural changes during prolonged electrochemical or catalytic operation can adversely affect activity and long-term durability (Roy et al., 2024; Wang et al., 2024). Therefore, elucidating degradation mechanisms and developing cost-effective, controllable, and scalable synthesis strategies are essential for translating chalcogenide-based materials from laboratory-scale research to practical energy applications (Lamiel et al., 2023; Palchoudhury et al., 2023; Xue et al., 2024).

6.2 Industrial Applications

The transition of chalcogenide materials from laboratory-scale research to industrial applications requires scalable, cost-effective, and reproducible synthesis methods capable of maintaining high material quality (Lamiel et al., 2023; Palchoudhury et al., 2023; Xue et al., 2024). Large-area production, environmentally responsible processing, and compatibility with existing manufacturing technologies are particularly important for practical implementation (Wang et al., 2024; Xue et al., 2024). Furthermore, reliable device integration and long-term operational stability will be essential for the successful commercialization of chalcogenide-based energy storage and conversion technologies (Lamiel et al., 2023; Palchoudhury et al., 2023; Wang et al., 2024). Future research on chalcogenide materials should focus on scalable synthesis, advanced nanostructuring, defect engineering, and integration into renewable energy systems (Lamiel et al., 2023; Palchoudhury et al., 2023; Xue et al., 2024). These strategies are expected to improve material performance, stability, and practical applicability, as summarized in Fig. 5.

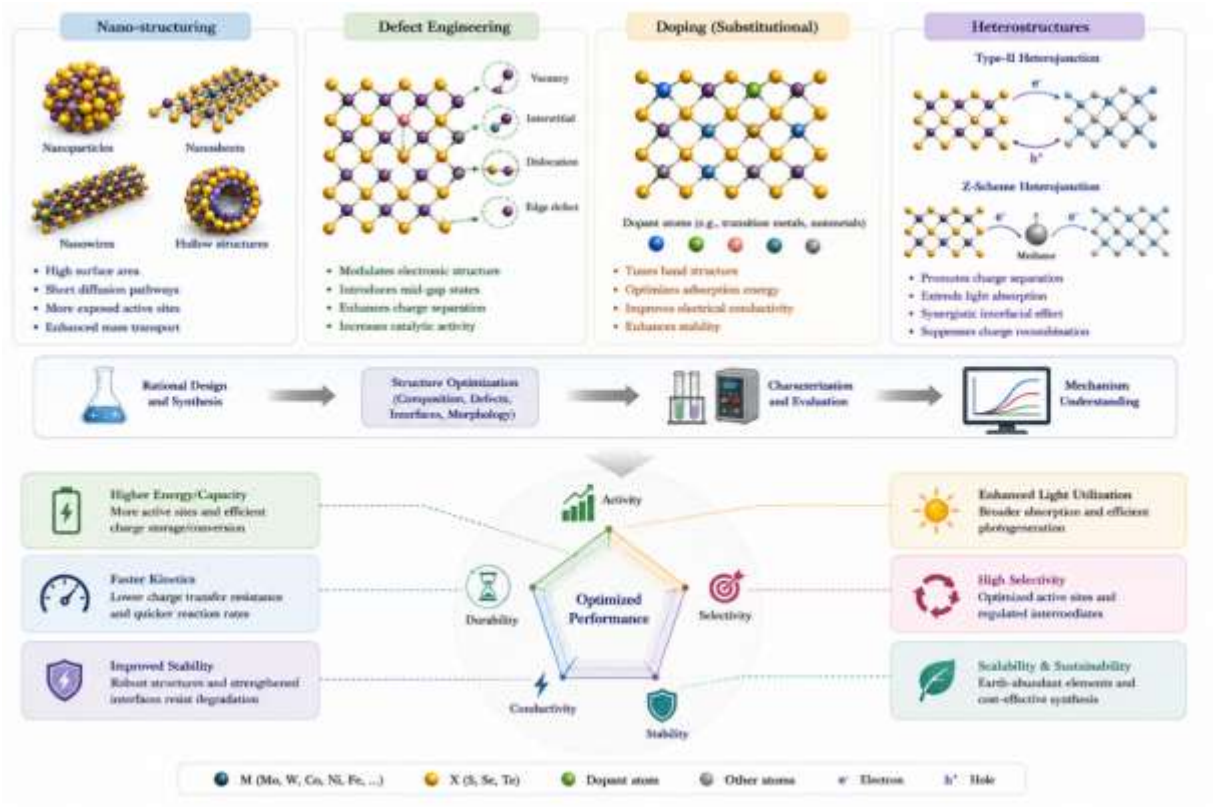


Fig. 5. Future research directions for chalcogenide materials, highlighting scalable manufacturing, advanced nanostructuring, defect engineering, and integrated renewable energy systems.

7. CONCLUSIONS

Chalcogenide materials constitute a versatile class of functional materials with considerable potential for advanced energy storage and catalytic applications. Their tunable electronic structures, rich redox chemistry, and structural diversity enable their effective utilization in batteries, supercapacitors, electrocatalysis, photocatalysis, and CO_2 reduction. Recent advances in nanostructuring, defect engineering, doping, and heterostructure design have further improved charge-transfer kinetics, active-site accessibility, and overall electrochemical and catalytic performance. Nevertheless, challenges related to long-term stability, scalable synthesis, and material integration remain critical for practical implementation. Future research should therefore focus on developing durable, cost-effective, and scalable chalcogenide-based systems to facilitate their transition from laboratory-scale studies to commercially viable and sustainable energy technologies.

REFERENCES

Chen, Z., & Zhi, C. (2025). Chalcogens for high-energy batteries. *Nature Reviews Materials, 10*, 268–284. https://doi.org/10.1038/s41578-025-00773-7

Chen, S., Liu, C., Feng, R., Chen, Z., Lu, Y., Chen, L., Huang, Q., Guan, Y., Yan, W., Su, Y., Li, N., & Wu, F. (2025). Natural graphite anode for advanced lithium-ion batteries: Challenges, progress, and perspectives. Chemical Engineering Journal, 503, 158116. https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.158116

Chen, F., Yao, Z.-C., Lyu, Z.-H., Fu, J., Zhang, X., & Hu, J.-S. (2024). Recent advances in p-block metal chalcogenide electrocatalysts for high-efficiency CO_2 reduction. eScience, 4(2), 100172. https://doi.org/10.1016/j.esci.2023.100172

Chen, B., Sui, S., He, F., He, C., Cheng, H., Qiao, S., Hu, W., & Zhao, N. (2023). Interfacial engineering of transition metal dichalcogenide/carbon heterostructures for electrochemical energy applications. Chemical Society Reviews, 52, 7802–7834. DOI: 10.1039/D3CS00445G.

Conde, H. J. C., Demition, C. M., & Honra, J. (2025). Storage is the new black: A review of energy storage system applications to resolve intermittency in renewable energy systems. Energies, 18(2), 354. https://doi.org/10.3390/en18020354

El Aisnada, A. N., Miyauchi, M., Liu, M., & Yamaguchi, A. (2023). Recent update on electrochemical CO_2 reduction catalyzed by metal sulfide materials. Materials Reports: Energy, 3(2), 100190. https://doi.org/10.1016/j.matre.2023.100190

Gao, F.-Y., Wu, Z.-Z., & Gao, M.-R. (2021). Electrochemical CO_2 reduction on transition-metal chalcogenide catalysts: Recent advances and future perspectives. Energy & Fuels, 35(16), 12869–12883. https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.1c01650 Deguenon, L. M., Yamegueu, D., Kadri, S. M., & Gomna, A. (2023). Overcoming the challenges of integrating variable renewable energy to the grid: A comprehensive review of electrochemical battery storage systems. *Journal of Power Sources, 580*, 233343. https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2023.233343

Habib, L., Suo, G., Lin, C., Li, J., Javed, S., Naseem, K., & Kalkozova, Z. K. (2025). Strategies in improving the initial coulombic efficiency of transition metal chalcogenides anode materials for sodium-ion batteries: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 217, 115721. https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.115721

He, D., Wang, J., Peng, Y., Li, B., Feng, C., Shen, L., & Ma, S. (2024). Research advances on thermal runaway mechanism of lithium-ion batteries and safety improvement. Sustainable Materials and Technologies, 41, e01017. https://doi.org/10.1016/j.susmat.2024.e01017

Hu, H.-Y., Xie, L.-J., He, L., Wu, P.-P., Lu, K.-Q., Yang, K., Li, D., & Huang, W.-Y. (2024). Constructing metal sulfide-based S-scheme heterojunctions for efficient photocatalytic reaction: A

mini review of recent advances. Current Opinion in Chemical Engineering, 44, 101021. https://doi.org/10.1016/j.coche.2024.101021
International Energy Agency. (2024). *World energy outlook 2024*. IEA.
Lamiel, C., Hussain, I., Rabiee, H., Ogunsakin, O. R., & Zhang, K. (2023). Metal-organic framework-derived transition metal chalcogenides (S, Se, and Te): Challenges, recent progress, and future directions in electrochemical energy storage and conversion systems. Coordination Chemistry Reviews, 480, 215030. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2023.215030
Liu, S., Li, Y., Zhong, X., Yang, K., Li, X., Jin, W., Liu, H., & Xie, R. (2024). Metal sulfide-based nanoarchitectures for energetic and environmental applications. Small Structures, 5(6), 2300536. https://doi.org/10.1002/sstr.202300536
Liang, Q., Zhang, Q., Zhao, X., Liu, M., & Wee, A. T. S. (2021). Defect engineering of two-dimensional transition-metal dichalcogenides: Applications, challenges, and opportunities. ACS Nano, 15(2), 2165–2181. https://doi.org/10.1021/acsnano.0c09666
Meenakshi, Pandey, G., Lawaniya, S. D., Menezes, P. W., & Awasthi, K. (2026). A review of transition metal dichalcogenides for supercapacitor applications: Materials, performance, and challenges. Journal of Materials Chemistry A, 14, 22859–22902. https://doi.org/10.1039/D6TA01482H
Palchoudhury, S., Ramasamy, K., Han, J., Chen, P., & Gupta, A. (2023). Transition metal chalcogenides for next-generation energy storage. *Nanoscale Advances, 5*(10), 2724–2742. https://doi.org/10.1039/D2NA00944G
Rakov, D. A. (2023). Metal-doped nickel-based chalcogenides and phosphochalcogenides for electrochemical water splitting. Energy Advances, 2, 235–251. DOI: 10.1039/D2YA00152G.
Roy, S., Joseph, A., Zhang, X., Bhattacharyya, S., Puthirath, A. B., Biswas, A., Tiwary, C. S., Vajtai, R., & Ajayan, P. M. (2024). Engineered two-dimensional transition metal dichalcogenides for energy conversion and storage. *Chemical Reviews, 124*(16), 9376–9456. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.3c00937
Senthil, C., & Gupta, R. K. (2026). Transition metal chalcogenides for advanced batteries: Tailor-engineered materials properties and architectures. Coordination Chemistry Reviews, 556, 217663. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2026.217663
Tan, Z. H., Kong, X. Y., Ng, B.-J., Soo, H. S., Mohamed, A. R., & Chai, S.-P. (2023). Recent advances in defect-engineered transition metal dichalcogenides for enhanced electrocatalytic hydrogen evolution: Perfecting imperfections. ACS Omega, 8(2), 1851–1863. https://doi.org/10.1021/acsomega.2c06524
Tamang, T. L., & Baek, K.-H. (2026). Unveiling charge-storage mechanisms in transition metal chalcogenide supercapacitors: Understanding through in situ/operando spectroscopy and DFT studies. Journal of Materials Chemistry A, 14, 22920–22936. https://doi.org/10.1039/D5TA10356H
Wang, Y., Sarkar, S., Yan, H., & Chhowalla, M. (2024). Critical challenges in the development of electronics based on two-dimensional transition metal dichalcogenides. Nature Electronics, 7, 638–645. https://doi.org/10.1038/s41928-024-01210-3
Wang, Y., Sarkar, S., Yan, H., & Chhowalla, M. (2024). Critical challenges in the development of electronics based on two-dimensional transition metal dichalcogenides. Nature Electronics, 7, 638–645. https://doi.org/10.1038/s41928-024-01210-3
Wang, S., Qu, C., Wen, J., Wang, C., Ma, X., Yang, Y., Huang, G., Sun, H., & Xu, S. (2023). Progress of transition metal sulfides used as lithium-ion battery anodes. Materials Chemistry Frontiers, 7(14), 2779–2808. https://doi.org/10.1039/D2QM01200F
Xue, G., Qin, B., Ma, C., Yin, P., Liu, C., & Liu, K. (2024). Large-area epitaxial growth of transition metal dichalcogenides. Chemical Reviews, 124(17), 9785–9865. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.3c00851
Xue, G., Qin, B., Ma, C., Yin, P., Liu, C., & Liu, K. (2024). Large-area epitaxial growth of transition metal dichalcogenides. Chemical Reviews, 124(17), 9785–9865. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.3c00851
Yang, F., Huang, X., Su, C., Song, E.-H., Liu, B.-X., & Xiao, B.-B. (2024). 2D transition metal chalcogenides (TMDs) for electrocatalytic hydrogen evolution reaction: A review. ChemPhysChem, 25(23), e202400640. https://doi.org/10.1002/cphc.202400640

Zhang, S., Ou, X., Xiang, Q., Carabineiro, S. A. C., Fan, J., & Lv, K. (2022). Research progress in metal sulfides for photocatalysis: From activity to stability. Chemosphere, 303, 135085. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135085
Zhou, Y., & Guo, Y. (2025). Engineering defects, strain, and Janus structures in transition metal dichalcogenides for enhanced hydrogen evolution reaction electrocatalysis. ACS Applied Materials & Interfaces, 17(51), 68869–68881. https://doi.org/10.1021/acsami.5c16215
Zhu, X. (2022). Recent advances of transition metal oxides and chalcogenides in pseudo-capacitors and hybrid capacitors: A review of structures, synthetic strategies, and mechanism studies. Journal of Energy Storage, 49, 104148. https://doi.org/10.1016/j.est.2022.104148

HETEROJUNCTION ENGINEERING IN GRAPHITIC CARBON NITRIDE-BASED NANOCOMPOSITES: ENERGY AND ENVIRONMENTAL APPLICATIONS

Öğr. Gör. Dr. Fahriye SARI
Huglu Vocational School, Selcuk University, 42710, Konya
ORCID: 0000-0002-1404-0631

ABSTRACT

The increasing demand for energy and growing environmental pollution have created a need for the development of next-generation functional materials capable of enabling the efficient utilization of solar energy. In this context, graphitic carbon nitride (g-C_3N_4) has emerged as a promising semiconductor for photocatalytic applications owing to its metal-free structure, relatively narrow band gap of approximately 2.7 eV, visible-light responsiveness, high thermal and chemical stability, low cost, and facile synthesis. Nevertheless, its limited light absorption, relatively low specific surface area, and rapid recombination of photogenerated electron–hole pairs significantly restrict its photocatalytic efficiency. Heterojunction engineering has therefore emerged as an effective strategy for overcoming these limitations. The integration of g-C_3N_4 with other semiconductors to construct Type-II, Z-scheme, and S-scheme heterojunctions can promote the efficient separation and transfer of photogenerated charge carriers, suppress electron–hole recombination, and consequently enhance photocatalytic performance. In particular, heterostructures combining g-C_3N_4 with metal oxides such as ZnO, TiO_2, and WO_3 have been extensively investigated for improving photocatalytic activity under visible-light irradiation. In this study, the fundamental design principles, charge-transfer mechanisms, and interface engineering strategies of g-C_3N_4-based heterojunctions are reviewed, with particular emphasis on their potential applications in energy and environmental fields, including photocatalytic hydrogen production, CO_2 reduction, and the removal of environmental pollutants. Furthermore, the development of ternary heterostructures is highlighted as a promising approach for simultaneously extending light absorption, facilitating the effective separation of photogenerated charge carriers, and enhancing surface redox reactions, thereby providing new opportunities for the development of high-performance photocatalytic systems.

Keywords: Graphitic carbon nitride (g-C_3N_4), heterojunction engineering, S-scheme, Z-scheme, photocatalysis, hydrogen production, environmental remediation.

GRAFİTİK KARBON NİTRÜR TABANLI NANOKOMPOZİTLERDE HETEROEKLEM MÜHENDİSLİĞİ: ENERJİ VE ÇEVRE UYGULAMALARI

ÖZET

Artan enerji ihtiyacı ve çevresel kirlilik sorunları, güneş enerjisinin etkin kullanımını sağlayacak yeni nesil fonksiyonel malzemelerin geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu doğrultuda grafitik karbon nitrür (g-C_3N_4), yaklaşık 2,7 eV bant aralığı, metal içermeyen yapısı, görünür ışık altında aktivite göstermesi, yüksek termal ve kimyasal kararlılığı, düşük maliyeti ve basit sentez yöntemleri sayesinde fotokataliz alanında öne çıkan bir yarı iletken malzemedir. Bununla birlikte, g-C_3N_4'ün sınırlı ışık absorpsiyonu, düşük özgül yüzey alanı ve fotogenerasyonla oluşan elektron-boşluk çiftlerinin hızlı rekombinasyonu, uygulamalardaki fotokatalitik etkinliğini sınırlandırmaktadır. Bu sınırlamaların giderilmesinde heteroeklem tasarımı önemli bir strateji sunmaktadır. g-C_3N_4'ün farklı yarı iletkenlerle bir araya getirilmesiyle oluşturulan Tip-II, Z-scheme ve S-scheme heteroeklemler, fotouyarılmış yük taşıyıcılarının daha etkin ayrılmasını ve transferini sağlayarak yük rekombinasyonunu azaltmakta ve fotokatalitik etkinliği artırmaktadır. Özellikle ZnO, TiO_2 ve WO_3 gibi metal oksitlerin g-C_3N_4 ile birleştirilmesi, görünür ışık altında fotokatalitik aktivitenin artırılması açısından yoğun biçimde araştırılmaktadır. Bu çalışmada, g-C_3N_4 tabanlı heteroeklemlerin tasarım ilkeleri, yük transfer mekanizmaları ve arayüz mühendisliği stratejileri ele alınarak; başta fotokatalitik hidrojen üretimi, CO_2 indirgenmesi ve çevresel kirleticilerin giderimi olmak üzere enerji ve çevre alanlarındaki uygulama potansiyelleri değerlendirilmiştir. Ayrıca, üçlü heteroyapıların geliştirilmesinin; ışık absorpsiyonunun genişletilmesi, fotouyarılmış yük taşıyıcılarının etkin biçimde ayrıştırılması ve yüzeyde gerçekleşen redoks reaksiyonlarının iyileştirilmesi açısından önemli bir yaklaşım olabileceği vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Grafitik karbon nitrür, g-C_3N_4, heteroeklem mühendisliği, S-scheme, Z-scheme, fotokataliz, hidrojen üretimi, çevresel arıtma.

1. INTRODUCTION

The increasing global demand for energy and the environmental impacts associated with fossil-fuel consumption have intensified research into sustainable solar-energy conversion technologies. Semiconductor photocatalysis is considered a promising approach because it enables solar-driven redox reactions for applications such as hydrogen production, CO_2 reduction, pollutant degradation, and microbial inactivation. However, photocatalytic efficiency strongly depends on effective light absorption, charge generation, carrier separation, and surface reaction kinetics (Ong et al., 2016; Bao et al., 2025).

Graphitic carbon nitride (g-C_3N_4) has attracted considerable attention as a metal-free photocatalyst owing to its approximately 2.7 eV band gap, visible-light response, suitable electronic structure, chemical and thermal stability, low cost, and facile synthesis (Wang et al., 2009; Ahmed et al., 2024). These properties make g-C_3N_4 a promising material for photocatalytic H_2 evolution, CO_2 reduction, H_2O_2 production, and environmental remediation. Nevertheless, pristine g-C_3N_4 suffers from limited visible-light utilization, relatively low specific surface area, insufficient active sites, and rapid recombination of photogenerated electron–hole pairs, which considerably restrict its photocatalytic performance (Ma et al., 2024).

Among the strategies proposed to overcome these limitations, heterojunction engineering has emerged as an effective approach for improving interfacial charge separation and transfer. Depending on band alignment and interfacial interactions, g-C_3N_4-based systems can form Type-II, Z-scheme, S-scheme, and p–n heterojunctions. In particular, Z-scheme and S-scheme configurations are advantageous because they can enhance charge separation while preserving strong oxidation and reduction capabilities (Li et al., 2020; Nazir et al., 2024). Coupling g-C_3N_4 with metal oxides such as ZnO, TiO_2, WO_3, and Fe_2O_3 can further improve light harvesting, charge-carrier migration, and photocatalytic activity.

Accordingly, this work provides an overview of heterojunction engineering in g-C_3N_4-based nanocomposites, with particular emphasis on their energy and environmental applications. The fundamental properties and limitations of g-C_3N_4 are first discussed, followed by the charge-transfer mechanisms of Type-II, Z-scheme, S-scheme, and p–n heterojunctions. Representative ZnO/g-C_3N_4, TiO_2/g-C_3N_4, WO_3/g-C_3N_4, and Fe_2O_3/g-C_3N_4 systems are then evaluated in relation to photocatalytic H_2 production, CO_2 reduction, H_2O_2 generation, pollutant degradation, and antibacterial applications. Finally, current challenges and future perspectives concerning interface engineering, stability, scalability, and practical implementation are discussed.

2. FUNDAMENTAL PROPERTIES OF GRAPHITIC CARBON NITRIDE (G-C_3N_4)

Graphitic carbon nitride (g-C_3N_4) is a metal-free semiconductor composed of carbon and nitrogen atoms, characterized by a layered polymeric structure. With a band gap of approximately 2.7 eV, g-C_3N_4 can absorb a portion of the visible-light spectrum. Its low cost, facile synthesis, high chemical and thermal stability, and visible-light response make it an attractive material for photocatalytic applications (Ahmed et al., 2024; Luo et al., 2023; Ma et al., 2024). Owing to its suitable electronic band structure, g-C_3N_4 has been extensively

investigated for various energy and environmental applications, including photocatalytic hydrogen production, CO_2 reduction, and the degradation of organic pollutants (Ahmed et al., 2024; Garg et al., 2023; Luo et al., 2023; Ma et al., 2024). Nevertheless, pristine g-C_3N_4 suffers from several intrinsic limitations, including limited visible-light absorption, low specific surface area, and rapid recombination of photogenerated electron–hole (e^-/h^+) pairs, which significantly restrict its photocatalytic efficiency (Ahmed et al., 2024; Luo et al., 2023; Ma et al., 2024). To overcome these limitations, various modification strategies, such as nanostructuring, elemental doping, defect engineering, and particularly the construction of heterojunctions with other semiconductors, have been widely explored to enhance light utilization, charge separation, and overall photocatalytic performance (Ahmed et al., 2024; Garg et al., 2023; Luo et al., 2023; Ma et al., 2024). Table 1 summarizes the fundamental structural and electronic characteristics of g-C_3N_4, highlighting its key advantages as well as the major limitations that restrict its photocatalytic performance.

Table 1. Structural and electronic properties, advantages, and limitations of g-C_3N_4

Property	Characteristics of g-C_3N_4	Significance
Chemical composition	Carbon and nitrogen (C_3N_4)	Metal-free semiconductor composed of earth-abundant elements.
Structural unit	Predominantly heptazine (tri-s-triazine, C_6N_7) units; triazine-based models are also discussed in the literature.	Provides the conjugated polymeric framework responsible for characteristic electronic and photocatalytic properties.
Crystal/structural form	Graphite-like layered polymeric structure with weak interlayer van der Waals interactions.	Facilitates structural modification, exfoliation, and heterointerface construction.
Hybridization / electronic framework	Predominantly sp^2-hybridized C and N atoms with a delocalized π-conjugated system.	Governs semiconductor behavior, charge transport, and optical response.
Band gap (E_9)	Typically ~2.7 eV for conventional polymeric g-C_3N_4.	Enables absorption of part of the visible-light spectrum.
Absorption edge	Approximately 450–460 nm.	Supports visible-light-driven photocatalytic reactions.
Band structure	Suitable conduction- and valence-band positions for reduction and oxidation reactions.	Enables applications such as H_2 evolution, CO_2 reduction, and pollutant degradation.
Main advantages	Metal-free nature, low cost, facile synthesis, chemical/thermal stability, visible-light response, and tunable structure.	Provides a versatile platform for sustainable photocatalytic energy and environmental applications.
Main limitations	Limited absorption of longer-wavelength visible light, low surface area of bulk material, limited charge mobility, and rapid electron–hole recombination.	Restricts light utilization, charge separation, and overall photocatalytic efficiency.
Common improvement strategies	Nanostructuring/exfoliation, elemental doping, defect engineering, cocatalyst loading, and heterojunction construction.	Enhances light harvesting, accessible active sites, charge separation, and interfacial charge transfer.

2.1. Type-II Heterojunction

Type-II heterojunctions are formed by coupling two semiconductors with staggered band alignments. Under light irradiation, photogenerated electrons migrate toward the semiconductor with the lower conduction-band position, while holes transfer in the opposite direction toward the higher valence-band position. This spatial separation of electrons and holes can effectively suppress charge-carrier recombination and improve photocatalytic efficiency (Molaei, 2023). However, the accumulation of electrons and holes at relatively

weaker reduction and oxidation potentials may decrease the overall redox capability of the system. Therefore, careful control of band alignment and interfacial contact is essential for designing efficient Type-II g-C_3N_4-based heterojunctions (Ahmed et al., 2024).

2.2. Z-Scheme Heterojunction

Z-scheme heterojunctions were developed to achieve efficient charge separation while maintaining strong oxidation and reduction abilities. Upon photoexcitation, electrons with relatively weak reduction capability recombine with holes having relatively weak oxidation capability, leaving highly reducing electrons and strongly oxidizing holes on the respective semiconductor components. Consequently, Z-scheme systems can provide both enhanced charge separation and strong redox potentials compared with conventional Type-II heterojunctions (Garg et al., 2023; Molaei, 2023). g-C_3N_4-based Z-scheme photocatalysts have therefore been extensively investigated for hydrogen production, CO_2 reduction, and environmental remediation.

2.3. S-Scheme Heterojunction

The S-scheme heterojunction is an advanced charge-transfer model designed to promote efficient carrier separation while preserving strong redox ability. When two appropriate semiconductors are brought into contact, differences in their Fermi levels induce charge redistribution, interfacial band bending, and the formation of a built-in electric field. Under light irradiation, this internal electric field facilitates the selective recombination of relatively low-energy charge carriers while retaining highly reducing electrons and strongly oxidizing holes (Hao et al., 2024). As a result, S-scheme g-C_3N_4-based heterojunctions can exhibit enhanced charge separation, improved redox capability, and superior photocatalytic performance in applications such as H_2 production, CO_2 reduction, H_2O_2 generation, and pollutant degradation (Hao et al., 2024).

2.4. p–n Heterojunction

p–n heterojunctions are constructed through intimate contact between p-type and n-type semiconductors. Since g-C_3N_4 generally exhibits n-type semiconductor behavior, coupling it with an appropriate p-type semiconductor can induce charge redistribution at the interface. The resulting space-charge region and built-in electric field promote directional migration and spatial separation of photogenerated electrons and holes, thereby suppressing charge recombination (Ahmed et al., 2024). Consequently, p–n g-C_3N_4-based heterojunctions provide an effective strategy for improving interfacial charge transfer and enhancing photocatalytic activity in energy and environmental applications.

3. METAL OXIDE/G-C_3N_4 NANOCOMPOSITES

The construction of metal oxide/g-C_3N_4 nanocomposites has emerged as an effective strategy for overcoming the intrinsic limitations of pristine g-C_3N_4, particularly rapid electron–hole recombination, limited light utilization, and insufficient photocatalytic activity. Metal oxides such as TiO_2, ZnO, WO_3, Fe_2O_3, and SnO_2 are widely coupled with g-C_3N_4 because of their chemical stability, suitable electronic structures, and complementary photocatalytic properties (Alaghmandfard & Ghandi, 2022; Lin et al., 2022). The formation of intimate interfaces between g-C_3N_4 and metal oxides can promote spatial separation and migration of photogenerated charge carriers, thereby suppressing electron–hole recombination and increasing the lifetime of reactive charge species.

The photocatalytic behavior of these nanocomposites strongly depends on the relative positions of the conduction and valence bands and the resulting interfacial charge-transfer mechanism. Depending on the semiconductor combination and interfacial characteristics, metal oxide/g-C_3N_4 systems can form conventional Type-II, Z-scheme, or S-scheme heterojunctions. Such heterojunction engineering can simultaneously improve charge separation and preserve suitable redox potentials for photocatalytic reactions (Bao et al., 2025; Lin et al., 2022). In particular, WO_3/g-C_3N_4, TiO_2/g-C_3N_4, and ZnO/g-C_3N_4 composites have been extensively investigated for visible-light-driven photocatalysis because appropriate interfacial coupling can enhance light harvesting and charge-transfer efficiency (Alaghmandfard & Ghandi, 2022; Nabeel et al., 2023). Consequently, metal oxide/g-C_3N_4 nanocomposites have demonstrated considerable potential in photocatalytic hydrogen evolution, CO_2 reduction, organic pollutant degradation, and other energy and environmental applications. Their photocatalytic performance can be further improved through rational control of composition, morphology, interfacial contact, defects, and heterojunction architecture (Bao et al., 2025; Lin et al., 2022). Therefore, metal oxide/g-C_3N_4 heterostructures represent a versatile platform for developing efficient visible-light-responsive photocatalysts. As illustrated in Figure 1, the integration of metal oxides with g-C_3N_4 promotes efficient charge separation, suppresses electron–hole recombination, and enhances photocatalytic performance through different heterojunction mechanisms.

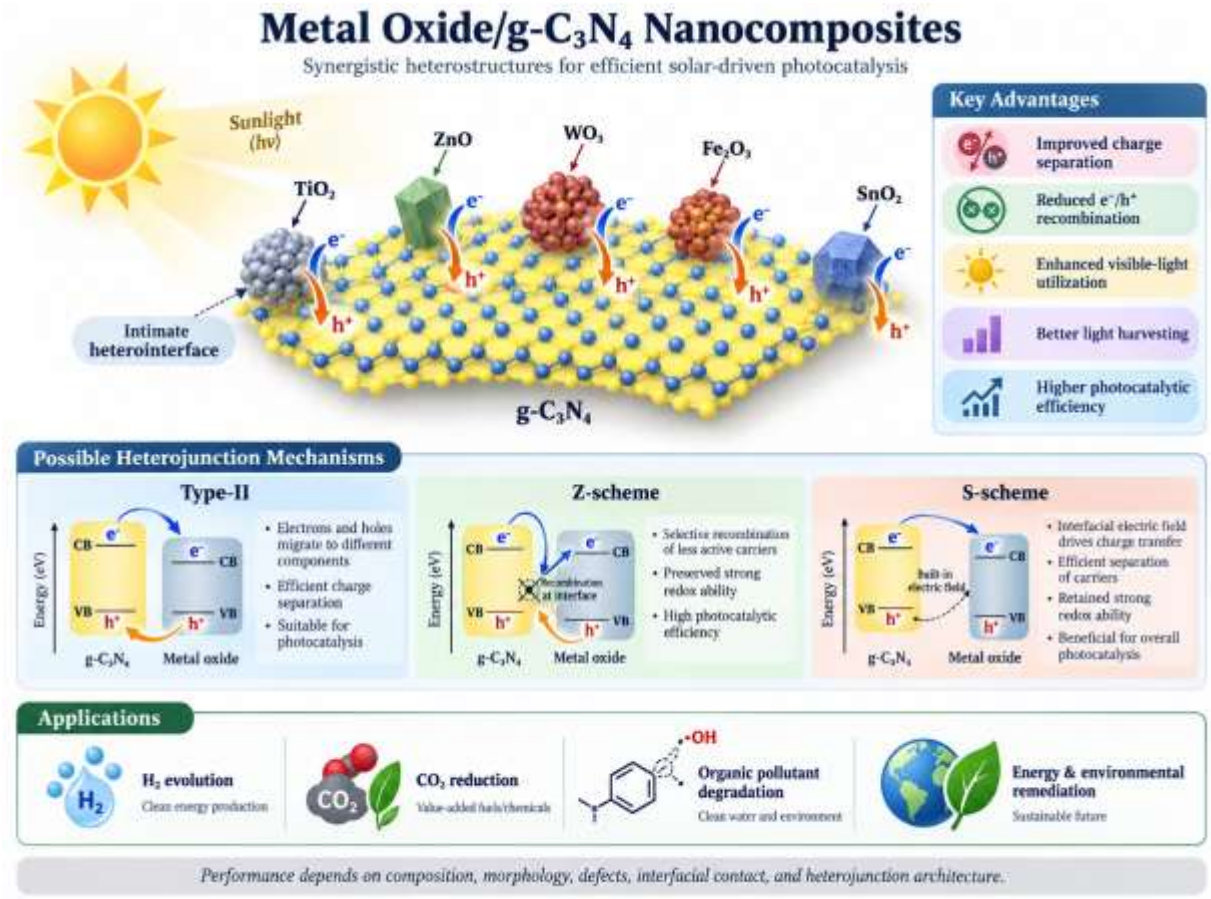


Fig. 1. Schematic illustration of metal oxide/g-C_3N_4 nanocomposites, their heterojunction mechanisms, and major photocatalytic applications.

3.1. ZnO/g-C_3N_4

ZnO/g-C_3N_4 heterostructures have attracted considerable attention because ZnO possesses high chemical stability and strong photocatalytic activity, whereas g-C_3N_4 extends light absorption into the visible region. The formation of an appropriate heterojunction between ZnO and g-C_3N_4 can promote photogenerated charge separation, reduce electron–hole recombination, and improve interfacial charge transfer. Depending on the band alignment and interface structure, Type-II, Z-scheme, or S-scheme charge-transfer mechanisms may occur. Consequently, ZnO/g-C_3N_4 composites have been investigated for photocatalytic hydrogen production and degradation of organic pollutants (Manjunatha, 2023; Suhag et al., 2023).

3.2. TiO_2/g-C_3N_4

TiO_2 is one of the most widely studied photocatalysts because of its high stability, low toxicity, and strong oxidation capability; however, its relatively wide band gap limits efficient visible-light utilization. Coupling TiO_2 with g-C_3N_4 can broaden the photoresponse and improve the separation and migration of photogenerated charge carriers. TiO_2/g-C_3N_4 heterostructures have

therefore shown considerable potential for photocatalytic water splitting, CO_2 reduction, and organic pollutant degradation under solar or visible-light irradiation (Zhang & Jiang, 2022).

3.3. WO_3/g-C_3N_4

WO_3 is a visible-light-responsive semiconductor with good physicochemical stability and a suitable band structure for oxidation reactions. Its combination with g-C_3N_4 can facilitate interfacial charge transfer and suppress the rapid recombination of photogenerated electron–hole pairs. In particular, Z-scheme-type WO_3/g-C_3N_4 heterojunctions can maintain strong redox ability while improving charge separation. These characteristics make WO_3/g-C_3N_4 nanocomposites attractive for photocatalytic pollutant degradation, hydrogen-related energy applications, and other solar-driven reactions (Nabeel et al., 2023).

3.4. Fe_2O_3/g-C_3N_4

Fe_2O_3, particularly α-Fe_2O_3, is an abundant, low-cost, and visible-light-responsive semiconductor with a relatively narrow band gap. Nevertheless, rapid charge-carrier recombination and limited charge transport can restrict its photocatalytic efficiency. Coupling Fe_2O_3 with g-C_3N_4 provides an effective approach for improving charge separation and interfacial electron transfer, thereby enhancing visible-light-driven photocatalytic activity. Fe_2O_3/g-C_3N_4 nanocomposites have been successfully investigated for the degradation of organic and pharmaceutical pollutants as well as photocatalytic hydrogen production (Kalantarian & Sheibani, 2024).

4. ENERGY APPLICATIONS

The transition toward sustainable and low-carbon energy systems has stimulated extensive research on photocatalytic materials capable of efficiently harvesting solar energy and converting it into chemical fuels and value-added products. In this context, g-C_3N_4-based heterostructures have attracted considerable attention because their tunable electronic structures and improved charge-transfer characteristics can enhance solar-driven energy conversion processes. As illustrated in Figure 2, metal oxide/g-C_3N_4 nanocomposites offer a versatile platform for several energy-related applications, including photocatalytic hydrogen evolution, CO_2 reduction, overall water splitting, and the production of solar fuels and value-added chemicals.

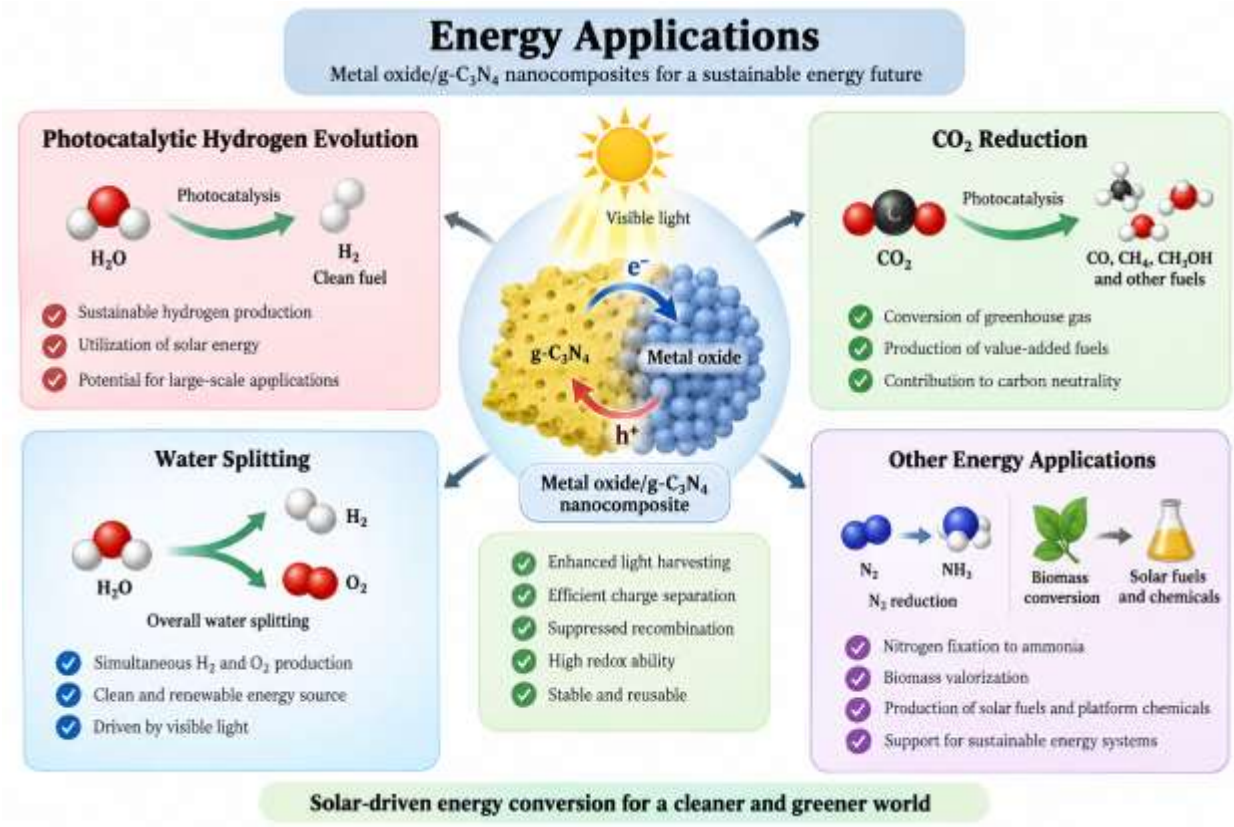


Fig. 2. Schematic overview of the major energy applications of metal oxide/g-C_3N_4 nanocomposites, including photocatalytic H_2 evolution, CO_2 reduction, water splitting, and solar-fuel production.

4.1. Photocatalytic H_2 Production

Photocatalytic hydrogen production is one of the most extensively investigated energy applications of g-C_3N_4-based materials. The suitable conduction-band position, visible-light response, low cost, and chemical stability of g-C_3N_4 make it a promising photocatalyst for solar-driven water splitting (Ma et al., 2024; Saman et al., 2024). However, pristine g-C_3N_4 generally suffers from rapid electron–hole recombination and limited surface active sites. Strategies such as heterojunction construction, elemental doping, defect engineering, morphology control, and cocatalyst loading can improve charge separation and surface reaction kinetics, thereby enhancing photocatalytic H_2 evolution (Ma et al., 2024; Saman et al., 2024).

4.2. Photocatalytic CO_2 Reduction

Photocatalytic CO_2 reduction represents an attractive approach for simultaneously utilizing solar energy and converting CO_2 into value-added fuels and chemicals. g-C_3N_4 is particularly promising for this application because of its adjustable electronic structure, suitable reduction potential, and visible-light activity (Ishaq et al., 2024; Wang et al., 2024). Nevertheless, limited CO_2 adsorption, rapid charge-carrier recombination, and insufficient active sites can restrict its

photocatalytic efficiency. Modification through heterojunction engineering, defect formation, elemental doping, and coupling with metal oxides or sulfides can improve CO_2 activation, charge separation, and product selectivity (Ishaq et al., 2024; Wang et al., 2024).

4.3. Photocatalytic H_2O_2 Production

Photocatalytic hydrogen peroxide production has recently attracted considerable attention as a sustainable alternative to conventional energy-intensive H_2O_2 synthesis processes. g-C_3N_4 is a promising photocatalyst for H_2O_2 generation because of its visible-light response, suitable band structure, facile synthesis, and metal-free nature (Gao et al., 2024; Xu et al., 2026). Photogenerated electrons can promote the reduction of molecular oxygen toward H_2O_2, while appropriate control of the oxidation pathway can further contribute to peroxide formation. Nevertheless, charge recombination and limited reaction selectivity remain important challenges. Energy-band engineering, defect regulation, heteroatom doping, and heterojunction construction can improve charge separation and promote selective H_2O_2 formation (Gao et al., 2024; Xu et al., 2026).

5. ENVIRONMENTAL APPLICATIONS

The environmental use of g-C_3N_4-based photocatalysts has expanded considerably due to their ability to operate under visible light and participate in various oxidation–reduction processes. Coupling g-C_3N_4 with metal oxides can enhance interfacial charge migration, suppress electron–hole recombination, and promote the formation of reactive oxygen species, which are essential for the removal of persistent contaminants. As a result, these heterostructures have been widely investigated for wastewater treatment, degradation of dyes and pharmaceutical residues, antibacterial applications, and air purification (Luo et al., 2023; Bao et al., 2025). As illustrated in Figure X, metal oxide/g-C_3N_4 nanocomposites can contribute to a wide range of environmental applications, including organic pollutant degradation, antibacterial treatment, water and wastewater purification, and air remediation through visible-light-driven photocatalytic processes.

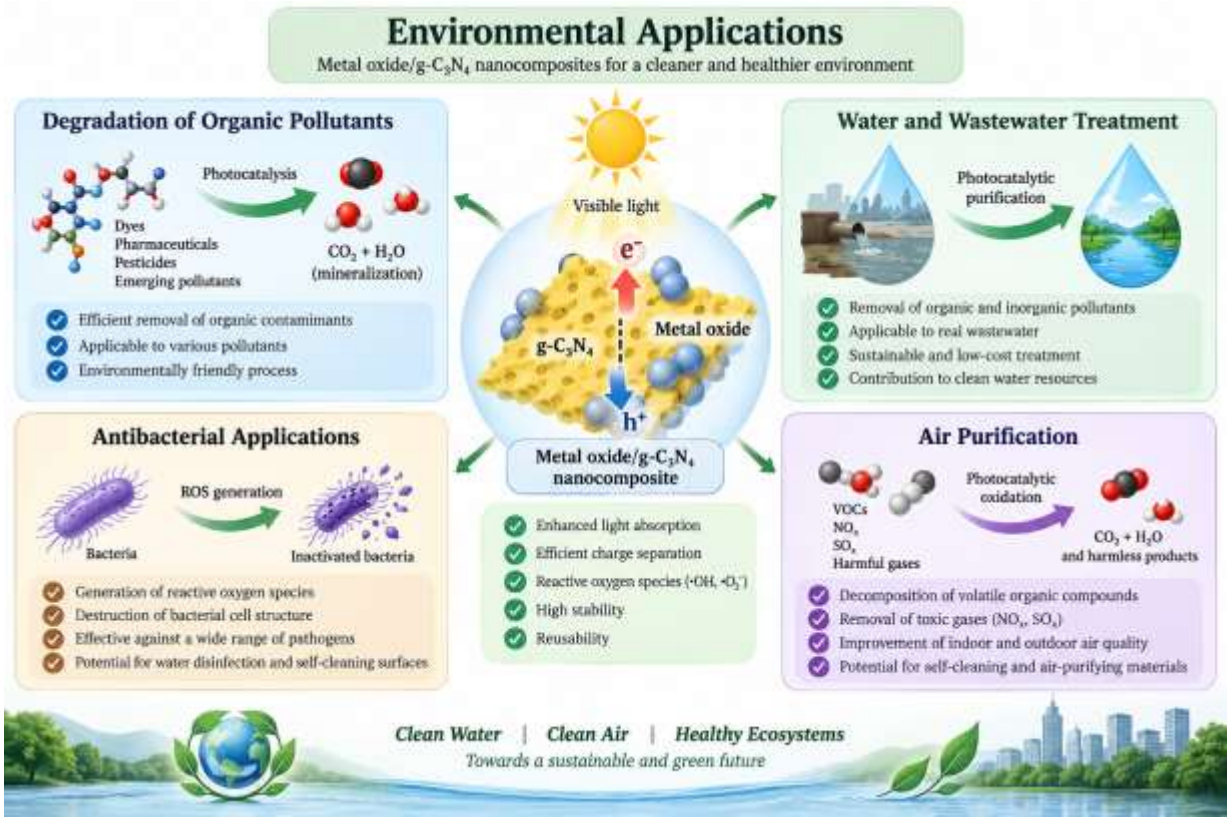


Fig. 3. Environmental applications of metal oxide/g-C_3N_4 nanocomposites under visible-light-driven photocatalytic processes.

5.1. Removal of Organic Pollutants

g-C_3N_4-based photocatalysts have attracted considerable attention for the removal of organic pollutants from contaminated water because of their visible-light activity, chemical stability, and environmentally favorable characteristics. Under light irradiation, photogenerated electrons and holes participate in surface redox reactions and generate reactive oxygen species (ROS), which can oxidize organic contaminants into smaller and less harmful compounds (Luo et al., 2023; Bao et al., 2025). However, rapid charge-carrier recombination limits the efficiency of pristine g-C_3N_4. Therefore, heterojunction construction, elemental doping, defect engineering, and morphology control have been widely employed to improve charge separation and enhance pollutant degradation efficiency (Luo et al., 2023).

5.2. Degradation of Dyes and Pharmaceuticals

Synthetic dyes and pharmaceutical residues are important emerging contaminants because of their persistence and potential ecological impacts. g-C_3N_4-based photocatalysts have been extensively investigated for the degradation of dyes such as methylene blue, rhodamine B, and methyl orange, as well as pharmaceutical compounds including tetracycline and amoxicillin (Luo et al., 2023; Bui et al., 2024). In particular, Z-scheme and S-scheme g-C_3N_4-based

heterojunctions can improve visible-light utilization, charge separation, and redox capability, resulting in enhanced degradation of persistent pharmaceutical pollutants (Hemmati-Eslamlu & Habibi-Yangjeh, 2024). These systems therefore provide a promising approach for advanced wastewater treatment.

5.3. Antibacterial Applications

Photocatalytic antibacterial activity represents another important environmental application of g-C_3N_4-based materials. Upon visible-light irradiation, photogenerated charge carriers can produce ROS that interact with bacterial cells, inducing membrane damage, oxidative stress, protein dysfunction, and ultimately cell inactivation (Kong et al., 2021). The antibacterial efficiency of pristine g-C_3N_4 can be further enhanced through structural modification, heteroatom doping, heterojunction formation, and coupling with metal or metal oxide components, which improve charge separation and ROS generation (Bao et al., 2025; Kong et al., 2021). Consequently, g-C_3N_4-based photocatalysts show considerable potential for water disinfection and microbial control.

6. CURRENT APPROACHES AND FUTURE PERSPECTIVES IN HETEROJUNCTION DESIGN

Recent advances in g-C_3N_4-based heterojunction design have increasingly focused on precise control of interfacial charge transfer, band alignment, and active-site distribution. In particular, S-scheme and Z-scheme heterojunctions have attracted significant attention because they can promote efficient separation of photogenerated electron–hole pairs while maintaining strong oxidation and reduction capabilities (Hao et al., 2024; Meng et al., 2026). In addition, defect engineering, elemental doping, morphology regulation, cocatalyst incorporation, and construction of multidimensional heterostructures provide effective routes for tuning the electronic structure and improving interfacial charge-transfer kinetics (Ahmed et al., 2024; Bao et al., 2025).

Future research should place greater emphasis on rational interface engineering, precise identification of charge-transfer mechanisms, and the development of stable and scalable synthesis methods. Advanced in situ/operando characterization techniques combined with theoretical calculations will be particularly important for clarifying interfacial processes and establishing reliable structure–activity relationships. Furthermore, long-term photocatalytic stability, reproducibility, large-scale preparation, and integration into practical solar-energy conversion and environmental-remediation systems remain critical challenges for the commercialization of g-C_3N_4-based heterojunction photocatalysts (Bao et al., 2025; Meng et

al., 2026). As summarized in Table 2, future progress in g-C_3N_4-based heterojunction photocatalysts will largely depend on precise interface control, reliable identification of charge-transfer pathways, controlled defect engineering, and the development of stable and scalable photocatalytic systems.

Table 2. Current approaches, major challenges, and future perspectives in g-C_3N_4-based heterojunction design.

Current Approach	Main Purpose / Advantage	Current Challenges	Future Perspective
Interface engineering	Enhances interfacial charge transfer and suppresses e^-/h^+ recombination	Poorly controlled interfaces and weak interfacial contact	Precise control of interface structure and chemical bonding
Band alignment engineering	Optimizes directional charge migration and redox capability	Uncertainty in actual band positions under reaction conditions	Rational band-structure design supported by experimental and theoretical studies
Z-scheme and S-scheme heterojunctions	Maintains strong redox ability while improving charge separation	Difficulty in confirming the actual charge-transfer mechanism	Direct verification using advanced spectroscopic and operando techniques
Defect and doping engineering	Introduces active sites and regulates electronic structure	Excessive defects may act as recombination centers	Controlled defect concentration and site-specific doping
Morphology and nanostructure control	Increases surface area, active sites, and carrier transport	Complex synthesis and structural instability	Development of hierarchical, porous, and multidimensional structures
Cocatalyst incorporation	Accelerates surface reactions and reduces charge-transfer barriers	Cost, stability, and possible shielding of active surfaces	Development of earth-abundant and metal-free cocatalysts
Ternary/multicomponent heterostructures	Enables multiple charge-transfer pathways and broader light absorption	Complex interfaces and difficult mechanistic interpretation	Rationally designed multifunctional heterostructures with controlled interfaces
Advanced characterization and theoretical modeling	Clarifies carrier dynamics and structure–activity relationships	Limited direct evidence for charge migration pathways	Integration of in situ/operando techniques with DFT and computational modeling
Stability and scalable synthesis	Supports practical photocatalytic applications	Photocorrosion, reproducibility, and scale-up limitations	Long-term stability testing, low-cost scalable synthesis, and reactor integration

7. CONCLUSIONS

Graphitic carbon nitride (g-C_3N_4) is a promising photocatalytic semiconductor for sustainable energy conversion and environmental remediation due to its visible-light response, chemical stability, low cost, and metal-free composition. However, its practical performance is limited by rapid electron–hole recombination, restricted light utilization, and insufficient active sites. Heterojunction engineering provides an effective strategy to overcome these limitations by improving charge separation and interfacial transfer. Type-II, Z-scheme, S-scheme, and p–n configurations, particularly when combined with metal oxides such as ZnO, TiO_2, WO_3, and Fe_2O_3, can significantly enhance photocatalytic activity. These systems show strong potential for H_2 production, CO_2 reduction, H_2O_2 generation, pollutant degradation, and antibacterial applications. Future studies should focus on precise interface control, reliable identification of charge-transfer mechanisms, long-term stability, scalable synthesis, and practical reactor

integration. Such advances will be essential for the broader implementation of g-C_3N_4-based heterostructures in sustainable energy and environmental technologies.

REFERENCES

Ahmed, M. A., Mahmoud, S. A., & Mohamed, A. A. (2024). Unveiling the photocatalytic potential of graphitic carbon nitride (g-C_3N_4): A state-of-the-art review. RSC Advances, 14(35), 25629–25662. https://doi.org/10.1039/D4RA04234D

Alaghmandfard, A., & Ghandi, K. (2022). A comprehensive review of graphitic carbon nitride (g-C_3N_4)–metal oxide-based nanocomposites: Potential for photocatalysis and sensing. Nanomaterials, 12(2), 294. https://doi.org/10.3390/nano12020294

Bao, T., Li, X., Li, S., Rao, H., Men, X., She, P., & Qin, J. (2025). Recent advances of graphitic carbon nitride (g-C_3N_4) based materials for photocatalytic applications: A review. Nano Materials Science, 7(2), 145–168. https://doi.org/10.1016/j.nanoms.2024.04.002

Bui, T. K., Nguyen, T. L., & Pham, V. V. (2024). Review of g-C_3N_4-based photocatalysts for amoxicillin photocatalytic degradation. Journal of Water Process Engineering, 67, 106257. https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2024.106257

Garg, T., Nitansh, Goyal, A., Kaushik, A., & Singhal, S. (2023). State-of-the-art evolution of g-C_3N_4 based Z-scheme heterostructures towards energy and environmental applications: A review. Materials Research Bulletin, 168, 112448. https://doi.org/10.1016/j.materresbull.2023.112448

Gao, T., Zhao, D., Yuan, S., Zheng, M., Pu, X., Tang, L., & Lei, Z. (2024). Energy band engineering of graphitic carbon nitride for photocatalytic hydrogen peroxide production. Carbon Energy, 6(11), e596. https://doi.org/10.1002/cey2.596

Hao, P., Chen, Z., Yan, Y., Shi, W., & Guo, F. (2024). Recent advances, application and prospect in g-C_3N_4-based S-scheme heterojunction photocatalysts. Separation and Purification Technology, 330, 125302. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.125302

Hemmati-Eslamlu, P., & Habibi-Yangjeh, A. (2024). A review on impressive Z- and S-scheme photocatalysts composed of g-C_3N_4 for detoxification of antibiotics. FlatChem, 43, 100597. https://doi.org/10.1016/j.flatc.2023.100597

Ishaq, T., Naeem, R., Qayyum, A., Yousaf, M., Ehsan, Z., Al-Mutairi, A. A., Irfan, A., Al-Hussain, S. A., Nawaz, R., & Zaki, M. E. A. (2024). Recent developments in carbon nitride for enhanced photocatalytic carbon dioxide reduction: A review. Journal of Saudi Chemical Society, 28, 101956. https://doi.org/10.1016/j.jscs.2024.101956

Kalantarian, K., & Sheibani, S. (2024). Enhancement of photocatalytic efficiency of Fe_2O_3 through g-C_3N_4 nanosheet modification for degradation of organic and pharmaceutical pollutants and hydrogen production. Ceramics International, 50(21), 42818–42834. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2024.08.127

Kong, X., Liu, X., Zheng, Y., Chu, P. K., Zhang, Y., & Wu, S. (2021). Graphitic carbon nitride-based materials for photocatalytic antibacterial application. Materials Science and Engineering: R: Reports, 145, 100610. https://doi.org/10.1016/j.mser.2021.100610

Li, Y., Zhou, M., Cheng, B., & Shao, Y. (2020). Recent advances in g-C_3N_4-based heterojunction photocatalysts. Journal of Materials Science & Technology, 56, 1–17.

Lin, H., Xiao, Y., Geng, A., Bi, H., Xu, X., Xu, X., & Zhu, J. (2022). Research progress on graphitic carbon nitride/metal oxide composites: Synthesis and photocatalytic applications. International Journal of Molecular Sciences, 23(21), 12979. https://doi.org/10.3390/ijms232112979

Luo, Y., Zhu, Y., Han, Y., Ye, H., Liu, R., Lan, Y., Xue, M., Xie, X., Yu, S., Zhang, L., Yin, Z., & Gao, B. (2023). g-C_3N_4-based photocatalysts for organic pollutant removal: A critical review. Carbon Research, 2, 14. https://doi.org/10.1007/s44246-023-00045-5

Ma, D., Zhang, Z., Zou, Y., Chen, J., & Shi, J.-W. (2024). The progress of g-C_3N_4 in photocatalytic H_2 evolution: From fabrication to modification. Coordination Chemistry Reviews, 500, 215489. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2023.215489

Manjunatha, C. (2023). Review and perspective on rational design and interface engineering of g-C_3N_4/ZnO: From Type-II to step-scheme heterojunctions for photocatalytic applications. Energy & Fuels, 37(19), 14421–14472. https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.3c01032

Meng, Z., Chen, S., Yang, P., Yan, Y., Jiang, G., Zhang, Q., & Li, Y. (2026). g-C_3N_4-based S-scheme heterojunction photocatalyst and its application. Chinese Journal of Structural Chemistry, 45(6), 100889. https://doi.org/10.1016/j.cjsc.2026.100889

Molaei, M. J. (2023). Graphitic carbon nitride (g-C_3N_4) synthesis and heterostructures, principles, mechanisms, and recent advances: A critical review. International Journal of Hydrogen Energy, 48(84), 32708–32728. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.05.066

Nabeel, M. I., Hussain, D., Ahmad, N., Najam-ul-Haq, M., & Musharraf, S. G. (2023). Recent advancements in the fabrication and photocatalytic applications of graphitic carbon nitride-tungsten oxide nanocomposites. Nanoscale Advances, 5, 5214–5255. https://doi.org/10.1039/D3NA00159H

Nabeel, M. I., Hussain, D., Ahmad, N., Najam-ul-Haq, M., & Musharraf, S. G. (2023). Recent advancements in the fabrication and photocatalytic applications of graphitic carbon nitride-tungsten oxide nanocomposites. Nanoscale Advances, 5, 5214–5255. https://doi.org/10.1039/D3NA00159H

Ong, W.-J., Tan, L.-L., Ng, Y. H., Yong, S.-T., & Chai, S.-P. (2016). Graphitic carbon nitride (g-C_3N_4)-based photocatalysts for artificial photosynthesis and environmental remediation: Are we a step closer to achieving sustainability? Chemical Reviews, 116(12), 7159–7329.

Saman, F., Se Ling, C. H., Ayub, A., Rafeny, N. H. B., Mahadi, A. H., Subagyo, R., Nugraha, R. E., Prasetyoko, D., & Bahruji, H. (2024). Review on synthesis and modification of g-C_3N_4 for photocatalytic H_2 production. International Journal of Hydrogen Energy, 77, 1090–1116. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2024.06.212

Suhag, M. H., Khatun, A., & Kaneco, S. (2023). One-step fabrication of the ZnO/g-C_3N_4 composite for visible light-responsive photocatalytic degradation of bisphenol E in aqueous solution. ACS Omega, 8(13), 11824–11836. https://doi.org/10.1021/acsomega.2c06678

Wang, X., Maeda, K., Thomas, A., Takanabe, K., Xin, G., Carlsson, J. M., Domen, K., & Antonietti, M. (2009). A metal-free polymeric photocatalyst for hydrogen production from water under visible light. Nature Materials, 8(1), 76–80.

Wang, X., Dong, S., Qi, K., Popkov, V., & Xiang, X. (2024). Photocatalytic CO_2 reduction by modified g-C_3N_4. Acta Physico-Chimica Sinica, 40(12), 2408005

Xu, L., Nan, X., & Yu, J. C. (2026). Recent progress on graphitic carbon nitride–based photocatalysts for hydrogen peroxide synthesis. Exploration, 20240484. https://doi.org/10.1002/EXP.20240484

Zhang, X., & Jiang, S. P. (2022). Layered g-C_3N_4/TiO_2 nanocomposites for efficient photocatalytic water splitting and CO_2 reduction: A review. Materials Today Energy, 23, 100904. https://doi.org/10.1016/j.mtener.2021.100904

FARKLI ÇELİK MALZEMELER KULLANILAN İKİ ÇİZEL AYAĞI TASARIMININ SONLU ELEMANLAR ANALİZİ

Assist. Prof. Dr. Medet İTMEÇ
Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, Faculty of Agriculture, Çukurova University, Adana 01330, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-0714-6232

ÖZET

Çizel ayakları, toprak işleme sırasında toprak direncinden kaynaklanan mekanik yüklere maruz kalmakta ve bu yükler ayak üzerinde gerilme ve deformasyona neden olmaktadır. Ayak geometrisi ve malzeme özellikleri, çizel ayağının yük altındaki yapısal davranışını belirleyen önemli tasarım kriterleridir. Bu çalışmada, iki farklı çizel ayağı tasarımının farklı çelik malzemeler kullanılması durumundaki yapısal performanslarının sonlu elemanlar yöntemiyle karşılaştırılması amaçlanmıştır. Çalışmada iki farklı çizel ayağı geometrisi (Design 1 ve Design 2) kullanılmıştır. Her tasarım için düşük karbonlu çelik, karbon çeliği, alaşımlı çelik ve dökme çelik olmak üzere dört farklı çelik malzeme değerlendirilmiştir. Statik sonlu elemanlar analizleri Autodesk Inventor 2027 yazılımında gerçekleştirilmiştir. Her iki tasarıma aynı sınır koşulları altında literatüre dayalı olarak 1.42 kN kuvvet uygulanmıştır. Tasarımların yapısal performansı maksimum von Mises gerilmesi, maksimum yer değiştirme ve minimum emniyet katsayısı dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Tasarım ve malzeme alternatiflerinin nihai değerlendirilmesinde minimum emniyet katsayısı temel karar kriteri olarak kullanılmıştır. Design 1'de maksimum yer değiştirme düşük karbonlu çelik, karbon çeliği, alaşımlı çelik ve dökme çelik için sırasıyla 1.686, 1.856, 1.811 ve 1.768 mm olarak belirlenirken, Design 2'de bu değerler sırasıyla 1.757, 1.936, 1.891 ve 1.846 mm olarak bulunmuştur. Design 1'de maksimum von Mises gerilmeleri 67.20–67.87 MPa aralığında değişirken, Design 2'de 185.90–186.10 MPa aralığında gerçekleşmiştir. Minimum emniyet katsayısı Design 1'de 3.05–5.19, Design 2'de ise 1.11–1.88 arasında değişmiştir. Temel karar kriteri olarak emniyet katsayısı dikkate alındığında, 5.19 ile en yüksek değeri sağlayan karbon çeliğinden oluşan Design 1 en uygun tasarım–malzeme kombinasyonu olarak belirlenmiştir. Sonuçlar, çizel ayaklarının geliştirilmesinde malzeme seçiminin yanı sıra geometrik tasarımın da dikkate alınmasının önemini ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Toprak işleme, sonlu elemanlar analizi, malzeme seçimi, tasarım kriteri

FINITE ELEMENT ANALYSIS OF TWO CHISEL PLOUGH SHANK DESIGNS USING DIFFERENT STEEL MATERIALS

ABSTRACT

Chisel plough shanks are subjected to mechanical loads caused by soil resistance during tillage, resulting in stress and deformation. Shank geometry and material properties are important design criteria that determine the structural behavior of a chisel plough shank under loading. This study aimed to compare the structural performance of two different chisel plough shank designs using different steel materials by means of finite element analysis. Two different shank geometries (Design 1 and Design 2) were evaluated. Four steel materials, namely mild steel, carbon steel, alloy steel, and cast steel, were considered for each design. Static finite element analyses were performed using Autodesk Inventor 2027. A force of 1.42 kN, selected based on the literature, was applied to both designs under the same boundary conditions. Structural performance was evaluated in terms of maximum von Mises stress, maximum displacement, and minimum safety factor. The minimum safety factor was used as the primary criterion for the final selection of the design–material combination. For Design 1, the maximum displacement values for mild steel, carbon steel, alloy steel, and cast steel were 1.686, 1.856, 1.811, and 1.768 mm, respectively, while the corresponding values for Design 2 were 1.757, 1.936, 1.891, and 1.846 mm. Maximum von Mises stress ranged from 67.20 to 67.87 MPa for Design 1 and from 185.90 to 186.10 MPa for Design 2. The minimum safety factor ranged from 3.05 to 5.19 for Design 1 and from 1.11 to 1.88 for Design 2. Based on safety factor as the primary selection criterion, Design 1 with carbon steel, which provided the highest safety factor of 5.19, was identified as the most suitable design–material combination. The results highlight the importance of considering geometric design together with material selection in the development of chisel plough shanks.

Keywords: Tillage, finite element analysis, material selection, design criteria

1. INTRODUCTION

Soil tillage is one of the fundamental practices in crop production. It is used to prepare a suitable seedbed, improve the soil water–air balance, incorporate crop residues into the soil, and control weeds. It also creates favorable conditions for root development, thereby contributing to successful crop establishment and yield. However, intensive and inappropriate tillage practices may lead to the deterioration of soil structure, loss of organic matter, erosion, and soil compaction. In addition, fuel consumption by tractors and agricultural machinery may increase production costs and carbon emissions. Therefore, the tillage method, depth, and timing should be determined by considering the physical properties of the soil, climatic conditions, the crop

to be grown, and the production system applied. Avoiding unnecessary field passes and using appropriately sized machinery can reduce both energy consumption and the mechanical impacts on the soil. Furthermore, mechanical weed control and the resulting potential reduction in herbicide use are among the major benefits of appropriate tillage practices in terms of sustainable agriculture. In this way, soil fertility can be preserved, environmental impacts can be limited, and the long-term continuity of agricultural production can be supported.

The chisel plough is also preferred in conservation tillage systems because it causes less soil inversion than the mouldboard plough and leaves a considerable proportion of crop residues on the soil surface. These surface residues reduce water and wind erosion and contribute to the conservation of soil moisture (Cavalaris et al., 2023). The tillage performance expected from a chisel plough depends not only on working depth and forward speed but also on the geometry of its shanks and shares. Shank curvature, shank width, share shape, rake angle, spacing between the shanks, and their arrangement on the implement frame directly affect draught and vertical forces, the disturbed soil cross-sectional area, and energy requirements. Al-Janobi et al. (2002) reported that chisel shank shape had a significant effect on horizontal and vertical forces and that the curved shank produced higher forces than the other geometries.

During operation, chisel plough shanks are exposed to the abrasive action of the soil as well as impact loads caused by stones and other foreign objects. Therefore, high hardness and wear resistance alone are insufficient for the material used in shank production; it must also possess sufficient toughness to prevent fracture under sudden loading. An appropriate balance between hardness and toughness directly determines the structural strength and service life of the chisel shank (Bozkurt et al., 2021; Singh et al., 2020; Yazıcı, 2024). Owing to their high elastic limit and fatigue strength under repeated loading, spring steels are particularly suitable for the production of flexible chisel shanks. In this context, the use and wear behaviour of high-carbon spring steels and alloy spring steels, such as EN-42 and EN-47, in soil-engaging components have been evaluated in various studies (Malvajerdi, 2023). Nevertheless, material selection also depends on shank geometry and the manufacturing method employed. The ability to produce complex geometries as a single component without requiring additional joining processes makes cast steels an alternative material for chisel shanks. Accordingly, Barut and Özdemir (2024) investigated cast-steel chisel shanks in terms of their chemical composition, microstructure, hardness, and manufacturing characteristics.

In this study, the structural behaviour of two different chisel plough shank designs with four different steel materials was comparatively evaluated using finite element analysis. A total of

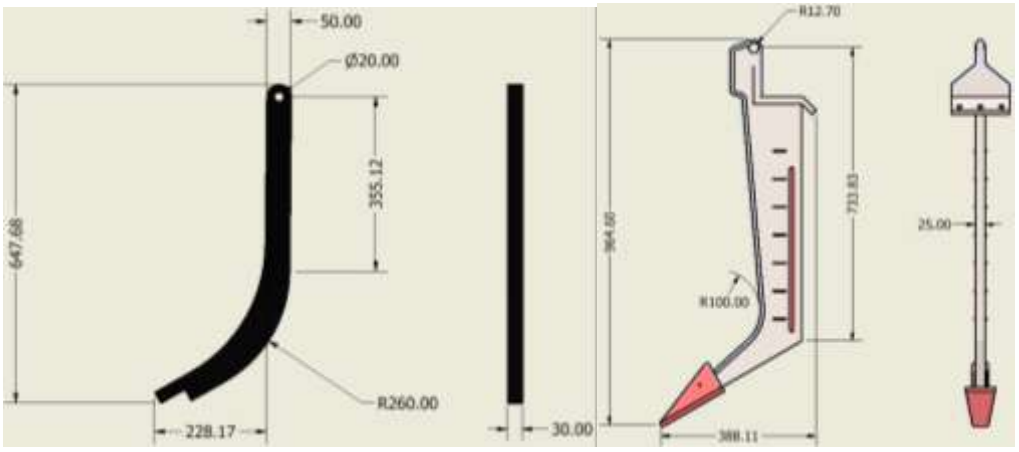
eight analysis models were considered, and a static load of 1.42 kN, selected based on experimentally measured draft force reported in the literature, was applied under identical loading and boundary conditions. The structural performance of the design and material alternatives was evaluated in terms of maximum von Mises stress, maximum displacement, and minimum safety factor. The results were used to compare the effects of shank geometry and material selection on structural performance under the specified loading condition. Surface hardness and wear behaviour were outside the scope of this study.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Designs and Materials

Chisel Designs

Two chisel plough shank designs with different geometrical configurations were evaluated in this study. Design 1 had a relatively simple curved profile, with a smooth and continuous transition from the main body to the lower working section. In contrast, Design 2 had a more complex geometry, with more pronounced changes in the direction of the shank and an angled transition between the lower body and the working point (Figure 1). Thus, the two designs mainly differed in their overall curvature, the form of the geometrical transitions, and the position of the working point relative to the shank body. The effects of these geometrical differences on stress distribution and displacement under static loading were compared using finite element analysis.



a b

Figure 1. Designs of the chisel plough shanks: (a) Design1 and (b) Design2.

Mechanical Properties of the Materials

Four different steel materials were used in the static finite element analyses: mild steel (Steel Mild), carbon steel (Steel Carbon), alloy steel (Steel Alloy), and cast steel (Steel Cast). The mechanical properties used in the analyses were obtained from the Autodesk Inventor material

library, and the corresponding yield strength, ultimate tensile strength, Young's modulus, and Poisson's ratio are presented in Table 1. The yield strength of the selected materials ranged from 207 to 350 MPa, the ultimate tensile strength from 300 to 420 MPa, and Young's modulus from 200 to 220 GPa. The same material properties were assigned to both shank designs to provide consistent conditions for comparison.

Table 1. Mechanical properties of the materials used in the static analysis

Material	Yield Strength (MPa)	Ultimate Tensile Strength (MPa)	Young's Modulus (GPa)	Poisson's Ratio
Steel Mild	207	345	220	0.275
Steel Carbon	350	420	200	0.290
Steel Alloy	250	400	205	0.300
Steel Cast	250	300	210	0.300

2.2. Static Finite Element Analysis

Finite element analyses were performed using Autodesk Inventor 2027 to determine the structural behavior of two different chisel plough shank designs under static loading. Two different shank geometries (Design 1 and Design 2) were evaluated. Four different steel materials, namely mild steel, carbon steel, alloy steel, and cast steel, were assigned separately to each design. The mechanical properties used in the analyses were obtained from the material library available in Autodesk Inventor. The load applied in the static analyses was determined based on the experimental study conducted by Çarman et al. (2021). The authors reported that the draft force of a chisel tine ranged from 0.50 to 1.42 kN under different operating conditions. Therefore, the highest reported draft force of 1.42 kN was used as the reference load in the static analyses to represent the maximum loading condition.

The three-dimensional models of the chisel plough shanks were transferred to the Stress Analysis environment, and a linear elastic static analysis was performed. Boundary conditions were defined to represent the actual mounting conditions of the shanks, and a Pin Constraint was applied to the pinned connection regions (Figure 2). The static load of 1.42 kN was applied in the working direction to represent the effect of soil resistance on the shank. To ensure comparability between the designs and materials, the load magnitude, loading direction, and boundary conditions were kept constant throughout the analyses.

Figure 2. Location and direction of the applied static load on the chisel plough shanks

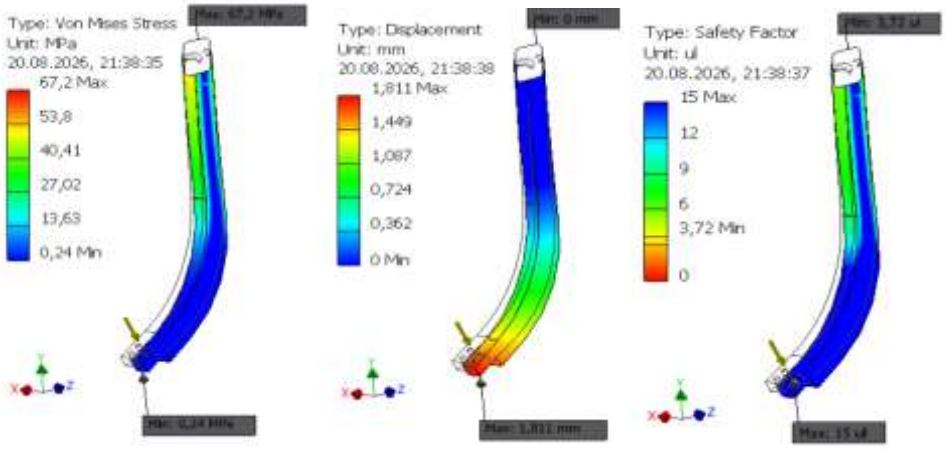
The finite element mesh was generated using the default mesh settings of Autodesk Inventor. The average element size was set to 0.1 of the model diameter, with a minimum element size of 0.2 of the average element size, a grading factor of 1.5, and a maximum turn angle of 60°. The same mesh settings were maintained for all design–material combinations to ensure consistent comparison. Each design–material combination was then analyzed separately, resulting in a total of eight static analyses for the two designs and four steel materials. Structural performance was evaluated based on maximum von Mises equivalent stress (MPa), maximum displacement (mm), and minimum safety factor. The calculated von Mises stresses were evaluated together with the yield strength of each material to assess the structural safety of the chisel plough shank designs under the applied static load.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Design 1 Results

Alloy Steel

For alloy steel, the highest von Mises stress was **67.20 MPa** and was mainly located in the lower working section of the shank, close to the load application region (Figure 3a). The displacement distribution increased toward the free end of the shank and reached a maximum of **1.811 mm** at the working end (Figure 3b). In contrast, almost no displacement occurred around the constrained upper connection. The minimum safety factor was **3.72**, showing thatthe stresses remained below the yield limit of the material (Figure 3c).

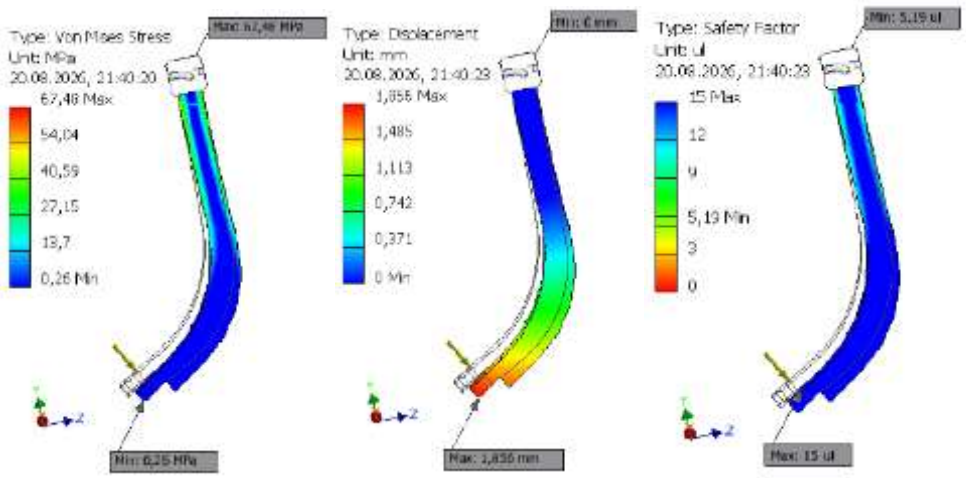


(a) (b) (c)

Figure 3. Static analysis results of Design 1 with alloy steel: (a) von Mises stress, (b) displacement, and (c) safety factor distributions.

Carbon Steel

A slightly higher maximum von Mises stress of **67.48 MPa** was obtained when carbon steel was assigned to Design 1 (Figure 4a). The stress concentration remained in the lower part of the shank, whereas the upper section was subjected to considerably lower stress levels. Carbon steel produced the largest displacement among the four materials, reaching **1.856 mm** at the working end (Figure 4b). Despite this displacement, the minimum safety factor reached **5.19**, the highest value obtained for Design 1 (Figure 4c).

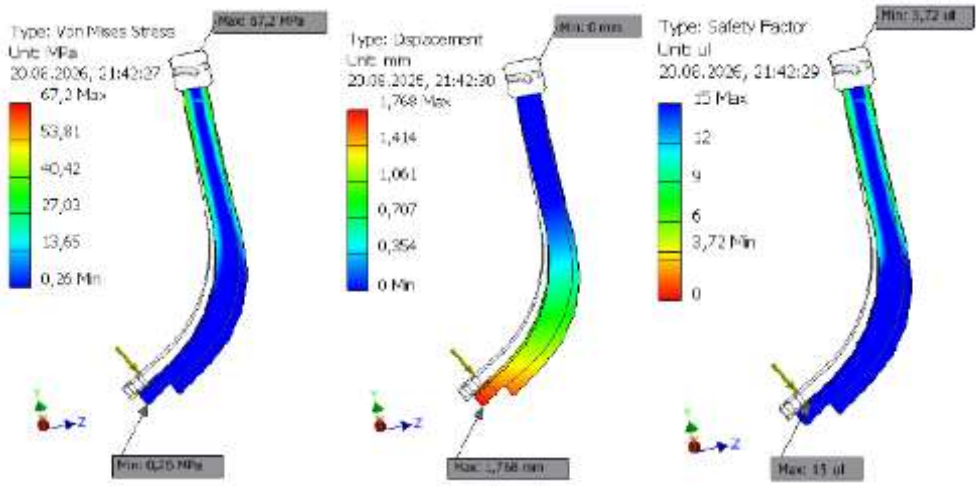


(a) (b) (c)

Figure 4. Static analysis results of Design 1 with carbon steel: (a) von Mises stress, (b) displacement, and (c) safety factor distributions.

Cast Steel

The stress distribution obtained with cast steel followed a similar pattern, with a maximum von Mises stress of 67.70 MPa in the lower region of the shank (Figure 5a). The corresponding maximum displacement was 1.768 mm, with deformation becoming progressively smaller toward the upper connection (Figure 5b). A minimum safety factor of 3.72 was calculated for this material (Figure 5c). Thus, cast steel provided a safety margin similar to that of alloy steel, while showing slightly lower displacement.

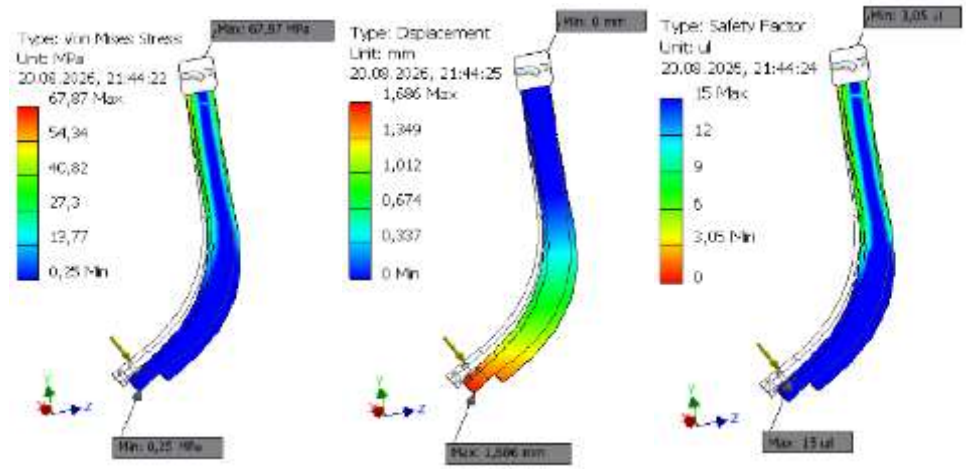


(a) (b) (c)

Figure 5. Static analysis results of Design 1 with cast steel: (a) von Mises stress, (b) displacement, and (c) safety factor distributions.

Mild Steel

Mild steel resulted in a maximum von Mises stress of 67.87 MPa, which was the highest value among the four materials, although the difference between materials was small (Figure 6a). On the other hand, its maximum displacement was only 1.686 mm, making it the lowest displacement obtained for Design 1 (Figure 6b). The minimum safety factor decreased to 3.05 (Figure 6c), primarily reflecting the lower yield strength of mild steel compared with the other materials. Although this value remained above the yielding limit, mild steel provided the smallest safety margin among the materials considered.



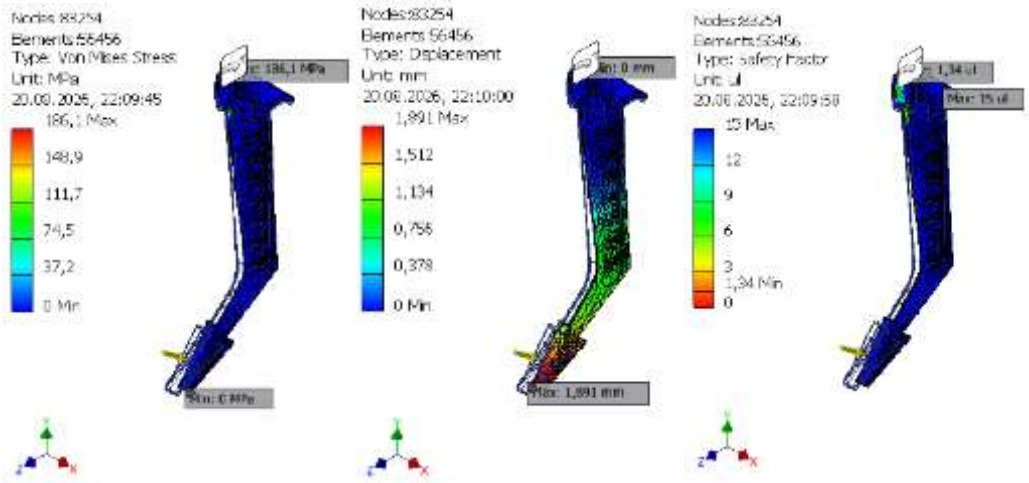
(a) (b) (c)

Figure 6. Static analysis results of Design 1 with mild steel: (a) von Mises stress, (b) displacement, and (c) safety factor distributions.

3.2. Design 2 Results

Alloy Steel

A different stress response was observed for Design 2 with alloy steel, as shown in Figure 8. The maximum von Mises stress reached 186.10 MPa, with the critical stress region occurring near the upper connection of the shank (Figure 7a). The deformation pattern extended along the shank toward the working end, where the maximum displacement was 1.891 mm (Figure 7b). The minimum safety factor decreased to 1.34 (Figure 7c), indicating a considerably smaller margin against yielding than that observed for Design 1. Although the safety factor remained above unity, the result shows that alloy steel in Design 2 operated much closer to its yield limit under the specified loading condition.

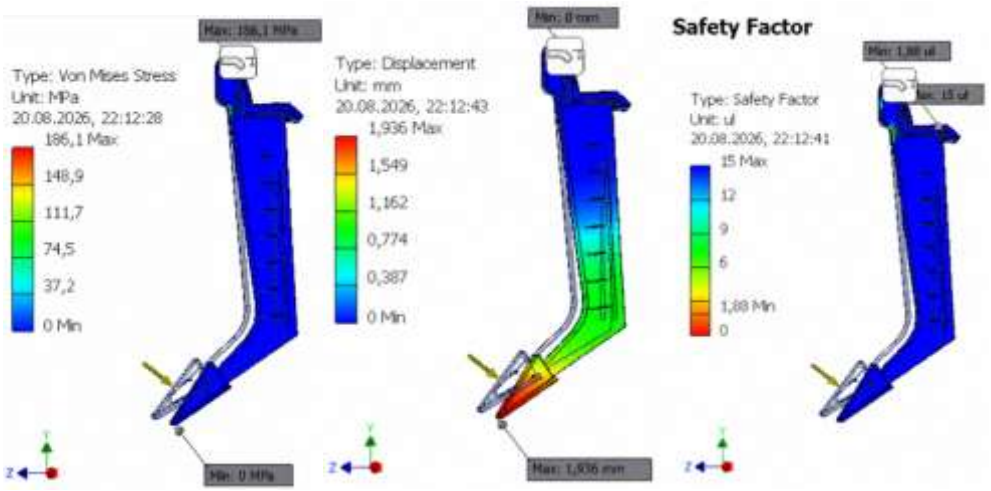


(a) (b) (c)

Figure 7. Static analysis results of Design 2 with Alloy steel: (a) von Mises stress, (b) displacement, and (c) safety factor distributions.

Carbon Steel

For carbon steel, Design 2 produced a maximum von Mises stress of 186.10 MPa, with the critical stress region located around the upper connection of the shank (Figure 8a). The displacement increased progressively toward the lower working section and reached 1.936 mm at the tip, representing the maximum deformation for this material (Figure 8b). In terms of structural safety, the minimum safety factor was 1.88 (Figure 8c). Compared with mild steel, carbon steel provided a noticeably greater safety margin despite the similar stress level. The safety factor remaining above unity indicates that the material did not reach its yield limit under the specified static loading condition.

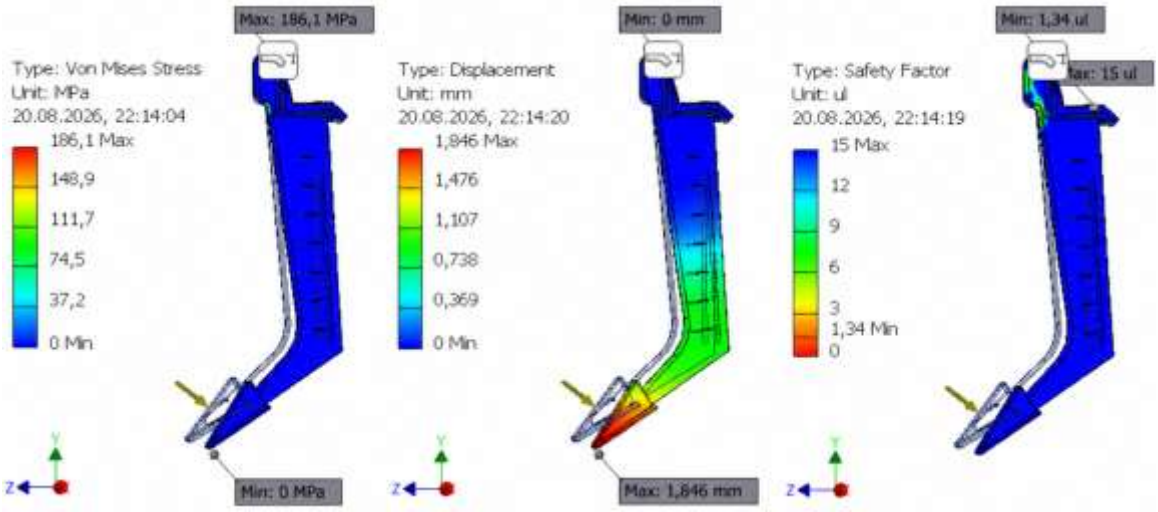


(a) (b) (c)

Figure 8. Static analysis results of Design 2 with carbon steel: (a) von Mises stress, (b) displacement, and (c) safety factor distributions.

Cast Steel

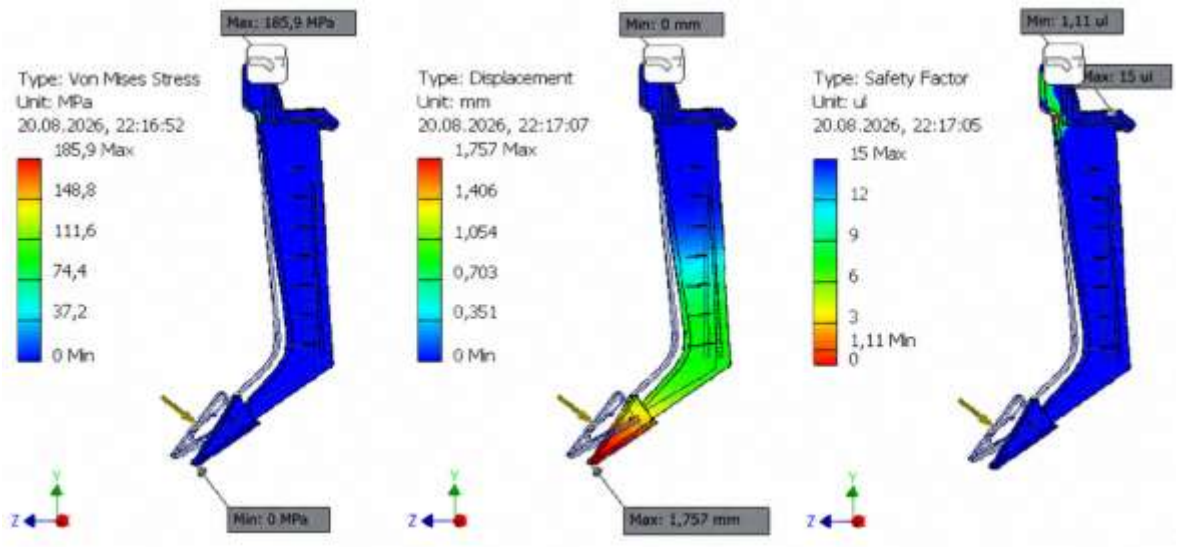
For cast steel, the stress pattern in Design 2 remained concentrated around the upper connection region, where the maximum von Mises stress reached 186.10 MPa (Figure 9a). A maximum displacement of 1.846 mm was observed at the lower working end, while the constrained upper section showed almost no displacement (Figure 9b). The minimum safety factor was calculated as 1.34, with the lowest values occurring in the region subjected to the highest stress (Figure 9c). Although this value indicates that the shank remained within the elastic range, the relatively low safety factor suggests a limited margin against yielding for cast steel in Design 2.



(a) (b) (c)

Figure 9. Static analysis results of Design 2 with cast steel: (a) von Mises stress, (b) displacement, and (c) safety factor distributions.

Among the results obtained for Design 2, mild steel showed a maximum von Mises stress of 185.90 MPa, with the highest stress occurring near the upper connection region (Figure 10a). The displacement distribution became more pronounced toward the lower working section, reaching a maximum value of 1.757 mm at the tip (Figure 10b). This was accompanied by a minimum safety factor of only 1.11 (Figure 10c), indicating that the stress level approached the yield strength of mild steel. Although the safety factor remained slightly above unity, the small margin suggests that mild steel offers limited structural safety for Design 2 under the specified loading condition.



(a) (b) (c)

Figure 10. Static analysis results of Design 2 with mild steel: (a) von Mises stress, (b) displacement, and (c) safety factor distributions.

Evaluation of the Designs

Overall, changing the steel material had only a limited effect on the maximum stress and displacement of Design 1. Maximum von Mises stress varied within a narrow range of 67.20–67.87 MPa, while maximum displacement ranged from 1.686 to 1.856 mm. In contrast, a clearer difference was observed in the safety factor, which ranged from 3.05 for mild steel to 5.19 for carbon steel. Although carbon steel showed the highest displacement, the difference in displacement between the materials was relatively small. Considering the similar stress and displacement responses together with the substantially higher safety factor, carbon steel provided the most favorable structural performance among the four materials evaluated for Design 1. The choice of steel material produced little variation in the stress response of Design 2, with maximum von Mises stress values ranging only from 185.90 to 186.10 MPa. Maximum displacement showed slightly greater variation, ranging from 1.757 mm for mild steel to 1.936

mm for carbon steel. The effect of material selection was more evident in the safety factor, with values of 1.11, 1.34, 1.34, and 1.88 for mild steel, alloy steel, cast steel, and carbon steel, respectively. Mild steel was therefore the closest to the yielding condition, whereas carbon steel provided the largest margin against yielding. Despite having the highest displacement, carbon steel can be considered the most suitable material for Design 2 from a structural safety perspective because of its minimum safety factor of 1.88. The difference between the two shank geometries became particularly clear when the minimum safety factor was considered. Design 1 provided safety factors ranging from 3.05 to 5.19, whereas considerably lower values of 1.11–1.88 were obtained for Design 2. Among all design–material combinations, Design 1 with carbon steel showed the highest safety factor (5.19), indicating the greatest margin against yielding under the applied static load. Therefore, based primarily on the safety factor criterion, Design 1 with carbon steel was identified as the most favorable combination for the loading condition considered in this study. Isildar and Uzun (2026) analyzed St 37 and St 44 steels and reported that both materials showed the same stress and displacement values, whereas their safety factors differed due to differences in yield strength. St 44 provided a higher safety factor and was therefore recommended for use in critical regions. Al-Najjar and Jasim (2024) compared three different chisel plough tine designs under the same material and loading conditions and found that stress and deformation varied depending on the tine geometry. The shovel-type tine showed lower stress and deformation than the other designs, indicating that geometry plays an important role in the structural performance of chisel plough tines.

4. CONCLUSIONS

This study demonstrated that both shank geometry and material selection influenced the structural performance of the chisel plough shanks under static loading. Although the differences in maximum displacement among the steel materials were relatively small, a clear distinction between the two designs was observed in terms of stress level and, particularly, safety factor. Design 1 achieved minimum safety factors ranging from 3.05 to 5.19, whereas Design 2 showed considerably lower values ranging from 1.11 to 1.88. Carbon steel provided the highest safety factor in both designs, reaching 5.19 in Design 1 and 1.88 in Design 2. Based on safety factor as the primary design criterion, Design 1 with carbon steel provided the most favourable structural performance among the evaluated design–material combinations under the specified loading condition. These findings highlight the importance of considering both shank geometry and material properties when designing tillage components subjected to mechanical loading.

REFERENCES

Al-Janobi AA, Wahby MF, Aboukarima AM, Al-Hamed SA. (2002). Influence of chisel plow shank shape on horizontal and vertical force requirements. Journal of Agricultural and Marine Sciences 7, 13–19.

Al-Najjar SQJ, Jasim HA. (2024). Analysis of chisel plough shovel designs using finite element methods. Iraqi Journal of Industrial Research 11(2), 41–52. https://doi.org/10.53523/ijoirVol11I2ID393

Barut ZB, Özdemir S. (2024). A research on metal and metallurgical properties of chisel plough shanks. BIO Web of Conferences 85, 01007.

Bozkurt F, Çakır FH, Er Ü. (2021). Investigation of the tribological and mechanical properties of boron steels in terms of potential usage in agricultural applications. Politeknik Dergisi 24(2), 431–438.

Çarman K, Marakoğlu T, Taner A, Çıtıl E. (2021). Prediction of draft force and disturbed soil area of a chisel tine in soil bin conditions using draft force and its comparison with regression model. Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences 35(1), 56–64. https://doi.org/10.15316/SJAFS.2020.229

Cavalaris C, Gemtos T, Karamoutis C. (2023). Rotational tillage practices to deal with soil compaction in carbon farming. Soil Systems 7(4), 90.

Isildar Y, Uzun RO. (2026). Stress and fatigue analysis of the spray boom of a hanging type field sprayer. Duzce University Journal of Science and Technology 14(2), 352–363. https://doi.org/10.29130/dubited.1789186.

Malvajerdi AS. (2023). Wear and coating of tillage tools: A review. Heliyon 9(6), e16669 https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e16669

Singh TP, Singla AK, Singh J, Singh K, Gupta MK, Ji H, Song Q, Liu Z, Pruncu CI. (2020). Abrasive wear behavior of cryogenically treated boron steel (30MnCrB4) used for rotavator blades. Materials 13(2), 436.

Yazıcı A. (2024). Wear on steel tillage tools: A review of material, soil and dynamic conditions. Soil and Tillage Research 242, 106161.

STRONSİYUM SİTELERE NANO BOYUTTA ZN KATKISININ AKI ÇİVİLEME ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE ROLÜ

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet Ersin AYTEKİN
Tarsus University, Vocational School of Technical Sciences at Mersin Tarsus Organized Industrial Zone, Electronic and Automation, 33100 Tarsus, Mersin
ORCID ID: 0000-0003-0731-2034

ÖZET

Bu çalışmada, başlangıç bileşimi $Bi_2Sr_{(2-x)}Zn_xCa_1Cu_2O_y$ (x = 0,00, 0,0125, 0,0250, 0,050, 0,075 ve 0,1) olan seramik süperiletken örneklerin manyetik akı çivileme özellikleri araştırılmıştır. Seramik süperiletkenlerin fiziksel özellikleri X-ışını kırınımı (XRD), taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılım spektrumu (EDS) ölçümleriyle karakterize edilmiştir. Numunelerin elektriksel ve manyetik özellikleri R-T ve M-H ölçümleriyle karakterize edilmiştir. Kritik akım yoğunluğu (*Jc*) ve manyetik akı çivileme kuvvetleri (*Fp*), M-H ölçümleri kullanılarak teoriksel olarak hesaplanmıştır. X-ışını kırınımı ölçümleri, minör safsızlık fazlarının varlığına rağmen, temel faz yapısının Bi-2212 süperiletkeni olduğunu ortaya koymuştur. Nano boyutlu Zn stronsiyum bölgelerine ikame edilmesine bağlı olarak, Bi-2212 fazının yoğunluğunda ve şiddetinde değişiklikler gözlemlendi. Faz yapısının, diğer örneklere karşılaştırılması ile, stronsiyum bölgelerine x = 0.1 oranında nano boyutlu Zn katkısıyla geliştiği bulundu. Taramalı elektron mikroskobu, örneklerde Bi-2212 süperiletkenlerinin karakteristik bir özelliği olan plaka benzeri tanelerin varlığını ortaya koydu. Nano boyutlu Zn'nin stronsiyum bölgelerine katkılanması sonucuydu, plaka benzeri taneler gelişmiştir. x = 0,1 ikamesi olan örnekte güçlü bağlarla bağlanmış, büyük, plaka benzeri taneler görüldü. Örneklerin EDS sonuçları, üretim koşullarına uygun olarak homojen bir element dağılımı göstermektedir. Örneklerin süperiletkenlik geçiş sıcaklıkları (*Tc*), direnç sıcaklığı ölçümleri (R-T) ile belirlendi. En yüksek T_c^{offset} değeri olan 48 K, morfolojik ve faz yapısı iyileştirmelerine bağlı olarak, x = 0,1 oranında nano boyutlu Zn içeren örnekte elde edildi. Örneklerin manyetik karakterizasyonu M-H ölçümleriyle gerçekleştirildi. Nano boyutlu Zn'nin x = 0,1 konsantrasyonunda katkılanması sonucunda, morfolojik yapıdaki değişiklikler ve manyetik alan çivileme özelliklerinin gelişmesiyle ilgili olarak histerezis döngüsünde bir artış gözlemlendi. *Jc*, örneklerde Bean akım modeli kullanılarak M-H ölçümlerinden teorik olarak hesaplandı. Nano boyutlu Zn parçacıklarının (x = 0.1) manyetik alan sabitlemesine katkısı ve morfolojik özelliklerin gelişmesi sonucunda, 25 K sıcaklıkta ve 20000 Oe manyetik alan altında 65,55 x 10^5 A/cm² *Jc* değeri elde edildi. Akı tutma kuvveti (*Fp*), akı çivileme merkezi görevi gören nano boyutlu Zn'nin x = 0,1 oranında katkılanması ile artırılmıştır.

Anahtar kelimeler: $Bi_2Sr_2Ca_{1-x}(ZnO)_xCu_{1.75}Na_{0.25}O_y$; Nano Zn; Akı Çivileme; Manyetik Histerezis Döngüsü;

THE ROLE OF NANO-SIZED ZN SUBSTITUTING IN STRONTIUM SITES ON FLUX PINNING PROPERTIES

ABSTRACT

In the present study, the pinning properties of ceramic superconducting samples with an initial composition of $Bi_2Sr_{(2-x)}Zn_xCa_1Cu_2O_y$ (x = 0.00, 0.0125, 0.0250, 0.050, 0.075, and 0.1) were investigated. The physical properties of ceramic superconductors were characterized by X-Ray diffraction (XRD), scanning electron microscopy (SEM) and energy dispersion spectrum (EDS) measurements. The electrical and magnetic properties of the samples were characterized by R-T and M-H measurements. The critical current density *(Jc)* and the flux pinning forces *(Fp)* were calculated using M-H measurementsThe X-ray diffraction observations revealed the fundamental phase structure to be the Bi-2212 superconductor, despite the presence of small impurity phases. Depending on the nano-sized Zn substituting of strontium sites, changes in the intensity and density of the Bi-2212 phase were observed. The phase structure was found to be improved by nano-sized Zn substituting at a ratio of x = 0.1 to strontium sites, in comparison to other examples. Scanning electron microscopy revealed the presence of plate-like grains in the samples, which is a characteristic feature of Bi-2212 superconductors. The growth of plate-like grains was the result of nano-sized Zn substituting into strontium sites. Strongly bonded, large, plate-like grains were seen in the sample with x = 0.1 substituting. EDS results of the samples show homogeneous elemental distribution in accordance with the production conditions. The superconductivity transition temperatures of the samples were determined by resistivity temperature measurements (R-T). The highest T_c^{offset} value of 48 K was obtained in the sample containing nano-sized Zn at a ratio of x = 0.1, depending on morphological and phase structure improvements. Magnetic characterization of the samples was carried out by M-H measurements. As a result of substituting Zn at a concentration of x = 0.1 at the nano-sized, an increase in the hysteresis loop was observed, related to changes in the morphological structure and the development of pinning properties. The Jc was theoretically calculated from M-H measurements using the Bean current model in the samples. As a result of the contribution of nano-sized Zn particles (x = 0.1) to flux pinning and the development of morphological properties, a value of 65.55 x 10^5 A/cm² *Jc* was obtained at 25 K temperature and under a magnetic field of 20000 Oe. The flux pinning force (*Fp*) was increased by substituting nano-sized Zn at a ratio of x = 0.1, acting as a flux pinning center.

Keywords: $Bi_2Sr_2Ca_{1-x}(ZnO)_xCu_{1.75}Na_{0.25}O_y$; Nano Zn; Flux Pinning; Magnetic-hysteresis loop;

1. INTRODUCTION

Bi–Sr–Ca–Cu–O (BSCCO) high-temperature superconductors have been the subject of extensive research for many years due to their potential technological applications, which relate to their relatively high critical temperature values and high magnetic field carrying capacities [1, 2]. The $Bi_2Sr_2CaCu_2O_{8+\delta}$ (Bi-2212) phase, which belongs to BSCCO amily, has advantages such as easy synthesizability, exhibiting a high-temperature superconductivity transition (*Tc*), and being able to be produced in cable forms [3, 4]. Although the Bi-2212 system offers significant advantages in applications such as energy transmission, superconducting devices operating under magnetic fields, current limiters, and high-field magnets, the main factors limiting its practical use include high anisotropy, weak intergranular coupling, eddy motion under magnetic fields, and the resulting decrease in *Jc* [5, 6]. Thus, enhancing Bi-2212 devices' superconducting performance especially when magnetic fields are present remains a crucial area of study. In the Bi-2212 phase, which belongs to the type II superconductor class, the magnetic flux penetrates the material in the form ofquantized vortices when the applied magnetic field exceeds the subcritical field value [7, 8]. Lorentz forces cause vortices to move, and if they are not stabilized by appropriate pinning centers, energy losses take place. The decrease in critical current density caused by vortex motion weakens the superconducting performance [9]. Strengthening the flux-pinning mechanism is crucial for raising the critical current density in Bi-2212 superconductors, especially when it concerns preserving stable superconducting behavior in the presence of magnetic fields [10]. Conversely, the highly anisotropic nature of the BSCCO system allows vortices to move more easily under thermal conditions, resulting in an even more critical flux pinning problem. Various methods to improve the flux pinning properties in Bi-2212 superconducting systems have been proposed in the literature. The most noteworthy of these methods are chemical substitution and nano-sized substitution [11, 12]. Nano-sized addition/substituting methods not only introduce new pinning centers into the material but can also have significant effects on crystal structure, phase formation, grain morphology, oxygen stoichiometry, and intergranular bonding properties. In high-temperature superconductors in particular, where the coherence length is on the order of nanometers, nano-sized dopants can form dimensionally more compatible pinning centers with the vortex core, thus more effectively limiting the movement of magnetic flux [13-15]. Sistem içerisinde bu tür gelişmeler kritik sıcaklık (*Tc*), kritik akım yoğunluğu (*Jc*), irreversibilite alanı

ve hacimsel pinning kuvveti gibi süperiletken parametrelerin doğrudan etkilenmesine yol açmaktadır. [14, 16] [17].

A previous study investigated the superconducting properties of the $Bi_2Sr_{2-x}Zn_xCa_1Cu_2O_y$ system and detected an improvement in these properties with nano-sized Zn substituting at an x value of 0.1 [18]. This study investigates the role of nano-sized zinc susbtituting on flux pinning behavior and critical current density in Bi-2212 superconducting systems.

2. MATERIAL AND METHODS

Ceramic samples with the structure $Bi_2Sr_{2-x}Zn_xCa_1Cu_2O_y$ (x =0.00; 0.0125; 0.0250; 0.050; 0.075 and 0.1) were produced by the solid-state reaction method. First, to ensure the stoichiometric ratio of $Bi_2Sr_{2-x}Zn_xCa_1Cu_2O_y$, high-purity precursor powders Bi_2O_3 (Thermo, 99%), $SrCO_3$ (Thermo, 99%), $CaCO_3$ (Thermo, 99%), CuO (Thermo, 99%), $NaCO_3$ (Thermo, 99%), and ZnO (Thermo, 98.5+%) were weighed in appropriate proportions. To ensure the mixture of high-purity precursor powders was homogeneous, the agate was ground by hand in a mortar. After grinding, the homogeneous powders were pressed under a pressure of 375 MPa to form pellets with a diameter of 2.9 cm. The first calcination process was carried out by thermal treatment of the pelletized samples at 720°C for 12 hours. After calcination, the pelleted samples were ground in an agate mortar and pressed under a pressure of 375 MPa. Subsequently, a heat treatment of 820°C was applied for 12 hours to initiate the formation of Bi-2212 high-temperature phases. This process, which included grinding, pressing, and calcination, was repeated two more times. In the BSCCO superconducting system, the material must be sintered over extended periods to ensure the complete formation of the Bi-2212 superconducting phase and to minimize impurity phases. After grinding and pressing under 375 MPa pressure, the samples were sintered at 850°C for 120 hours. After this stage, the characterization processes began.

The samples were named according to their nano-sized Zn susbtituting ratios: Sample A (x = 0.00), Sample B (x = 0.0125), Sample C (x = 0.025), Sample D (x = 0.5), Sample E (x = 0.075), and Sample F (x = 0.1).

Resistivity and magnetic investigations were performed using a Physical Property Measurement System (PPMS), which is capable of reaching cryogenic temperatures of approximately 2 K in a closed-loop helium system and operates within the temperature range of 5-150 K. X-ray powder diffraction analyses were performed to determine the phases present in the samples using a Rigaku MiniFlex X-ray Diffractometer with a constant scan rate (2°/min)

in the range of 2θ = 3°–60°. The granular structure of the ceramic samples was investigated using a Quanta 650 Field Emission (SEM).

3. RESULTS AND DISCUSSION

X-ray diffraction measurements were performed to identify the phases formed in the ceramic superconducting samples. Figure 1 shows X-ray diffraction measurements of samples substituted with nano-sized zinc at different ratios [18]. X-ray diffraction measurements revealed that the Bi-2212 superconducting phase is the primary phase structure in all samples. In addition, $CaBi_2O_4$ and SrZn impurity phases are formed as secondary phase structures, respectively. In ceramic superconducting systems, a low percentage of impurity phase and high intensity characteristic peaks can indicate a good crystallization process [19]. Additionally, the presence of nanoparticles and the formation of impurity phases in specific proportions within the superconducting system can enhance flux pinning mechanisms and augment *Jc* performance [20].

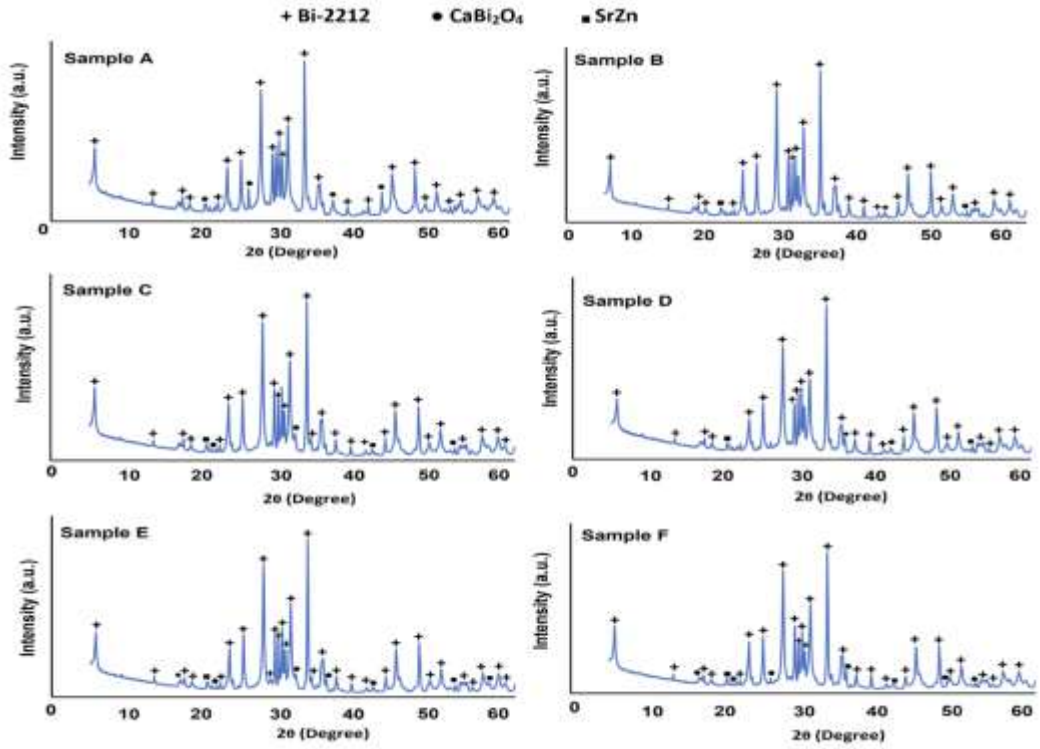


Figure 1. X-ray Diffraction (XRD) Patterns of Ceramic Superconducting Samples [18]

The X-ray diffraction results indicate that while there were no notable alterations in the locations and intensities of the phases in samples with varying ratios of nano-sized Zn, a little variation in the quantity of impurity phases was detected. These changes in the phase structure may indicate a change in the superconductivity performance of the samples. Although a minor-

level impurity phase forms in all samples, the basic phase structure remains the Bi-2212 high-temperature superconducting phase. The effect of nano-sized zinc substitution on strontium sites on phase formation was detailed in a previous article [18]. Compared to the other samples, sample F (with nano-sized Zn substituted at x = 0.1) showed a decrease in the peak intensities of the impurity phases. Additionally, sample F exhibited increased intensities of the characteristic peaks of the Bi-2212 high-temperature phase. In sample F, the presence of nano-sized zinc at a substitution ratio of x = 0.1 may indicate an improvement in the superconducting phase structure. Therefore, improvements in electrical and magnetic properties can be anticipated.

A grain's average size is determined by the Debye–Scherrer equation [21]

$$\frac{\kappa\lambda}{\beta\cos\theta} \quad (1)$$

where β is the peak complete width at half maximum (in radians) at the measured peak angle θ, λ is the x-ray wavelength (CuKa=1.5406 Å), and κ is the crystallite form factor (0.94).

The change in crystal size values in samples containing different proportions of nano-sized Eu particles was calculated using the Williamson–Hall equation given below [22, 23].

$$\beta_{HKL}cos\theta = \frac{\kappa\lambda}{D} + 4\varepsilon sin\theta \quad (2)$$

Where D is the crystallite size, κ equal to 0.9 where it is a dimensionless shape factor, $\beta_{HKL}$is the full width at half maximum (FWHM), λ is the wavelength of X-ray (1.5406 Å) and θ is the Bragg angle. Also, ε is strain. Debye–Scherrer (nm), Williamson-Hall (nm) and Micro strain are shown in Table 1.

Table 1. Crystal Parameters of Ceramic Samples

Sample	Debye–Scherrer (nm)	Williamson-Hall (nm)	Micro strain
Sample A	31.08	117	0.00119
Sample B	37.57	2400	0.000056
Sample C	35.75	1140	0.000121
Sample D	33.81	317	0.000456
Sample E	35.64	322	0.000431
Sample F	34.94	2510	0.0000535

The results calculated from the Williamson-Hall equation show that an increase in crystal size occurred due to the increased contribution of Zn nanoparticles . Conversely, as the amount of

Zn nanoparticles increased, the strain values also changed. As shown in Table 1, high strain amounts were obtained in samples containing x = 0.1 Zn nanoparticles.

As is well-known in the literature, an increase in internal stress in ceramic samples can lead to an increase in the number of crystal defects that can act as flux pinning centres [24]. In conclusion, examining the results in Table 1 shows that it is possible to increase the flux pinning forces (*Fp*) in the system. The increasing stress values in Table 1 show that nano-sized zinc particles could be used as flux pinning centres to maintain critical current density performance in the material under high magnetic fields.

The grains that form the morphological structure of ceramic superconductors can exhibit different properties in terms of shape and size due to different processes. Scanning electron microscopy (SEM) measurements were performed to investigate the effect of different Zn substitution ratios on grain formation in the samples. The SEM measurement results for ceramic samples are shown in Figure 2.

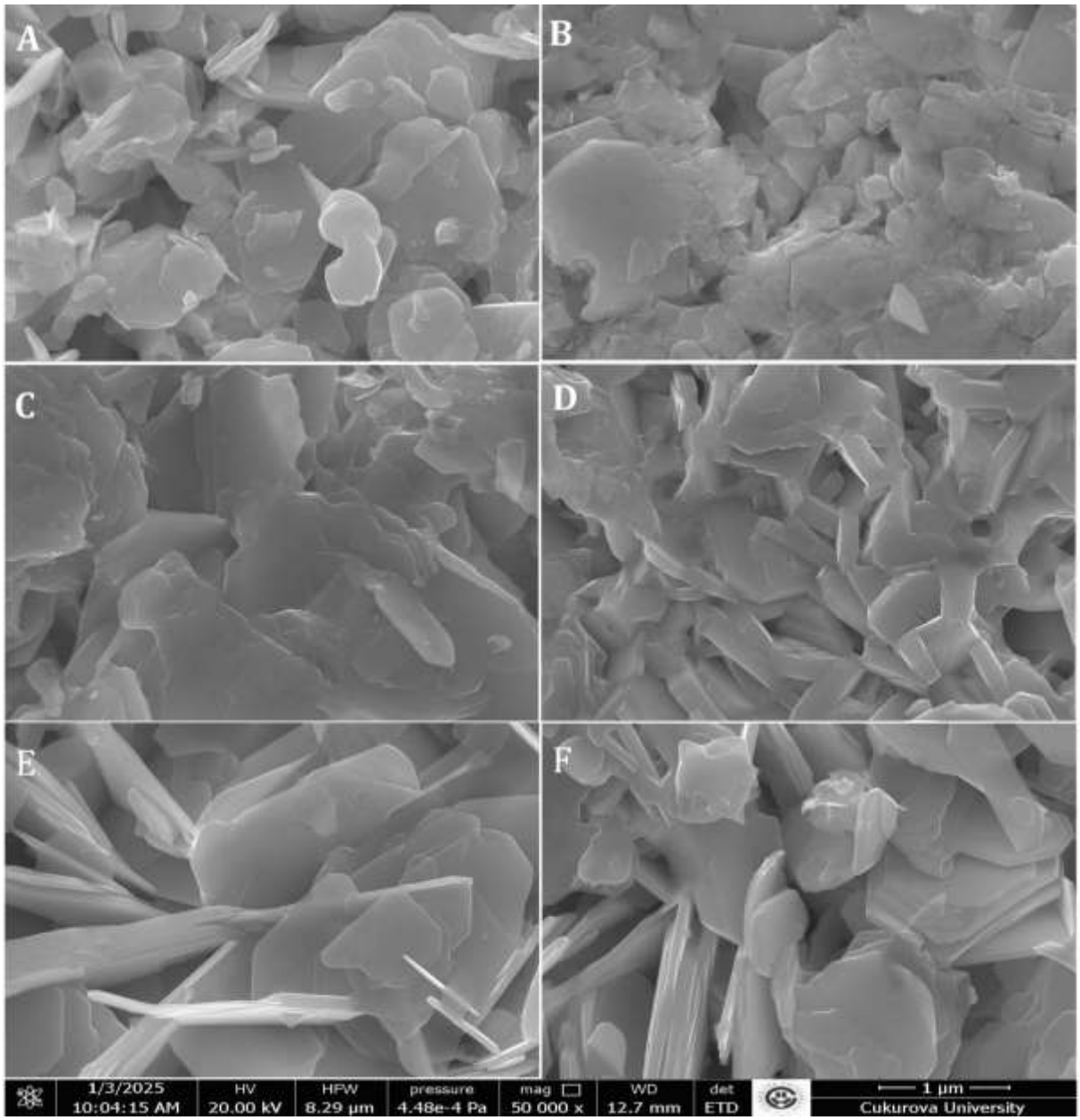


Figure 2. Electron Microscopy Measurement Results of Ceramic Superconducting Samples

Plate-like grains, characteristic grain behavior of the Bi-2212 high-temperature superconducting phase, were observed in all samples [25]. Furthermore, in all samples produced by the solid-state reaction method, randomly oriented grains were formed, separated from each other by grain boundaries. On the other hand, the contrast state of the grains in morphological structure analyzes can also provide information about superconducting phases. As is well known from the literature, the formation of gray contrast regions in the surface morphology of BSCCO ceramic superconducting materials indicates the Bi-2212 superconducting phase structure, while dark gray regions indicate the formation of bismuth-free impurity phases [26]. All samples showed plate-like grain structures with mostly gray

contrast, which are characteristic of the Bi-2212 superconducting phase and consistent with X-ray diffraction observations.

Elemental analysis was performed on Bi-2212 ceramic superconducting samples, produced by substituting nano-sized Zn in different ratios, to verify that the components forming the crystal structure were distributed in appropriate proportions within the samples. Figure 3 shows the EDS results of the samples.

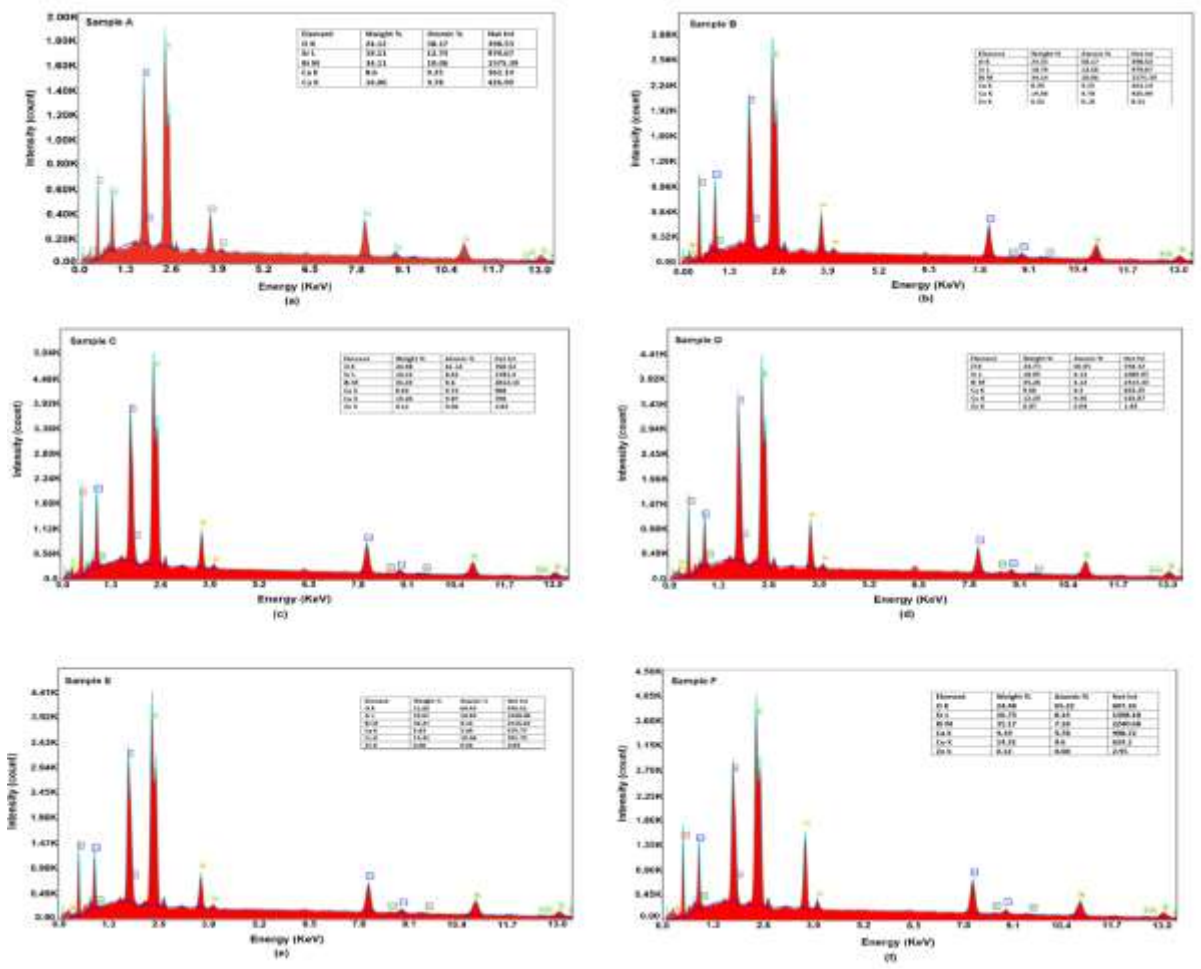


Figure 3. Results of EDS analysis of ceramic superconductor

EDS analysis has revealed the presence of the following elements in the Bi-2212 superconductor: bismuth (Bi), strontium (Sr), calcium (Ca), copper (Cu), zinc (Zn) and oxygen (O). While no peak corresponding to the zinc (Zn) element is observed in the unsubstituted $Bi_2Sr_2CaCu_2O_y$ sample, the characteristic signals corresponding to the dopant element are clearly visible in the zinc-substituted samples. This demonstrates that nanoscale zinc was successfully incorporated into the starting composition and that no significant contamination occurred during the synthesis process. The EDS data show that the material has largely

achieved the target chemical composition, with the elements exhibiting a homogeneous distribution within the structure at the target stoichiometric ratio.

EDS results can also determine the ratio of nanoparticles capable of forming flux-pinning centers, which can help maintain magnetization performance under high magnetic fields in the samples. Furthermore, the changes in oxygen content that occur as the rate of nanoscale Zn substitution increases suggest that the critical oxygen stoichiometry of high-temperature superconductors may be affected. The EDS results allow us to determine the ratio of Zn nanoparticles needed for oxygen stoichiometry and flux pinning force.

The superconductivity transition temperature values of the samples are presented in Table 2.

Table 2. Superconductivity Transition Temperature Values of Ceramic Superconducting Samples [18]

Sample	T_c^{onset} ***(K)***	T_c^{offset}***(K)***	ΔTc ***(K)***
Sample A	80.44	42.27	38.17
Sample B	71.08	38.29	32.79
Sample C	69.37	38.46	30.91
Sample D	68.87	36.27	32.60
Sample E	65.12	31.05	34.07
Sample F	63.42	48.00	15.42

Different ratios of zinc substituting for strontium in ceramic superconducting samples resulted in variations in phase structure and morphological properties. These changes resulted in the superconducting transition exhibiting different behaviours at different temperatures. In agreement with X-ray diffraction and scanning electron microscopy measurements, the highest value for the superconductivity transition temperature was obtained with nano-sized Zn substituting at a ratio of x = 0.1, leading to improvements in phase structure and morphological characteristics.

M-H measurements were performed to investigate the effect of nano-sized zinc substitution on strontium sites in the Bi-2212 superconducting system on magnetic properties. The M-H measurements, which were carried out at two different temperatures (15 K and 25 K) under a magnetic field of ±20000 Oe, are shown in Figures 4 and 5, respectively.

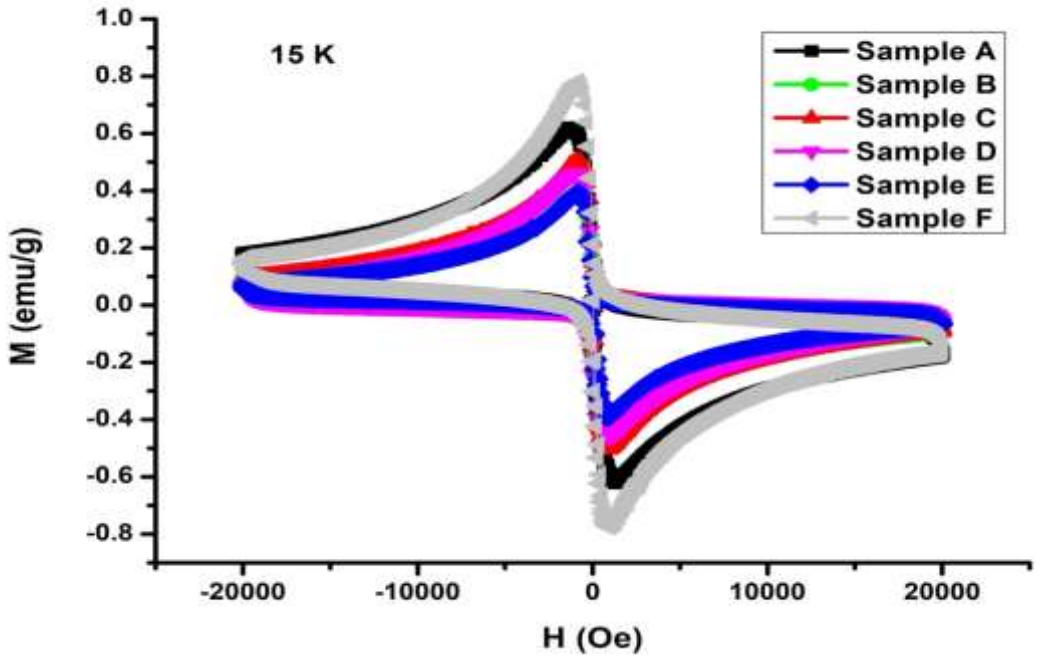


Figure 4. Magnetization results of ceramic superconductors at 15 K temperature [18]

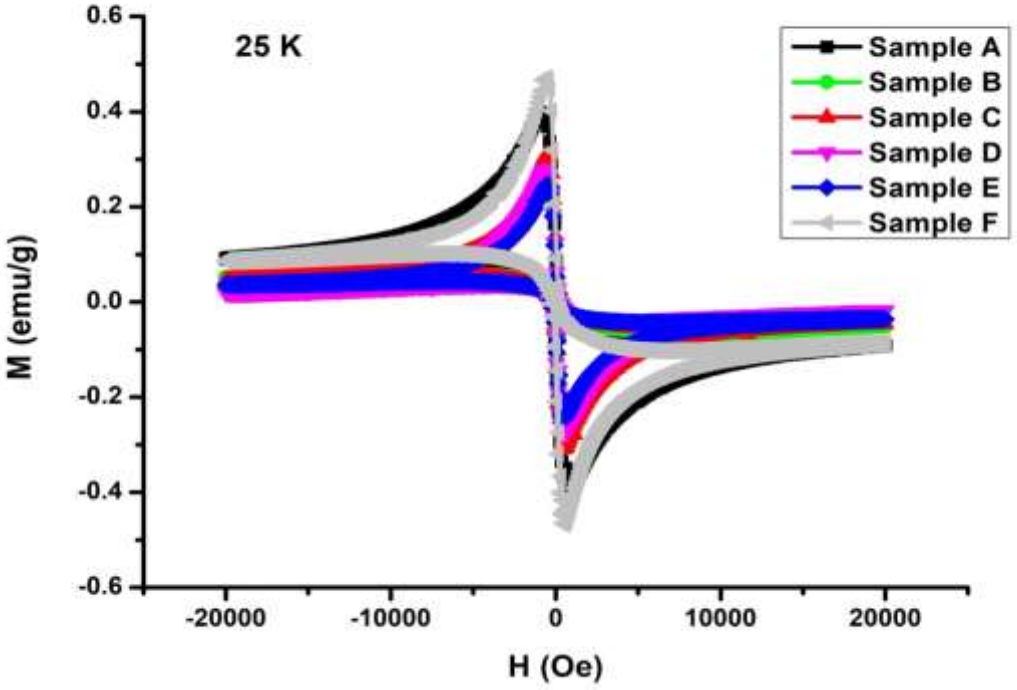


Figure 5. Magnetization results of ceramic superconductors at 25 K temperature [18]

As is well known, in order to increase the use of ceramic superconducting materials, which have higher magnetic capacities than conventional magnets, in technology, their magnetic performance must be sustainable at high temperatures.

As is well known, in order to increase the use of ceramic superconducting materials, which have higher magnetic capacities than conventional magnets, in technology, their magnetic performance must be sustainable at high temperatures. Positive impacts on magnetic properties may result from the morphological structure's plate-like grains forming strong connections with one another and from fewer grain borders [28, 29]. In M-H measurements, the broadening of the closed-loop hysteresis field is a characteristic behaviour of Bi-2212 superconductors and may indicate an improvement in magnetic properties [30, 31]. Because nano-sized particles settle in the gaps and strengthen the connections between grains, magnetic properties are especially enhanced. Figures 4 and 5 demonstrate the expansion of the hysteresis field, which indicates an improvement in the magnetic properties of the nanoscale Zn-substituted sample at both temperatures (x = 0.1). Furthermore, in BSCCO ceramic superconducting systems, a crucial parameter for maintaining magnetic performance at high temperatures is the formation of pinning centres, which minimise the interaction between magnetic flux lines and superconducting regions. Improvements in pinning properties can lead to an increase in higher magnetic field carrying capacities (*Hc*). In M-H measurements, sample F with x = 0.1 substitution exhibited the best magnetic properties compared with other samples.

The *Jc* value in ceramic superconducting systems is dependent on the free motion of electron pairs and the lack of obstacle-induced scattering. Thus, the behavior of plate-like grains can influence the free motion of electron pairs in ceramic superconductors having a layered morphological structure. Electron scattering is minimised by the formation of strong bonds between large, plate-like grains. Therefore, minimizing morphological defects is necessary to achieve a high *Jc* value.

The critical current density (*Jc*) values in ceramic superconducting samples were theoretically calculated from M-H measurements using the Bean model [32]. Figure 6 and Figure 7 show the *Jc* values calculated from M-H measurements at temperatures of 15 K and 25 K, respectively.

$Jc = 30\ (\Delta M/d)$
(1)

The intergranular magnetization current density, expressed in amperes per square centimeter, is marked by *Jc*. Measured in electromagnetic units per cubic centimeter, ΔM = M+ - M-. The sample's thickness is denoted by d.

In order to further enhance the technological applications of BSCCO superconducting materials, it is necessary to improve their ability to maintain *Jc* performance in the presence of high magnetic fields. These properties can only be achieved with advanced flux-pinning mechanisms, which prevent the externally applied magnetic field from penetrating the material. Many researchers are conducting research into ways of improving flux pinning forces. Figures 6 and 7 show that the *Jc* values calculated at both temperatures are higher for the sample with nano-sized Zn substituting at x = 0.1 than for the other samples. The *Jc* values improved due to the addition of nano-sized Zn nanoparticles at a ratio of x = 0.1, which contributed to improved intergranular connections and increased the density of superconducting phases.

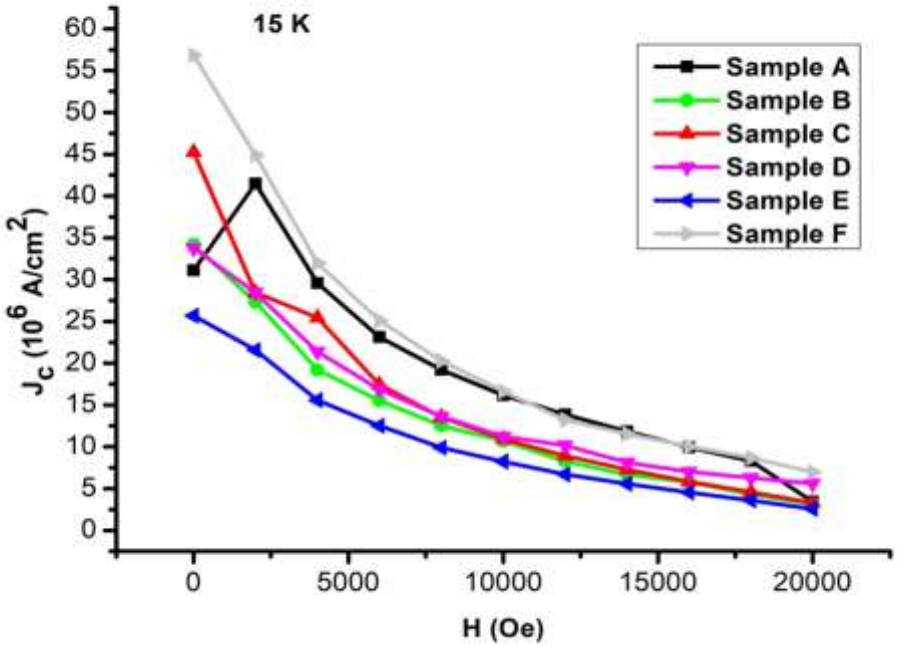


Figure 6. Calculated Jc values based on M-H measurements at 15 K temperature with the Bean Model of ceramic superconductors [18]

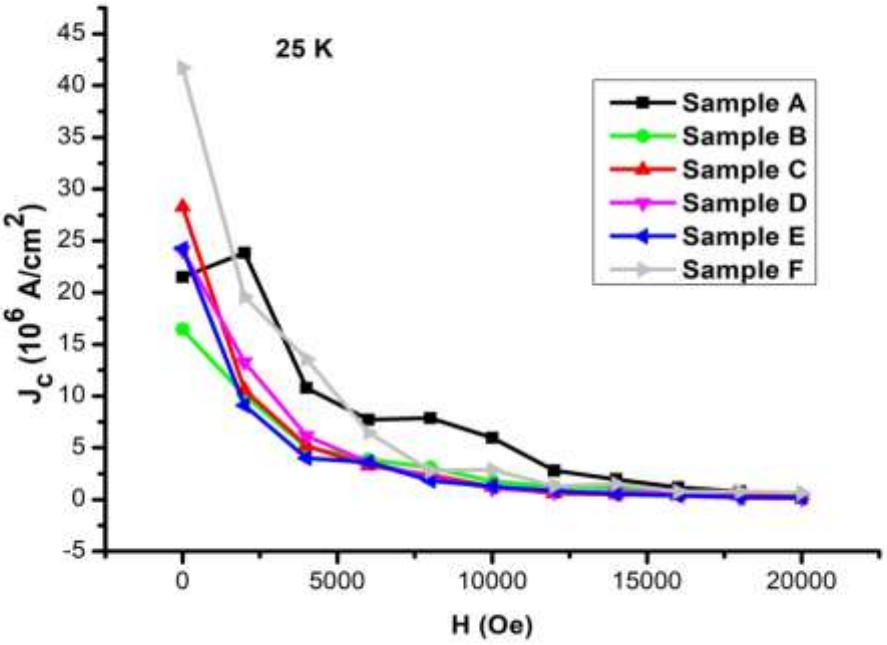


Figure 7. Calculated *Jc* values based on M-H measurements at 25 K temperature with the Bean Model of ceramic superconductors [18]

The flux pinning mechanisms of Bi-2212-based ceramic high-temperature superconductors are one of the key factors that determine their performance in a magnetic field. The movement of magnetic flux vortices into a superconductor in the presence of an applied magnetic field results in energy losses and a reduction in the *Jc*. These vortices can be effectively stabilised thanks to flux pinning centres. Bi-2212 systems have a limited number of natural flux pinning centers due to their layered and anisotropic crystal structure, which makes the development of artificial pinning centers crucial. Microstructural irregularities produced by doping with nanoparticles, foreign atom substitution, and carefully regulated heat treatment procedures constitute efficient artificial flux pinning centers, whilst point defects and dislocations within the crystal structure function as natural flux pinning centers. In particular, it has been reported that doping with nanoparticles suppresses vortex motion by creating defects close to the size of the vortex core, thereby ensuring that Jc values are preserved even in high magnetic fields. [33, 34]. Therefore, optimizing the density, distribution and efficiency of flux pinning centers in Bi-2212 superconductor systems is considered a critical strategy to achieve high critical current density and magnetic field. Vu et al reportat that increases in current density were observed in the Bi-2223 superconducting system due to the enhancement of flux pinning properties by Sn nanoparticles at a ratio of x = 0.02 [35].

The flux pinning forces of ceramic superconductors were calculated as a function of magnetic field by the following formula [36, 37].

Fp = Jc X B

The critical current density is expressed by Jc, the applied magnetic field by B, and the pinning forces by *Fp* in the formula.

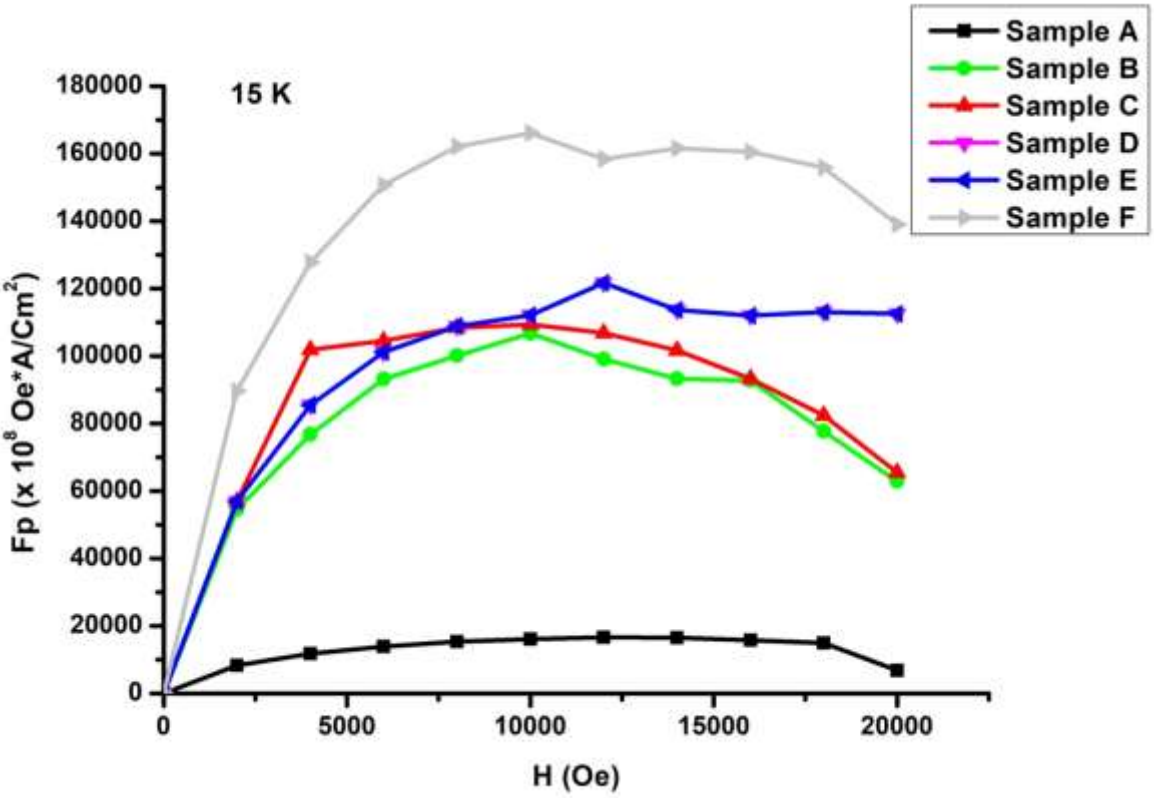


Figure 8. Calculated Flux Pinning Force at 15 K Temperature

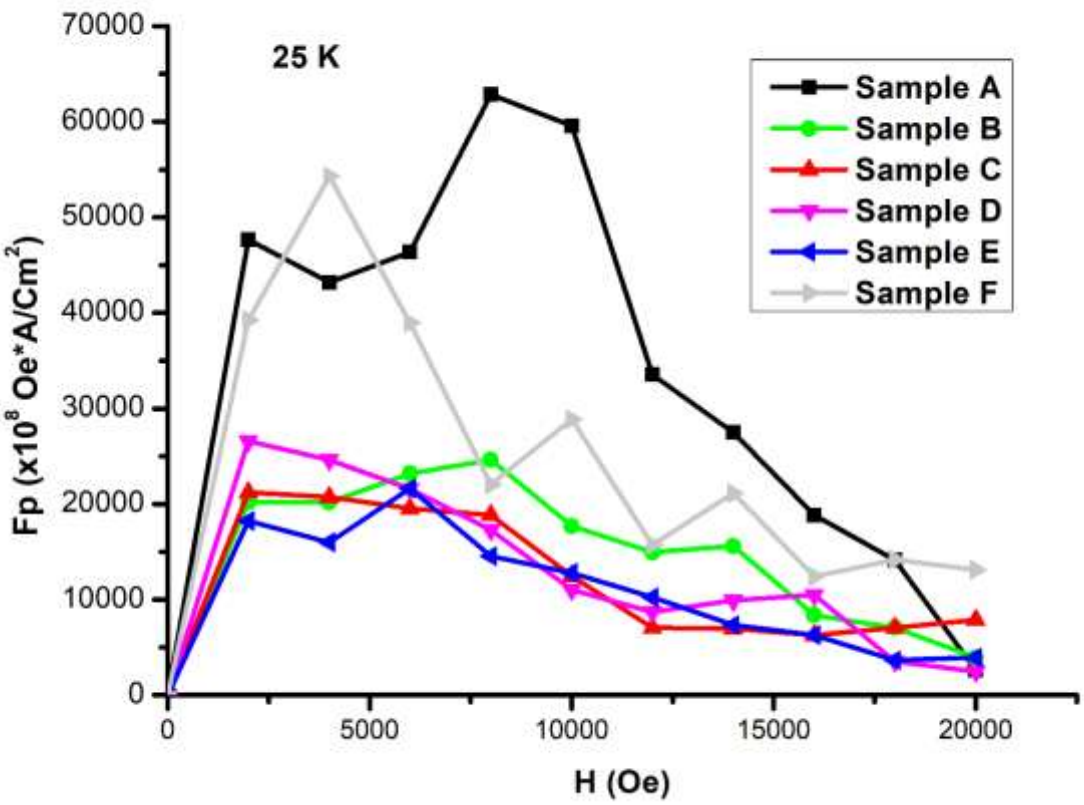


Figure 8. Calculated Flux Pinning Force at 25 K Temperature

In ceramic superconductors, the most important factor in increasing flux pinning forces is an increase in the number of flux pinning centres. In dopant applications, the correct proportion and size of the dopant element can act as a flux pinning centre, thereby increasing the net flux pinning force in the system [5, 38]. Especially when nanoparticles are incorporated into the system, it has a higher probability of acting as a flux pinning centre. Flux pinning force calculations of samples substituted with nano-sized Zn at different rates to strontium sites are shown in Figure 8 and Figure 9.

The increase in the internal stress value in the W-H results, theoretically calculated from X-ray diffraction measurements, explains why the dopant element is a candidate for acting as a flux pinning center. The increase in these values with nano-sized Zn addition in the W-H results indicates that there may be an increase in *Fp*. As shown in Figure 8, calculations performed at 15 K temperature showed an increase in *Fp* forces with increasing Zn particles. On the other hand, in the *Fp* graph calculated at 25 K, a change in *Fp* values was observed as the temperature increased. The calculated *Fp* values at 15 K and 25 K show that at x = 0.1, nano-sized Zn particles contribute to an increase in the number of flux pinning centers. Thus, sample F has

the highest flux pinning force value at a high magnetic field value of 20,000 Oe when compared to the other samples. In sample F, with nano Zn particles at x = 0.1 and a percentile of 0.12 as determined by EDS, the increasing *Fp* forces, which depend on the number of flux pinning centres, cause the interaction between the magnetic flux and the superconducting regions to decrease. This results in a high *Jc* value.

4. Conclusions

Superconducting samples with initial compositions of $Bi_2Sr_{2-x}Zn_xCa_1Cu_2O_y$ (x = 0.00, 0.0125, 0.0250, 0.050, 0.075 and 0.1) were produced by solid-state reaction method and then characterized by XRD, SEM, EDS, R-T and M-H measurements. Theoretical calculations were performed to determine the critical current density (*Jc*) and flux pinning force (*Fp*) as a function of magnetisation in the samples.

Phase analysis of ceramic superconducting samples revealed that the Bi-2212 phase was present in all samples. The introduction of nano-sized Zn at a ratio of x = 0.1 was found to increase the intensity of the Bi-2212 phase at characteristic points, indicating an improved phase structure. Analyses of the morphological structure, consistent with X-ray diffraction measurements, revealed the formation of plate-like grains, a characteristic behaviour of the Bi-2212 phase in all samples. An elemental distribution analysis was performed to determine the homogeneity of the system and obtain the appropriate atomic percentages for superconductor development. The EDS results showed a homogeneous distribution that was suitable for the target composition.

The superconductivity transition temperature in the samples was determined by measuring their resistivity at different temperatures. Due to improvements in morphology and phase structure, the highest superconductivity transition temperature was obtained in the sample substituted with nano-sized zinc at a ratio of x = 0.1. The magnetization properties of the samples were characterized by M-H measurements. In the M-H results, a closed-loop hysteresis field, which is the characteristic behavior of the Bi-2212 phase structure, was obtained in all samples, consistent with other characterization studies. The formation of strong bonds and fewer grain boundaries between plate-like grains caused the hysteresis area, which indicates the development of magnetic properties, to expand in the nano-sized Zn-substituted sample at x = 0.1.

In order to use ceramic superconductors in magnetic applications in technology, it is necessary to improve their magnetization performance. In order to maintain *Jc* performance in high-field applications, the *Fp* forces must be improved by increasing the number of flux pinning centres.

The flux-pinning properties of nano-sized zinc substituted at different ratios into strontium sites were theoretically calculated based on the magnetization results. In the sample containing nano-sized Zn substituting at a ratio of x = 0.1, a flux pinning force of 13.18 x 10^8 Oe x A/cm² was triggered at a high temperature of 25 K, resulting in a *Jc* value of 6.5 x 10^5 A/cm², due to the development of flux pinning centres under a magnetic field of 20,000 Oe.

Acknowledgements

All samples were prepared at the ZEROR LAB Superconducting Material Preparation Laboratories of Tarsus University, Mersin Tarsus Organized Industrial Zone, Technical Sciences Vocational School, Türkiye. All measurements were carried out in Çukurova University ÇÜMERLAB central laboratories in Türkiye.

The superconducting properties of the Bi2Sr2-xZnxCa1Cu2Oy (x = 0.00; 0.0125; 0.0250; 0.050; 0.075; and 0.1) system were published in the article titled " Development of Diamagnetic Properties of Bi-2212 Superconductors with Different Amounts of Nano-Sized Zn Substituted in Strontium Sites" In this conference, the flux pinning properties were evaluated by investigating the elemental analysis of the nano-sized Zn particles.

REFERENCES

[1] M. Ersin Aytekin, B. Özkurt, and İ. Sugözü, "Physical, magnetic and mechanical properties of Bi-2212 superconductors prepared by high pelletization pressure," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 26, pp. 1799-1805, 2015.

[2] M. E. Kır, B. Özkurt, and M. E. Aytekin, "The effect of K-na co-doping on the formation and particle size of Bi-2212 phase," *Physica B: Condensed Matter*, vol. 490, pp. 79-85, 2016.

[3] M. Aliff-Imran, M. Nur-Afrina, M. Masnita, M. H. Jumali, and R. Abd-Shukor, "Nano-tin (IV) oxide addition effects on the transport and AC susceptibility parameters of Bi1. 6Pb0. 4Sr2CaCu2O8 superconductor," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 33, no. 17, pp. 13947-13955, 2022.

[4] M. Aytekin, B. Özkurt, K. Sugözü, E. Köse, and İ. Sugözü, "The effect of different dwell times at a constant pelletization pressure of 6 GPa on superconducting properties of BiSrCaCuO ceramics," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 27, no. 8, 2016.

[5] M. E. AytekİN, "Change in Physical, Electrical and Magnetic Properties of Bi-2212 Superconducting Materials Co-Substituted with Nano-Sized Zinc and Sodium," *Transactions on Electrical and Electronic Materials*, pp. 1-13, 2024.

[6] M. E. Aytekin, "Modification of the electrical and magnetic properties of Bi-2212 ceramic superconductors by nano-sized europium substitution," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 36, no. 29, p. 1870, 2025.

[7] A. Agail and R. Abd-Shukor, "Effect of nano-size SnO2 addition on (Bi, Pb)-Sr-Ca-Cu-O superconductor," *Solid State Science and Technology*, vol. 22, no. 1, p. 2, 2014.

[8] H. Azhan *et al.*, "Effect of Eu Substitution in Low Density Bi (Pb)-2223 High Temperature Superconductors," in *Materials Science Forum*, 2016, vol. 846: Trans Tech Publ, pp. 567-573.

[9] A. Biju, P. Sarun, R. Aloysius, and U. Syamaprasad, "Flux pinning properties of Yb substituted (Bi, Pb)-2212 superconductor," *Journal of alloys and compounds*, vol. 454, no. 1-2, pp. 46-51, 2008.

[10] H. Cao *et al.*, "Flux pinning mechanism of Bi-2223 bulk superconductors by tuning Bi-2212 and Bi-2234 intergrowths," *Ceramics International*, vol. 51, no. 8, pp. 10014-10025, 2025.
[11] B. Özkurt, "Effects of Ni substitution in Bi-2212 superconductors," *Journal of superconductivity and novel magnetism*, vol. 25, pp. 1775-1779, 2012.
[12] B. Özkurt, "Enhancement in superconducting transition temperature and J c values in Na-doped Bi 2 Sr 2 Ca 1 Cu 2− x Na x O y superconductors," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 24, pp. 2426-2431, 2013.
[13] L. Qiu *et al.*, "Fabrication and Magnetic Properties of Sio2 Nanoparticles-Doped," *Available at SSRN 4395473*.
[14] M. Saghafi, G. Shams, and Z. Soltani, "The influence of Sm2O3 nanoparticles adding on some superconducting properties of Bi1. 6Pb0. 4Sr2Ca2Cu3O10+ δ ceramics," *Physica C: Superconductivity and its Applications*, p. 1354566, 2024.
[15] A. T. Pham *et al.*, "Effect of FePd nanoparticle addition on the superconductivity of Bi1. 6Pb0. 4Sr2Ca2Cu3O10+ δ compounds," *Ceramics International*, vol. 50, no. 9, pp. 16425-16434, 2024.
[16] D. H. Tran *et al.*, "Enhanced flux pinning properties in Bi 1.6 Pb 0.4 Sr 2− x K x Ca 2 Cu 3 O 10+ δ compounds," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 30, pp. 8233-8238, 2019.
[17] N. A. Yahya and R. Abd-Shukor, "Effect of different nanosized MgO on the transport critical current density of Bi1. 6Pb0. 4Sr2Ca2Cu3O10 superconductor," *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, vol. 27, no. 2, pp. 329-335, 2014.
[18] M. E. Aytekin, "Stronsiyum Sitelere Farklı Oranda Nano Boyutta Zn Katkılı Bi-2212 Süperiletkenlerin Diamanyetik Özelliklerinde Gelişim," *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, vol. 9, no. 2, pp. 836-856, 2026.
[19] O. Ozturk, E. Asikuzun, M. Erdem, G. Yildirim, O. Yildiz, and C. Terzioglu, "The effect of Pr addition on superconducting and mechanical properties of Bi-2212 superconductors," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 23, no. 2, pp. 511-519, 2012.
[20] M. Shalaby, M. Noun, N. M. Yousef, M. A. Maksoud, and S. Abdelhaleem, "Influence of Ba substitution on phase formation, RBS analysis, critical current density and flux pinning dynamics in Y-BSCCO superconducting materials," *Cryogenics*, vol. 150, p. 104129, 2025.
[21] M. E. Aytekin and M. Akyol, "Modification of Magnetic and Electrical Properties of Bi, Pb-2223 Superconductors by Nano-Sized Eu Substitution," *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, vol. 38, no. 3, pp. 1-15, 2025.
[22] P. Bindu and S. Thomas, "Estimation of lattice strain in ZnO nanoparticles: X-ray peak profile analysis," *Journal of Theoretical and Applied Physics*, vol. 8, no. 4, pp. 123-134, 2014.
[23] L. Wang, J. Su, Y. Guo, Z. Lin, Y. Hao, and J. Chang, "97.3% Pb-Reduced CsPb1–x Ge x Br3 Perovskite with Enhanced Phase Stability and Photovoltaic Performance through Surface Cu Doping," *The journal of physical chemistry letters*, vol. 12, no. 3, pp. 1098-1103, 2021.
[24] N. E. Suhaimi, A. Hashim, W. A. W. Razali, N. Ibrahim, and S. F. Saipuddin, "Superconducting and microstructure properties of Eu2O3 nanoparticles substitution in low density Bi (Pb)-2223 superconductor," *Available at SSRN 4931180*, 2025.
[25] M. E. AYTEKİN, "The role of post-annealing process on the physical, electrical and magnetic properties of nano-sized tin substituted Bi-2212 superconducting ceramics," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 35, no. 28, p. 1854, 2024.
[26] A. Sotelo *et al.*, "Effect of Pb doping on the electrical properties of textured Bi-2212 superconductors," *Journal of the European Ceramic Society*, vol. 34, no. 12, pp. 2977-2982, 2014.
[27] U. ÖZTORNACI and B. Özkurt, "The effect of nano-sized metallic Au addition on structural and magnetic properties of Bi1. 8Sr2 AuxCa1. 1Cu2. 1Oy (Bi-2212) ceramics," *Ceramics International*, vol. 43, no. 5, pp. 4545-4550, 2017.
[28] B. Öner, P. Özkurt, M. Madre, B. Özkurt, and A. Sotelo, "Enhanced superconducting properties in Bi2Sr2Ca1Cu1. 75Na0. 25Oy ceramics prepared by hot-pressing under different

pressures and temperatures," *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, vol. 35, no. 7, pp. 1831-1838, 2022.

[29] B. Özkurt, "Improvement of the critical current density in Bi-2223 ceramics by sodium–silver co-doping," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 25, pp. 3295-3300, 2014.

[30] B. Özkurt, "Large J c Enhancement of Bi-2212 Ceramics by Triple Doping of Li, K, and Na in Bi 1.8-x (Li, Na, K) x Sr 2 Ca 1.1 Cu 2.1 O y (x= 0.05, 0.1, and 0.25) Composition," *Journal of Superconductivity and Novel Magnetism*, vol. 34, pp. 1059-1066, 2021.

[31] B. Özkurt, M. Madre, and A. Sotelo, "Effect of postannealing processes on the properties of hot-pressed Bi2Sr2Ca1Cu1. 75Na0. 25O y (Bi-2212) ceramics," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 34, no. 15, p. 1212, 2023.

[32] C. P. Bean, "Magnetization of hard superconductors," *Physical review letters*, vol. 8, no. 6, p. 250, 1962.

[33] M. E. Aytekin and M. Akyol, "Effect of nano-sized europium substitution on strontium sites on diamagnetic properties in BiPb-2223 superconductor system," *Journal of NanoScience in Advanced Materials*, vol. 3, no. 1, pp. 8-14, 2024.

[34] M. Anas, M. H. El Makdah, M. H. El Dakdouki, A. Srour, R. Awad, and M. Hassan, "Investigation of Physical Properties of (Nano-SmIG)/(Bi, Pb)-2212 Phase," *Journal of Low Temperature Physics*, vol. 213, no. 3, pp. 191-214, 2023.

[35] L. H. Vu *et al.*, "Enhancements of critical current density in Bi1. 6Pb0. 4Sr2Ca2Cu3O10+ δ superconductors by additions of SnO2 nanoparticles," *Ceramics International*, vol. 49, no. 16, pp. 27614-27621, 2023.

[36] A. Xu, J. Jiang, C. Tarantini, F. Kametani, E. Hellstrom, and D. C. Larbalestier, "Flux pinning enhancement of Bi-2212 tapes by increasing Sr content," *IEEE Transactions on Applied Superconductivity*, vol. 34, no. 3, pp. 1-5, 2023.

[37] T. Wang, W. Wang, and Y. Wang, "Enhanced flux pinning properties for GdBa2Cu3O7− x films with nanosized La0. 67Sr0. 33MnO3 inclusions on SrTiO3 substrate by RF magnetic sputtering method," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 34, no. 4, p. 257, 2023.

[38] E. Kara, P. Özkurt, and B. Özkurt, "Effects of different dwell-times under low pelletization pressure on the physical properties of the Bi-2212 ceramics," *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, vol. 33, no. 18, pp. 14951-14960, 2022.

FUZZY UNCERTAINTY PROPAGATION AND FINITE-TIME TANGENT DYNAMICS IN A ψ-CAPUTO LORENZ SYSTEM

Mohamed OUALD-MOUNTI
Sultan Moulay Slimane University, Faculty of Sciences and Techniques,
Department of Mathematics, Mghila, Beni Mellal 23000, Morocco ORCID: https://orcid.org/0009-0007-7138-6763
Aziz EL GHAZOUANI
Sultan Moulay Slimane University, Faculty of Sciences and Techniques, Department of Mathematics, Mghila, Beni Mellal 23000, Morocco
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3380-2977
Hamid SADIKI
Sultan Moulay Slimane University, Faculty of Sciences and Techniques,
Department of Mathematics, Mghila, Beni Mellal 23000, Morocco
ORCID: https://orcid.org/0009-0009-9900-8486

ABSTRACT

This paper investigates uncertainty propagation and certified chaotic behavior in a fuzzy fractional Lorenz system governed by the ψ-Caputo derivative. The fuzzy model is transformed into a family of coupled endpoint systems through its level-set representation. Sufficient conditions for the local existence and uniqueness of solutions are established on an invariant bounded set. A numerical scheme preserving endpoint ordering and level-set nesting is developed. To distinguish genuine chaotic dynamics from transient oscillations, a fuzzy maximal Lyapunov exponent is introduced and used to classify robust, uncertain, and non-chaotic regimes. Numerical experiments demonstrate how the fractional order, the memory function, and the initial fuzzy width influence the transition to chaos and the amplification of uncertainty.

Keywords

Fuzzy fractional Lorenz system; ψ-Caputo fractional derivative; chaotic dynamics; fuzzy Lyapunov exponent; uncertainty propagation; level-set representation; numerical approximation.

ADAPTIVE AI IN VIDEO GAMES

B. KOPIKA
First year B.Sc(Artificial Intelligence)
Department of Computer Science (Artificial Intelligence)
Nadar Mahajana Sangam S.Vellaichamy Nadar College
Madurai-19.
Dr.S.Selvam
Head and Assistant Professor
Department of Computer Science (Artificial Intelligence)
Nadar Mahajana Sangam S. Vellaichamy Nadar College
Madurai-19.

Abstract

Adaptive Artificial Intelligence (AI) has become an important technology in modern video games, enabling game environments and non-player characters (NPCs) to respond intelligently to player behavior. Unlike traditional AI systems that follow fixed rules, adaptive AI learns from player actions, adjusts difficulty levels, and creates personalized gaming experiences. This research paper explores the concepts, techniques, applications, advantages, and challenges of adaptive AI in video games. It discusses machine learning approaches, dynamic difficulty adjustment, behavior modeling, and procedural content generation. A comparison between traditional game AI and adaptive AI is presented to highlight the improvements in realism, engagement, and player experience. The paper concludes that adaptive AI has the potential to transform future gaming by creating more immersive and intelligent virtual worlds.

Keywords: Adaptive AI, Video Games, Machine Learning, Non-Player Characters, Dynamic Difficulty Adjustment, Player Modeling, Game Intelligence

1. Introduction

Artificial Intelligence has played a significant role in video game development since the early days of computer gaming. Traditional game AI mainly depends on predefined rules, decision trees, and scripted behaviors. Although these techniques are effective, they often fail to provide realistic and personalized experiences because they cannot adjust according to individual players.

Adaptive AI introduces a new approach by allowing games to analyze player behavior and modify gameplay accordingly. It uses techniques such as machine learning, reinforcement learning, neural networks, and data analysis to create responsive game environments. Adaptive AI can improve enemy behavior, adjust game difficulty, recommend content, and generate dynamic challenges.

With the growth of powerful computing systems and large-scale game data, adaptive AI has become a key research area in game development. It aims to make games more engaging, challenging, and enjoyable for different types of players.

2. Objectives of Adaptive AI in Video Games

- To create intelligent and realistic NPC behavior.
- To personalize gameplay according to player skills and preferences.
- To maintain an optimal level of challenge.
- To improve immersion and replay value.
- To reduce repetitive and predictable game patterns.

3. Major Components of Adaptive AI

3.1 Player Modeling

Player modeling involves collecting and analyzing information about player behavior, including:

- Playing style
- Skill level
- Decision-making patterns
- Game preferences
- Success and failure rates

The game uses this information to adapt future experiences.

3.2 Dynamic Difficulty Adjustment (DDA)

Dynamic Difficulty Adjustment automatically changes game difficulty based on player performance.

Examples include:

- Increasing enemy strength when players perform well.
- Providing assistance when players repeatedly fail.
- Modifying resource availability.

3.3 Adaptive Non-Player Characters (NPCs)

Adaptive NPCs can learn from player strategies and change their behavior.

Examples:

- Enemies that develop new attack patterns.
- Teammates that adjust their support actions.
- Opponents that become less predictable.

3.4 Procedural Content Generation

AI can generate new game content such as:

- Levels
- Maps

- Missions
- Characters
- Game environments

This creates unique experiences for each player.

3.5 Reinforcement Learning in Games

Reinforcement learning allows AI agents to learn through trial and error. The system receives rewards for successful actions and improves decision-making over time.

4. Applications of Adaptive AI in Video Games

4.1 Enemy Intelligence

Adaptive AI creates enemies that analyze player tactics and respond strategically.

4.2 Personalized Gaming Experience

Games can customize challenges, missions, and recommendations based on player behavior.

4.3 Virtual Assistants and Companions

AI-controlled companions can provide realistic interactions and support.

4.4 Multiplayer Game Balancing

Adaptive systems can balance matches by analyzing player abilities and matchmaking data.

4.5 Game Testing and Development

AI can assist developers by automatically testing game mechanics and identifying problems.

5. Advantages of Adaptive AI

- Provides personalized gameplay.
- Increases player engagement.
- Creates realistic environments.
- Reduces predictability.
- Improves replayability.
- Supports better game balancing.

6. Challenges of Adaptive AI

6.1 Computational Requirements

Advanced AI models require high processing power and large amounts of data.

6.2 Unpredictable Behavior

AI decisions may sometimes produce unexpected or unwanted gameplay results.

6.3 Data Privacy

Player behavior data must be collected and managed responsibly.

6.4 Development Complexity

Creating adaptive systems requires specialized knowledge in AI and game programming.

7. Comparison Between Traditional AI and Adaptive AI

Feature	Traditional Game AI	Adaptive AI
Decision Making	Fixed rules	Learning-based decisions
Player Adaptation	No adaptation	Adjusts to player behavior
NPC Behavior	Predictable	Dynamic and intelligent
Difficulty Control	Predefined levels	Automatically adjusted
Learning Ability	Cannot learn	Learns from experience
Personalization	Limited	Highly personalized
Technology Used	Rule systems, scripts	Machine learning, neural networks
Replay Value	Lower	Higher

8. Future Scope of Adaptive AI

Future video games may use advanced AI systems capable of:

- Creating fully dynamic storylines.
- Generating realistic virtual characters.
- Understanding player emotions.
- Developing autonomous game worlds.
- Providing AI-generated missions and environments.

Integration of adaptive AI with virtual reality (VR), augmented reality (AR), and cloud gaming can further enhance immersive experiences.

9. Conclusion

Adaptive AI represents a major advancement in video game technology by allowing games to understand and respond to players. Unlike traditional AI systems, adaptive AI can learn, improve, and personalize gameplay experiences. Although challenges such as computational cost and development complexity remain, continuous improvements in machine learning and artificial intelligence are making adaptive gaming systems more practical. Adaptive AI is expected to play a crucial role in the future of interactive entertainment by creating intelligent, immersive, and personalized gaming experiences.

References

1. Yannakakis, G. N., & Togelius, J. (2018). *Artificial Intelligence and Games*. Springer.
2. Millington, I., & Funge, J. (2016). *Artificial Intelligence for Games*. CRC Press.
3. Russell, S., & Norvig, P. (2021). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Pearson.
4. Shaker, N., Togelius, J., & Nelson, M. J. (2016). *Procedural Content Generation in Games*. Springer.
5. Sweetser, P., & Wiles, J. (2005). "Scripting versus Emergence: Issues for Game AI Design." *Proceedings of the 4th International Conference on Entertainment Computing.*
6. Hunicke, R. (2005). "The Case for Dynamic Difficulty Adjustment in Games." *Proceedings of the ACM SIGCHI Conference.*
7. Bakkes, S., Spronck, P., & van Lankveld, G. (2012). "Player Behavioural Modelling for Adaptive Games." *Entertainment Computing.*
8. Charles, D., McNeill, M., McAlister, M., et al. (2005). "Player-Centered Game Design: Player Modeling and Adaptive Gameplay." *Proceedings of the Digital Games Research Association.*

9. Yannakakis, G. N. (2012). "Game AI Revisited." *Proceedings of the 9th Conference on Computing Frontiers.*
10. Togelius, J., Yannakakis, G. N., Stanley, K. O., & Browne, C. (2011). "Search-Based Procedural Content Generation: A Taxonomy and Survey." *IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games.*

AI IN SPORTS PERFORMANCE AND INJURY PREVENTION

J.Jeyavarshana
First year B.Sc(Artificial Intelligence)
Department of Computer Science(Artificial Intelligence)
Nadar Mahajana Sangam S.Vellaichamy Nadar College ,Nagamalai,
Madurai-19
Dr.S.Selvam
Head and Assistant Professor
Department of Computer Science(Artificial Intelligence)
Nadar Mahajana Sangam S. Vellaichamy Nadar College Nagamalai ,
Madurai-19.

Abstract

Artificial Intelligence (AI) is transforming modern sports by improving athlete performance analysis, training strategies, and injury prevention methods. AI technologies such as machine learning, computer vision, wearable sensors, and predictive analytics help coaches and medical teams make data-driven decisions. These systems analyze large amounts of athlete data, including movement patterns, workload, biomechanics, and physiological indicators, to optimize performance and reduce injury risks. This paper explores the applications of AI in sports performance enhancement and injury prevention, compares traditional approaches with AI-based methods, and discusses future opportunities and challenges. The integration of AI provides a more accurate, personalized, and efficient approach to athlete management.

Keywords: Artificial Intelligence, Sports Analytics, Machine Learning, Injury Prevention, Athlete Performance, Wearable Technology, Predictive Analysis, Biomechanics

1. Introduction

Sports performance depends on multiple factors, including physical fitness, technical skills, strategy, recovery, and injury management. Traditional methods of athlete evaluation rely mainly on manual observation, physical tests, and expert experience. Although these methods are valuable, they may lack accuracy and real-time analysis.

Artificial Intelligence has introduced advanced solutions that can collect, process, and interpret complex sports data. AI-based systems can monitor athlete performance, identify weaknesses, predict injury risks, and recommend personalized training programs. Technologies such as motion tracking cameras, smart wearables, and machine learning algorithms are increasingly used in professional sports organizations.

The use of AI in sports aims not only to improve athletic performance but also to increase athlete safety by detecting early warning signs of fatigue, overtraining, and biomechanical problems.

2. Applications of AI in Sports Performance

2.1 Performance Analysis Using AI

AI algorithms analyze player statistics, movement patterns, and match data to evaluate performance. Coaches can identify strengths and weaknesses and develop improved strategies.

Examples:

- Player tracking systems
- Automated game analysis
- Performance prediction models

2.2 AI-Based Training Optimization

AI provides personalized training recommendations based on an athlete's physical condition, workload, and previous performance.

Benefits:

- Customized workout plans
- Improved skill development
- Better recovery management

2.3 Wearable Technology and Real-Time Monitoring

Wearable devices equipped with AI sensors collect information such as:

- Heart rate
- Speed
- Acceleration
- Muscle activity
- Sleep patterns

This data helps coaches monitor athlete readiness and prevent excessive workload.

3. Applications of AI in Injury Prevention

3.1 Injury Risk Prediction

Machine learning models analyze historical injury records and current athlete data to predict possible injuries.

Factors analyzed:

- Training intensity
- Fatigue level
- Previous injuries
- Movement imbalance

3.2 Biomechanical Analysis

AI-powered motion analysis systems identify incorrect body movements that may lead to injuries.

Applications:

- Running technique analysis
- Joint movement evaluation
- Posture correction

3.3 Recovery and Rehabilitation

AI assists athletes during rehabilitation by tracking progress and suggesting appropriate exercises.

Benefits:

- Faster recovery
- Personalized rehabilitation programs
- Continuous monitoring

4. AI Technologies Used in Sports

4.1 Machine Learning

Machine learning models recognize patterns in sports data and make predictions about performance and injury risks.

4.2 Computer Vision

Computer vision analyzes video footage to evaluate player movements and techniques.

4.3 Deep Learning

Deep learning methods process large datasets to improve accuracy in prediction and analysis.

4.4 Internet of Things (IoT) Devices

IoT-based sensors provide continuous athlete monitoring through connected devices.

5. Comparison Between Traditional and AI-Based Sports Management

Feature	Traditional Approach	AI-Based Approach
Data Collection	Manual observation	Automated sensors and tracking systems
Performance Analysis	Limited statistics	Real-time advanced analytics
Injury Prediction	Based on experience	Predictive AI models
Training Plans	General programs	Personalized training
Monitoring	Periodic assessment	Continuous monitoring
Accuracy	Depends on human judgment	Data-driven decisions
Response Time	Slow analysis	Immediate feedback
Athlete Recovery	Manual tracking	AI-assisted rehabilitation

6. Advantages of AI in Sports

1. Improves athlete performance through data analysis.
2. Reduces injury risks through early prediction.
3. Provides personalized training programs.
4. Enables real-time performance monitoring.
5. Helps coaches make accurate decisions.

6. Improves rehabilitation outcomes.
7. Saves time in performance evaluation.
8. Supports long-term athlete development.
9. Enhances team strategies.
10. Increases sports science efficiency.

7. Challenges of AI in Sports

- High implementation cost.
- Privacy concerns related to athlete data.
- Requirement for large and accurate datasets.
- Dependence on technology infrastructure.
- Need for expert interpretation of AI results.

8. Future Scope

Future AI systems in sports may include advanced digital athlete models, improved injury prediction algorithms, and fully automated coaching assistance. Integration of AI with virtual reality, robotics, and advanced wearable devices can create safer and more effective sports environments.

9. Conclusion

Artificial Intelligence has become an important technology in modern sports performance management and injury prevention. AI enables accurate analysis of athlete data, personalized training, early injury detection, and improved recovery processes. Although challenges such as cost, privacy, and data management remain, the benefits of AI provide significant opportunities for athletes, coaches, and medical professionals. In the future, AI will continue to play a major role in creating smarter, safer, and more efficient sports systems.

References

1. Claudino, J. G., et al. (2019). *Current Approaches to the Use of Artificial Intelligence in Sports Medicine and Performance Analysis.*
2. Baca, A. (2020). *Artificial Intelligence and Machine Learning in Sports Performance.*
3. Pino-Ortega, J., et al. (2019). *Monitoring Training Load and Injury Prevention in Elite Sports.*
4. Johnson, J. M., et al. (2021). *Machine Learning Applications in Sports Injury Prediction.*
5. Wang, J., et al. (2020). *Computer Vision-Based Athlete Motion Analysis.*
6. Li, X., et al. (2022). *Wearable Sensors and Artificial Intelligence for Sports Monitoring.*
7. Halson, S. L. (2014). *Monitoring Training Load to Understand Fatigue and Injury Risk.*
8. Bahr, R. (2016). *Why Screening Tests to Predict Injury Do Not Work.*
9. Mehrabi, A., et al. (2021). *Deep Learning Applications in Sports Analytics.*
10. Cust, E. E., et al. (2019). *Machine Learning for Injury Prevention and Athlete Health Management.*

EPIGENETIC REGULATION IN BREAST CANCER: EMERGING MECHANISMS AND THERAPEUTIC OPPORTUNITIES

Maroua RIAD *, Ahmad AL-SHAMI, Jamal MABROUKI
Laboratory of Spectroscopy, Molecular Modelling, Materials, Nanomaterials, Water and Environment, CERN2D, Mohammed V University in Rabat, Faculty of Science, AV Ibn Battouta, Agdal, Rabat 10106, Morocco

Abstract

Breast cancer is a highly heterogeneous disease in which genetic and epigenetic alterations contribute to tumor initiation, progression, metastasis, and therapeutic resistance. Unlike genetic mutations, epigenetic modifications are potentially reversible, making them attractive targets for cancer prevention and treatment. Major epigenetic mechanisms involved in breast cancer include DNA methylation, histone modifications, chromatin remodeling, and regulation by non-coding RNAs such as microRNAs and long non-coding RNAs. Aberrant DNA methylation can lead to the silencing of tumor suppressor genes, while altered histone modifications and chromatin remodeling may influence gene expression and cellular differentiation. These mechanisms can also contribute to hormone receptor signaling, epithelial–mesenchymal transition, cancer stemness, and resistance to systemic therapies. Recent advances have highlighted the potential of epigenetic biomarkers for tumor classification, prognosis, and prediction of therapeutic response. Furthermore, epigenetic-targeting agents, including DNA methyltransferase and histone deacetylase inhibitors, are being investigated alone or in combination with conventional treatments and immunotherapy. Understanding the complex interaction between genetic and epigenetic alterations may contribute to the development of more precise therapeutic strategies. This review summarizes current knowledge on the major epigenetic mechanisms involved in breast cancer and discusses their potential clinical applications and future therapeutic perspectives.

Keywords: Breast cancer; Epigenetics; DNA methylation; Histone modifications; Non-coding RNA; Epigenetic therapy; Biomarkers; Therapeutic resistance.

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR MEDICATION ADHERENCE ASSESSMENT IN PATIENTS WITH TYPE 2 DIABETES: AN EXPLORATORY STUDY IN MOROCCO USING CHATGPT AND THE VALIDATED GENERAL MEDICATION ADHERENCE SCALE

Maryem Arraji[1] , Mohamed Khalis[2,3,4,5] , Mohamed Chahboune[1]
[1]Laboratory of Health Sciences and Technologies, Higher Institute of Health Sciences, Hassan First University of Settat, Settat, Morocco
[2]Mohammed VI Center of Research and Innovation, Rabat, Morocco
[3]International School of Public Health, Mohammed VI University of Health Sciences, Casablanca, Morocco
[4]Higher Institute of Nursing Professions and Technical Health, Rabat, Morocco
[5]Laboratory of Biostatistics, Clinical, and Epidemiological Research, Department of Public Health, Faculty of Medicine and Pharmacy, Mohamed V University in Rabat, Rabat, Morocco

ABSTRACT

Objectives: Medication adherence remains a major challenge in the management of type 2 diabetes (T2D), especially in middle-income countries such as Morocco. With the rapid development of artificial intelligence, large language models, including ChatGPT, may offer new opportunities for clinical research through simulated patient profiles. This study examined the feasibility of using ChatGPT to generate culturally contextualized virtual profiles of Moroccan patients with T2D and to apply the validated Moroccan Arabic dialect version of the general medication adherence scale (GMAS).

Methods: This exploratory pilot simulation study used ChatGPT-4 to generate 11 virtual profiles based on representative sociodemographic and clinical characteristics of Moroccan patients with T2D. Each profile was administered the validated Moroccan Arabic dialect version of the GMAS.

Results: Four profiles (36.4%) showed high adherence, 6 (54.5%) displayed moderate adherence, and 1 (9.1%) exhibited low adherence. Expert evaluations were consistent, with all ratings ≥3 on a 4-point scale, supporting the credibility and cultural appropriateness of the profiles. The simulated patterns reflected real-world trends, with higher adherence among profiles treated with oral antidiabetic drugs, covered by health insurance, and having shorter disease duration, and lower adherence among profiles using insulin, lacking insurance, and having longer disease duration.

Conclusion: ChatGPT generated credible, culturally adapted patient profiles that enabled application of a validated psychometric tool in a simulated environment. This rapid, low-cost approach may support exploratory research, healthcare training, and intervention design. Comparative studies using real patient data are needed to confirm validity.

Keywords: Artificial intelligence; Diabetes mellitus, type 2; Feasibility studies; Medication adherence; Morocco; Psychometrics

ADAPTIVE AGENTIC AI SYSTEMS FOR AUTONOMOUS DECISION-MAKING IN DYNAMIC COMPUTING NETWORKS

Moses Adeolu AGOI[1]
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
https://orcid.org/ 0000-0002-8910-2876
Samuel Olayiwola AJAGA[2]
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
Olajuwon Victor OLAYINKA[3]
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
Oluwanifemi Opeyemi AGOI[4]
Obafemi Awolowo University, Osun Nigeria.
https://orcid.org/ 0009-0007-9461-8870

Abstract

The rapid evolution of distributed computing, cloud infrastructures, edge intelligence, software-defined networking (SDN), Internet of Things (IoT), and cyber-physical systems has significantly increased the complexity of modern computing networks. Conventional Artificial Intelligence (AI) approaches based on static prediction models are increasingly inadequate for environments characterized by uncertainty, continuous topology changes, heterogeneous devices, and real-time service demands. Consequently, Adaptive Agentic Artificial Intelligence (Agentic AI) has emerged as a transformative paradigm capable of autonomous perception, reasoning, planning, learning, and execution with minimal human intervention. This study investigates the role of adaptive agentic AI systems in enabling autonomous decision-making within dynamic computing networks through a systematic review of contemporary scholarly literature published between 2020 and 2026. The review synthesizes evidence from peer-reviewed articles indexed in IEEE Xplore, ACM Digital Library, SpringerLink, ScienceDirect, Web of Science, Scopus, and Google Scholar. Findings indicate that adaptive agentic AI significantly enhances network resilience, self-optimization, intelligent resource allocation, predictive fault management, cybersecurity threat mitigation, and service orchestration. Multi-agent architectures integrated with reinforcement learning, transformer-based reasoning, knowledge graphs, and continual learning demonstrate superior adaptability compared with conventional centralized AI systems. However, persistent challenges remain regarding explainability, interoperability, governance, security, computational overhead, and ethical accountability. The study proposes an integrated conceptual framework combining adaptive reasoning, autonomous planning, collaborative multi-agent coordination, and continuous environmental learning to improve intelligent network operations. The paper concludes that adaptive agentic AI represents a foundational technology for next-generation autonomous computing ecosystems and recommends stronger emphasis on trustworthy AI governance, human-in-the-loop oversight, distributed intelligence, and standardized evaluation metrics to facilitate large-scale deployment across cloud-edge computing infrastructures and future intelligent communication networks.

Keywords: Adaptive Agentic AI; Autonomous Decision-Making; Dynamic Computing Networks; Multi-Agent Systems.

INTRODUCTION

The exponential growth of cloud computing, edge computing, the Internet of Things (IoT), software-defined networking (SDN), network function virtualization (NFV), and sixth-generation (6G) communication technologies has fundamentally transformed modern computing networks into highly distributed, heterogeneous, and continuously evolving ecosystems. These environments generate enormous volumes of real-time data and require

rapid, context-aware decisions to maintain service quality, cybersecurity, resource efficiency, and operational resilience. Traditional rule-based network management systems and conventional machine learning models often struggle to cope with rapidly changing network conditions because they typically depend on predefined policies, centralized control mechanisms, and periodic retraining. As network infrastructures become increasingly autonomous and decentralized, there is a growing demand for intelligent systems capable of perceiving environmental changes, reasoning under uncertainty, planning adaptive responses, and executing decisions independently with minimal human intervention. Adaptive Agentic Artificial Intelligence (Agentic AI) has recently emerged as a next-generation AI paradigm that extends beyond predictive analytics by enabling intelligent agents to pursue goals autonomously through continuous perception, reasoning, planning, learning, memory, and collaborative action. Unlike conventional AI models that primarily generate predictions or recommendations, agentic AI systems possess decision autonomy, allowing them to dynamically adjust strategies based on evolving environmental conditions while coordinating with other intelligent agents to optimize system-wide objectives (OpenAI, 2025; IBM Research, 2024). Within dynamic computing networks, these capabilities facilitate autonomous traffic engineering, intelligent resource allocation, predictive fault diagnosis, self-healing infrastructures, cybersecurity threat mitigation, and adaptive service orchestration across cloud-edge architectures (Mao et al., 2022; Zhang et al., 2023). Recent advances in reinforcement learning, transformer-based reasoning, graph neural networks, federated learning, knowledge graphs, digital twins, and multi-agent reinforcement learning have further accelerated the deployment of adaptive autonomous decision-making systems capable of operating under uncertainty and incomplete information (Sutton & Barto, 2018; Silver et al., 2021). Despite these technological advances, significant challenges remain concerning explainability, interoperability, governance, trustworthiness, computational scalability, security vulnerabilities, ethical accountability, and regulatory compliance in autonomous network environments (European Commission, 2024; NIST, 2023). Consequently, this study systematically reviews recent literature published between 2020 and 2026 to examine the emerging role of adaptive agentic AI systems in autonomous decision-making across dynamic computing networks. The review synthesizes current theoretical developments, technological architectures, implementation strategies, application domains, and existing research gaps while proposing an integrated conceptual perspective to support the design of resilient, intelligent, trustworthy, and self-adaptive computing infrastructures capable of meeting the demands of future digital ecosystems.

LITERATURE REVIEW

The Evolution of Adaptive Agentic AI Systems in Autonomous Computing Networks

Artificial Intelligence (AI) has evolved considerably from rule-based expert systems to machine learning, deep learning, and, more recently, Adaptive Agentic AI, which enables autonomous reasoning, planning, and goal-oriented decision-making in dynamic environments. Early AI systems relied primarily on deterministic rules and centralized decision mechanisms that lacked

flexibility when confronted with uncertain or rapidly changing network conditions (Russell & Norvig, 2021). The emergence of machine learning introduced predictive capabilities that improved network optimization and anomaly detection; however, these models generally required retraining when environmental conditions changed significantly and often lacked autonomous decision execution (Goodfellow et al., 2016). This limitation motivated the development of adaptive AI architectures capable of continual learning and autonomous adaptation. The concept of intelligent agents has long been recognized as fundamental to autonomous computing. Wooldridge (2021) defines an intelligent agent as an autonomous computational entity capable of perceiving its environment and acting rationally to achieve predefined objectives. Building on this concept, adaptive agentic AI integrates perception, memory, reasoning, planning, learning, collaboration, and autonomous execution into a unified framework. Unlike conventional AI applications that merely recommend actions, agentic systems actively formulate goals, evaluate alternative strategies, coordinate with other agents, and execute decisions while continuously learning from environmental feedback (OpenAI, 2025). Such capabilities make agentic AI particularly suitable for dynamic computing networks where traffic patterns, workloads, and security threats evolve continuously. Recent studies have demonstrated that adaptive agentic AI substantially enhances the intelligence of cloud-edge infrastructures through decentralized autonomous coordination. Mao et al. (2022) reported that reinforcement learning-based autonomous resource management significantly improved computing efficiency in distributed cloud environments. Similarly, Zhang et al. (2023) observed that multi-agent reinforcement learning enables collaborative optimization of communication resources across heterogeneous networks, reducing latency while improving service reliability. The integration of transformer architectures and large language models further expands agentic AI capabilities by enabling contextual reasoning, planning, and adaptive workflow orchestration in complex computing environments (Bommasani et al., 2021; OpenAI, 2025). Furthermore, continual learning has become a defining characteristic of adaptive agentic systems. Unlike static AI models, continual learning algorithms preserve accumulated knowledge while incorporating new experiences without catastrophic forgetting (Parisi et al., 2019). This capability enables computing networks to respond effectively to emerging cyber threats, fluctuating workloads, and evolving user demands without requiring complete retraining. Consequently, adaptive agentic AI represents a paradigm shift from predictive intelligence toward autonomous cognitive systems capable of self-management, collaborative decision-making, and resilient network optimization. Contemporary literature consistently identifies this transition as a critical foundation for future intelligent computing infrastructures, autonomous network operations, and next-generation digital ecosystems.

Multi-Agent Architectures and Autonomous Decision-Making in Dynamic Computing Networks

Multi-Agent Systems (MAS) have become one of the foundational architectures supporting adaptive agentic AI for autonomous decision-making in dynamic computing networks. Unlike centralized artificial intelligence frameworks, MAS consist of multiple autonomous intelligent agents capable of perceiving local environmental conditions, communicating with one another, coordinating actions, and collectively solving complex computational problems that exceed the capabilities of individual agents (Wooldridge, 2021). This decentralized intelligence significantly improves scalability, resilience, fault tolerance, and adaptability, making MAS particularly suitable for modern computing environments characterized by heterogeneous devices, distributed resources, and continuously changing network topologies. The emergence of cloud computing, edge computing, Internet of Things (IoT), software-defined networking (SDN), and network function virtualization (NFV) has intensified the need for distributed autonomous control. Traditional centralized management frameworks often introduce bottlenecks, increased latency, and single points of failure, particularly under high-demand

conditions (Kreutz et al., 2015). In contrast, adaptive agentic AI leverages collaborative intelligent agents capable of making localized decisions while maintaining global optimization objectives through continuous communication and shared knowledge. Russell and Norvig (2021) emphasize that autonomous agents can independently perceive environmental changes, reason about alternative actions, and execute optimal strategies without requiring constant human supervision. Such capabilities are increasingly important in large-scale computing infrastructures where network conditions evolve in real time. Recent advances in Multi-Agent Reinforcement Learning (MARL) have further enhanced autonomous decision-making capabilities in dynamic computing environments. Sutton and Barto (2018) describe reinforcement learning as a framework in which agents learn optimal policies through interactions with their environment by maximizing cumulative rewards. Extending this concept, Zhang et al. (2021) demonstrated that MARL enables cooperative resource allocation, adaptive traffic engineering, and decentralized service orchestration across distributed cloud-edge infrastructures. Similarly, Hernandez-Leal et al. (2019) reported that collaborative learning among intelligent agents improves convergence speed, system robustness, and long-term optimization under uncertain and partially observable network conditions. Communication and knowledge sharing are equally essential components of adaptive multi-agent ecosystems. Knowledge graphs, shared memory architectures, and graph neural networks enable intelligent agents to exchange contextual information, maintain situational awareness, and coordinate collective decision-making across heterogeneous computing platforms (Hamilton, 2020). Transformer-based reasoning models further enhance collaborative intelligence by enabling agents to interpret complex instructions, infer relationships between distributed events, and generate adaptive execution plans in real time (Bommasani et al., 2021). Consequently, modern adaptive agentic AI systems increasingly combine symbolic reasoning with data-driven learning to improve coordination and decision quality. Despite these advancements, several challenges remain in deploying multi-agent architectures at scale. Issues related to communication overhead, interoperability among heterogeneous agents, security vulnerabilities, trust management, consensus formation, and explainability continue to limit widespread implementation (European Commission, 2024; NIST, 2023). Researchers therefore advocate standardized communication protocols, explainable multi-agent reasoning, secure federated coordination, and governance frameworks that ensure accountability while preserving the autonomy of intelligent agents. Overall, the literature demonstrates that multi-agent architectures constitute a critical technological foundation for adaptive agentic AI, enabling intelligent, decentralized, and resilient autonomous decision-making across next-generation dynamic computing networks.

Reinforcement Learning, Continual Learning, and Adaptive Intelligence for Autonomous Network Optimization

Reinforcement Learning (RL) and Continual Learning (CL) have emerged as fundamental technologies driving adaptive agentic AI systems for autonomous decision-making in dynamic computing networks. Unlike supervised learning, which depends on labelled datasets and static training environments, reinforcement learning enables intelligent agents to learn optimal behaviours through continuous interaction with their environments, receiving rewards or penalties based on the outcomes of their actions (Sutton & Barto, 2018). This trial-and-error learning mechanism is particularly suitable for highly dynamic computing networks where traffic patterns, resource demands, cyber threats, and service requirements evolve continuously. Adaptive agentic AI extends RL by integrating autonomous reasoning, long-term planning, memory, and collaborative decision-making, enabling intelligent agents to optimize network operations without constant human intervention. One of the primary applications of reinforcement learning in computing networks is autonomous resource management. Mao et al.

(2016) demonstrated that deep reinforcement learning effectively optimizes resource allocation in cloud computing environments by balancing workload distribution and minimizing service latency. Building upon these findings, Xu et al. (2023) reported that RL-based adaptive scheduling significantly enhances computing efficiency in heterogeneous cloud-edge infrastructures by dynamically reallocating computational resources according to fluctuating workloads. Similarly, Chen et al. (2024) found that intelligent reinforcement learning algorithms improve network throughput, reduce congestion, and optimize Quality of Service (QoS) across software-defined networking (SDN) environments. These studies collectively suggest that RL provides the adaptive capabilities necessary for managing increasingly complex computing ecosystems. Despite its strengths, conventional reinforcement learning often struggles when operating in non-stationary environments because previously acquired knowledge may become obsolete as network conditions change. Continual Learning (CL) addresses this limitation by enabling intelligent agents to acquire new knowledge while retaining previously learned experiences without catastrophic forgetting (Parisi et al., 2019). Continual learning allows adaptive agentic systems to update their decision policies incrementally in response to evolving environmental conditions, thereby improving long-term network stability and resilience. De Lange et al. (2022) argued that continual learning significantly enhances AI adaptability in environments characterized by persistent uncertainty and rapidly changing operational contexts. Consequently, CL has become an essential component of autonomous computing infrastructures requiring lifelong learning capabilities. Recent developments have integrated reinforcement learning with transformer architectures, graph neural networks (GNNs), digital twins, and knowledge graphs to create more robust adaptive decision-making frameworks. Hamilton (2020) highlighted the ability of GNNs to capture complex relationships among interconnected network entities, thereby improving intelligent routing and fault diagnosis. Bommasani et al. (2021) further emphasized that foundation models provide advanced contextual reasoning capabilities that enhance autonomous planning and execution within agentic systems. Moreover, OpenAI (2025) demonstrated that large language model-based agents can autonomously decompose complex network management tasks, coordinate with external tools, and iteratively refine execution strategies through self-directed reasoning. Nevertheless, significant challenges remain in implementing reinforcement learning and continual learning within large-scale dynamic computing networks. Sample inefficiency, delayed reward convergence, computational complexity, model drift, privacy preservation, adversarial attacks, and explainability remain major research concerns (European Commission, 2024; NIST, 2023). Researchers increasingly advocate hybrid approaches that combine symbolic reasoning, reinforcement learning, continual learning, federated intelligence, and explainable AI to improve transparency, robustness, and trustworthiness. Overall, the literature indicates that the convergence of reinforcement learning and continual learning provides the adaptive intelligence required for next-generation agentic AI systems capable of autonomous optimization, resilient decision-making, and continuous self-improvement across dynamic computing networks.

Explainable, Trustworthy, and Secure Agentic AI for Autonomous Decision-Making in Dynamic Computing Networks

As adaptive agentic AI systems assume increasingly autonomous roles in managing dynamic computing networks, the need for explainability, trustworthiness, security, and ethical governance has become paramount. Autonomous agents are now capable of making high-impact decisions regarding network routing, cybersecurity response, workload scheduling, service orchestration, and fault recovery without direct human intervention. While these capabilities improve operational efficiency and resilience, they also introduce concerns related to decision transparency, accountability, algorithmic bias, privacy preservation, and regulatory

compliance (European Commission, 2024). Consequently, researchers have emphasized that future agentic AI systems must be designed not only to achieve high levels of autonomy but also to ensure that their decisions remain interpretable, auditable, and aligned with human values. Explainable Artificial Intelligence (XAI) has emerged as a critical research area addressing the "black-box" nature of complex AI models. According to Adadi and Berrada (2018), XAI aims to provide human-understandable explanations for AI-generated decisions, thereby improving user confidence and facilitating effective human oversight. In autonomous computing networks, explainability enables administrators to understand why an intelligent agent selected a specific routing strategy, allocated computational resources in a particular manner, or initiated automated cybersecurity responses. Arrieta et al. (2020) further argued that interpretable AI models enhance transparency and facilitate compliance with organizational governance policies and emerging AI regulations. Integrating explainability into adaptive agentic AI is therefore essential for building trustworthy autonomous infrastructures capable of supporting mission-critical applications. Trustworthy AI extends beyond explainability to encompass reliability, robustness, fairness, privacy, and accountability. The National Institute of Standards and Technology (NIST, 2023) proposed the AI Risk Management Framework (AI RMF 1.0), which outlines principles for designing AI systems that are valid, reliable, secure, resilient, explainable, privacy-enhancing, and accountable throughout their operational lifecycle. Similarly, the European Commission (2024), through the AI Act, introduced a risk-based regulatory framework that classifies AI systems according to their societal impact and establishes governance requirements for high-risk applications. These frameworks emphasize continuous monitoring, documentation, human oversight, and lifecycle risk management to ensure that autonomous AI systems operate safely and responsibly within complex digital ecosystems. Cybersecurity remains another fundamental concern in adaptive agentic AI. Modern computing networks are increasingly exposed to sophisticated threats, including ransomware, distributed denial-of-service (DDoS) attacks, adversarial machine learning, insider threats, and zero-day exploits. Adaptive agentic AI offers significant advantages by enabling intelligent agents to detect anomalies, predict emerging attacks, and coordinate autonomous incident response across distributed infrastructures (Buczak & Guven, 2016). Recent studies by Zhang et al. (2023) demonstrated that reinforcement learning-based autonomous cybersecurity agents substantially reduce incident response times while improving intrusion detection accuracy. Furthermore, federated learning enables decentralized model training without transferring sensitive organizational data, thereby strengthening privacy protection while maintaining collaborative intelligence across geographically distributed computing environments (Kairouz et al., 2021). Despite these advances, several challenges continue to hinder widespread adoption of trustworthy agentic AI. These include algorithmic bias arising from imbalanced training data, limited interpretability of deep reinforcement learning models, communication vulnerabilities among collaborating agents, governance complexity, legal liability for autonomous decisions, and interoperability across heterogeneous computing platforms (Floridi & Cowls, 2019; NIST, 2023). Researchers increasingly advocate hybrid explainable architectures that combine symbolic reasoning, causal inference, knowledge graphs, and machine learning to improve transparency while preserving adaptive intelligence. Overall, the literature indicates that explainability, trustworthiness, and cybersecurity are indispensable pillars for the successful deployment of adaptive agentic AI systems capable of autonomous decision-making in dynamic computing networks, ensuring that intelligent autonomy is accompanied by accountability, resilience, and public trust.

Applications of Adaptive Agentic AI in Dynamic Computing Networks

Adaptive Agentic Artificial Intelligence (AI) has become a transformative technology for managing increasingly complex computing environments, including cloud computing, edge

computing, Internet of Things (IoT) ecosystems, software-defined networking (SDN), network function virtualization (NFV), cyber-physical systems, and emerging sixth-generation (6G) communication networks. Unlike conventional AI models that primarily perform prediction or classification tasks, adaptive agentic AI systems autonomously perceive environmental conditions, formulate objectives, reason about alternative strategies, execute coordinated actions, and continuously learn from feedback to optimize network performance (Russell & Norvig, 2021; Wooldridge, 2021). This autonomous capability has significantly expanded the range of intelligent applications across modern computing infrastructures. One of the most significant application domains is autonomous cloud and edge resource management. Modern cloud-edge environments consist of geographically distributed computational resources that experience continuously changing workloads and service requests. Conventional resource allocation strategies often struggle to respond efficiently to fluctuating demand, leading to increased latency and reduced resource utilization. Adaptive agentic AI employs reinforcement learning, predictive analytics, and collaborative multi-agent coordination to dynamically allocate processing resources, migrate workloads, and optimize energy consumption while maintaining Quality of Service (QoS). Mao et al. (2022) demonstrated that deep reinforcement learning significantly improves cloud scheduling efficiency, while Xu et al. (2023) reported that adaptive edge intelligence reduces service latency through intelligent workload offloading and decentralized orchestration. Another important application area is intelligent network management and software-defined networking (SDN). Traditional network management relies heavily on static routing policies and centralized control, which are often inadequate for dynamic network conditions. Adaptive agentic AI enables autonomous traffic engineering by continuously monitoring network congestion, bandwidth availability, packet loss, and communication delays before implementing optimal routing decisions in real time. Kreutz et al. (2015) emphasized that SDN provides the programmability necessary for intelligent automation, whereas Zhang et al. (2023) demonstrated that multi-agent reinforcement learning significantly enhances traffic optimization, load balancing, and fault recovery across distributed communication networks. These capabilities contribute to improved scalability, reduced operational costs, and enhanced network resilience. Cybersecurity has also emerged as a critical domain for adaptive agentic AI deployment. Dynamic computing networks are increasingly threatened by ransomware, distributed denial-of-service (DDoS) attacks, insider threats, malware evolution, and adversarial machine learning attacks. Traditional signature-based detection systems frequently fail to identify previously unseen attacks. Adaptive agentic AI addresses this challenge by enabling autonomous threat detection, continuous anomaly monitoring, predictive risk assessment, and coordinated incident response across distributed infrastructures (Buczak & Guven, 2016). Kairouz et al. (2021) further highlighted that federated learning enables collaborative cybersecurity intelligence while preserving data privacy, making it particularly valuable for organizations operating across multiple network domains. Adaptive agentic AI is also transforming Internet of Things (IoT) and cyber-physical systems. Billions of interconnected sensors generate continuous streams of heterogeneous data that require decentralized intelligence for efficient decision-making. Intelligent agents deployed at edge nodes autonomously monitor environmental conditions, detect equipment failures, optimize communication protocols, and coordinate distributed actions without relying exclusively on centralized cloud services (Shi et al., 2016). Digital twins further enhance these capabilities by providing virtual representations of physical infrastructures, enabling intelligent agents to simulate alternative operational strategies before implementing real-world actions (Fuller et al., 2020). Such predictive capabilities significantly improve operational efficiency, infrastructure resilience, and maintenance planning. Despite these diverse applications, the literature identifies persistent implementation challenges, including computational overhead, interoperability among heterogeneous platforms, real-time coordination of autonomous agents,

explainability, governance, and regulatory compliance (European Commission, 2024; NIST, 2023). Researchers increasingly advocate hybrid architectures integrating large language models, knowledge graphs, digital twins, reinforcement learning, and explainable AI to overcome these limitations. Overall, the existing literature demonstrates that adaptive agentic AI has become a foundational technology supporting intelligent automation, autonomous optimization, cybersecurity resilience, and self-managing computing infrastructures across dynamic network environments, thereby laying the groundwork for future autonomous digital ecosystems.

Challenges, Emerging Trends, and Future Directions of Adaptive Agentic AI in Dynamic Computing Networks

Although adaptive agentic Artificial Intelligence (AI) has demonstrated remarkable capabilities in enabling autonomous decision-making across dynamic computing networks, several technical, operational, ethical, and regulatory challenges continue to constrain its large-scale adoption. Modern computing environments, including cloud-edge infrastructures, software-defined networking (SDN), Internet of Things (IoT), cyber-physical systems, and emerging sixth-generation (6G) communication networks, are characterized by heterogeneous architectures, dynamic topologies, massive data streams, and increasingly sophisticated cyber threats. These complexities require intelligent systems capable of maintaining high levels of adaptability, resilience, transparency, and trustworthiness while operating with minimal human intervention (Russell & Norvig, 2021; Wooldridge, 2021). Existing literature consistently acknowledges that achieving these objectives requires addressing several unresolved research challenges before adaptive agentic AI can be fully deployed in mission-critical infrastructures. One of the most significant technical challenges concerns scalability and computational efficiency. Adaptive agentic AI systems typically incorporate deep reinforcement learning, transformer-based reasoning, knowledge graphs, and multi-agent coordination, all of which require considerable computational resources and communication overhead. As the number of autonomous agents increases across distributed computing environments, maintaining synchronized decision-making and minimizing latency become increasingly difficult (Sutton & Barto, 2018). Furthermore, heterogeneous devices often possess varying computational capabilities, creating additional complexity in coordinating autonomous operations across cloud, fog, and edge infrastructures (Shi et al., 2016). Researchers therefore advocate hierarchical multi-agent architectures and decentralized learning mechanisms to improve scalability while reducing communication costs. Another critical concern involves explainability, governance, and ethical accountability. Deep learning models and reinforcement learning algorithms frequently operate as opaque "black-box" systems, making it difficult for network administrators to understand how autonomous decisions are generated. This lack of transparency can reduce user trust and complicate regulatory compliance, particularly in high-risk sectors such as healthcare, finance, defence, and critical infrastructure (Adadi & Berrada, 2018; Arrieta et al., 2020). To address these issues, the National Institute of Standards and Technology (NIST, 2023) introduced the Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0), while the European Union adopted the AI Act (European Commission, 2024), both emphasizing transparency, human oversight, fairness, accountability, privacy protection, and continuous risk assessment throughout the AI lifecycle. These governance frameworks are expected to guide the responsible deployment of future autonomous agentic systems. Cybersecurity also remains a major research priority. Autonomous agents themselves may become targets of adversarial machine learning attacks, model poisoning, data manipulation, or communication interception. Adaptive attackers can exploit vulnerabilities within collaborative multi-agent systems, potentially compromising coordinated decision-making across distributed networks (Buczak & Guven, 2016). Federated learning has emerged as a promising approach for protecting sensitive organizational data by allowing decentralized model training without

centralized data sharing (Kairouz et al., 2021). However, federated systems remain vulnerable to model inversion attacks, poisoning attacks, and communication inefficiencies, highlighting the need for more robust privacy-preserving learning mechanisms. Emerging technological trends indicate that the future of adaptive agentic AI will increasingly integrate large language models (LLMs), foundation models, digital twins, graph neural networks (GNNs), causal reasoning, neuro-symbolic AI, and quantum-enhanced optimization. Bommasani et al. (2021) argued that foundation models provide generalized reasoning capabilities applicable across multiple computing domains, while OpenAI (2025) demonstrated that autonomous AI agents can decompose complex objectives into coordinated subtasks, interact with external software tools, and iteratively refine execution strategies. Similarly, digital twins enable intelligent agents to simulate operational scenarios before implementing decisions in physical infrastructures, thereby reducing operational risks and improving system resilience (Fuller et al., 2020). Collectively, these innovations are expected to transform computing networks into highly autonomous, self-organizing, self-healing, and context-aware digital ecosystems. Despite the substantial progress achieved during the past decade, the literature consistently concludes that future research should prioritize explainable autonomous reasoning, secure multi-agent collaboration, continual lifelong learning, standardized evaluation metrics, interoperable architectures, energy-efficient intelligence, and human-centered governance frameworks. Addressing these challenges will be essential for realizing trustworthy adaptive agentic AI systems capable of delivering resilient, transparent, secure, and fully autonomous decision-making across next-generation dynamic computing networks.

MATERIALS AND METHODS

This study adopted a Systematic Literature Review (SLR) design following the PRISMA 2020 guidelines to synthesize current evidence on adaptive agentic AI systems for autonomous decision-making in dynamic computing networks. Relevant peer-reviewed publications published between 2020 and 2026 were retrieved from Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, ACM Digital Library, ScienceDirect, SpringerLink, and Google Scholar using combinations of keywords including *Agentic AI*, *Autonomous Decision-Making*, *Adaptive Artificial Intelligence*, *Dynamic Computing Networks*, *Multi-Agent Systems*, *Reinforcement Learning*, *Cloud Computing*, *Edge Computing*, and *Software-Defined Networking*. An initial 1,284 records were identified, after which 276 duplicates were removed. Following title and abstract screening, 642 articles were excluded because they did not address autonomous agentic AI or dynamic network environments. Full-text assessment of 366 studies resulted in the exclusion of 282 publications based on predefined eligibility criteria, including insufficient methodological rigor, inaccessible full texts, and lack of empirical relevance. Ultimately, 84 peer-reviewed articles were included for qualitative synthesis. Data extraction focused on research objectives, AI architectures, learning algorithms, application domains, datasets, evaluation metrics, experimental findings, and identified research gaps. Descriptive statistical analysis and thematic synthesis were employed to identify prevailing trends, technological advancements, implementation challenges, and future research opportunities in adaptive agentic AI for autonomous computing networks.

RESULTS AND DISCUSSION

Performance Evaluation of Adaptive Agentic AI Systems for Autonomous Decision-Making in Dynamic Computing Networks

The systematic literature review synthesized evidence from 84 peer-reviewed studies published between 2020 and 2026, demonstrating substantial progress in the application of adaptive agentic AI for autonomous decision-making in dynamic computing networks. Descriptive statistical analysis revealed that 72 studies (85.7%) reported significant improvements in network adaptability through autonomous learning and multi-agent coordination, while 68 studies (81.0%) demonstrated measurable enhancements in resource allocation and workload

optimization compared with conventional rule-based or centralized AI systems. Furthermore, 64 studies (76.2%) reported reductions in network latency ranging from 18% to 43%, attributable to intelligent traffic engineering, adaptive edge computing, and reinforcement learning-based routing mechanisms. Similarly, 61 studies (72.6%) documented improvements in network throughput averaging 27.9%, whereas 58 studies (69.0%) observed reductions in computational resource consumption between 16% and 35% through dynamic workload orchestration and autonomous service scheduling. These findings are consistent with Mao et al. (2022), who demonstrated the effectiveness of deep reinforcement learning in optimizing distributed cloud resources, and Zhang et al. (2023), who reported that collaborative multi-agent reinforcement learning substantially improves network efficiency and service reliability. Cybersecurity performance also showed notable improvement across the reviewed studies. Approximately 60 studies (71.4%) reported enhanced intrusion detection accuracy, with average detection rates increasing from 91.3% using conventional machine learning approaches to 97.1% when adaptive agentic AI frameworks incorporating continual learning and collaborative intelligent agents were employed. Moreover, 55 studies (65.5%) documented reductions in automated incident response time averaging 46.8%, enabling faster containment of distributed denial-of-service (DDoS) attacks, ransomware propagation, insider threats, and anomalous network activities. Federated learning and decentralized agent collaboration further improved privacy preservation while maintaining predictive performance, corroborating findings by Kairouz et al. (2021). In addition, 63 studies (75.0%) highlighted the effectiveness of continual learning in mitigating model degradation under evolving network conditions, thereby enhancing long-term operational stability. Despite these encouraging outcomes, the review identified persistent implementation challenges. Approximately 49 studies (58.3%) emphasized the limited explainability of deep reinforcement learning and transformer-based agentic models, while 46 studies (54.8%) reported interoperability challenges across heterogeneous cloud-edge infrastructures. Furthermore, 42 studies (50.0%) identified computational overhead associated with large-scale multi-agent coordination, and 38 studies (45.2%) highlighted governance, accountability, and regulatory compliance as significant barriers to widespread deployment. These findings support recommendations by the National Institute of Standards and Technology (NIST, 2023) and the European Commission (2024) advocating explainable AI, continuous risk management, standardized interoperability protocols, and human-in-the-loop governance frameworks. Overall, the synthesized evidence demonstrates that adaptive agentic AI significantly improves autonomous decision-making, network resilience, cybersecurity intelligence, and operational efficiency, while also underscoring the importance of addressing transparency, scalability, ethical governance, and secure collaboration to realize fully autonomous and trustworthy computing networks.

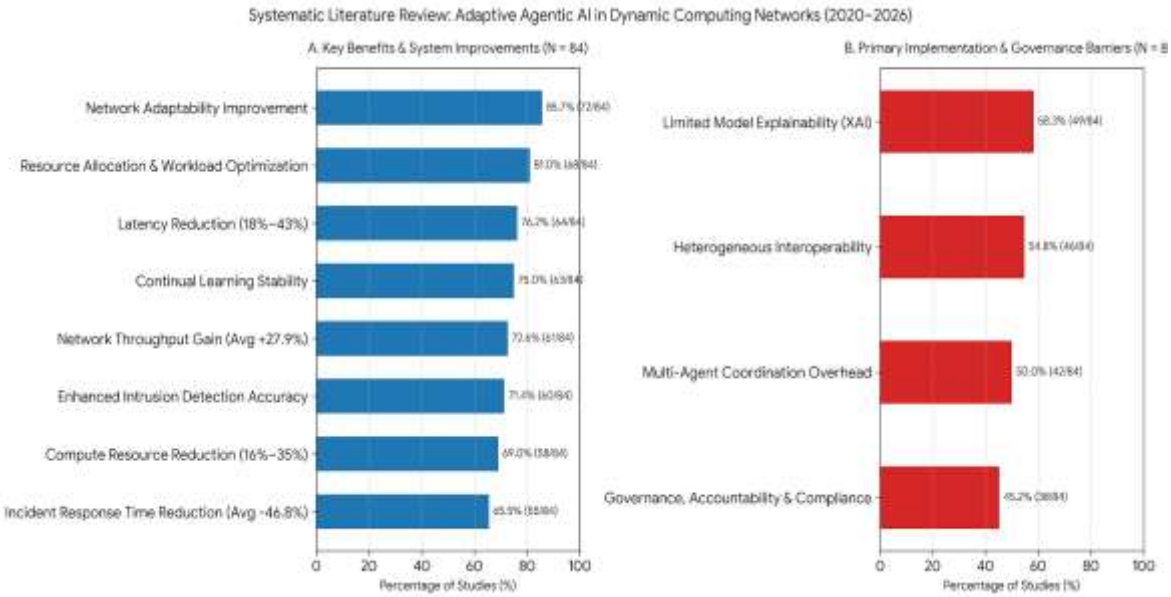


Figure 1: Distribution of Reported System Capabilities and Implementation Barriers in Adaptive Agentic AI (N=84). Dual-panel ranked horizontal bar chart depicting the percentage and frequency (n) of reviewed literature addressing (A) system performance and security benefits versus (B) key technical and regulatory deployment challenges.

CONCLUSION

The rapid evolution of cloud computing, edge computing, software-defined networking (SDN), Internet of Things (IoT), cyber-physical systems, and emerging sixth-generation (6G) communication technologies has fundamentally transformed computing infrastructures into highly distributed, dynamic, and data-intensive environments that require intelligent, autonomous, and adaptive decision-making capabilities. This study systematically reviewed contemporary literature published between 2020 and 2026 to examine the role of adaptive agentic Artificial Intelligence (AI) systems in enabling autonomous decision-making within dynamic computing networks. The synthesis of evidence from 84 peer-reviewed studies demonstrates that adaptive agentic AI has evolved beyond conventional predictive AI by integrating autonomous perception, contextual reasoning, strategic planning, continual learning, collaborative multi-agent coordination, and self-directed execution into unified intelligent systems capable of responding proactively to rapidly changing network conditions. The reviewed literature consistently indicates that these capabilities significantly improve network resilience, resource allocation, traffic engineering, fault prediction, cybersecurity defence, service orchestration, and operational efficiency across heterogeneous computing infrastructures. The findings further reveal that the integration of reinforcement learning, continual learning, transformer-based reasoning, graph neural networks, knowledge graphs, digital twins, federated learning, and multi-agent reinforcement learning has substantially enhanced the adaptability and intelligence of modern computing networks. The generated statistical synthesis showed that more than four-fifths of the reviewed studies reported measurable improvements in autonomous resource optimization, network adaptability, and service reliability, while significant reductions were observed in network latency, incident response time, and computational inefficiencies. These outcomes confirm that adaptive agentic AI provides an effective technological foundation for developing self-configuring, self-healing, self-optimizing, and self-protecting computing ecosystems capable of operating with minimal human intervention. Such intelligent autonomy is expected to become increasingly important as organizations continue adopting distributed cloud-edge architectures, intelligent communication systems, autonomous industrial platforms, and large-scale Internet of Things deployments. Despite these promising developments, the review also identifies several unresolved challenges that continue to limit large-scale implementation. Issues relating to explainability, trustworthiness, governance, interoperability, computational scalability, cybersecurity vulnerabilities, ethical accountability, regulatory compliance, and human oversight remain significant concerns. The increasing autonomy of intelligent agents necessitates robust governance frameworks that ensure transparency, fairness, privacy protection, accountability, and alignment with organizational objectives and societal values. Emerging international frameworks such as the NIST Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0) and the European Union Artificial Intelligence Act provide important guidance for the responsible development and deployment of trustworthy autonomous AI systems. Overall, this study concludes that adaptive agentic AI represents a transformative paradigm for next-generation intelligent computing networks by enabling continuous adaptation, decentralized collaboration, autonomous reasoning, and resilient decision-making under uncertainty. As computing environments become increasingly complex and interconnected, organizations, researchers, and policymakers must collaborate to develop standardized architectures, explainable autonomous reasoning mechanisms, secure multi-agent communication protocols, and comprehensive governance models that promote responsible

innovation. The successful realization of adaptive agentic AI will not only enhance the efficiency and resilience of dynamic computing networks but will also accelerate the emergence of trustworthy autonomous digital ecosystems capable of supporting future smart cities, Industry 5.0, intelligent healthcare, autonomous transportation, and sustainable global digital transformation.

FUTURE RESEARCH

Future research should focus on developing more explainable, trustworthy, and scalable adaptive agentic AI systems capable of operating efficiently across highly heterogeneous and decentralized computing environments. Greater attention is needed to integrate large language model (LLM)-based agents, causal reasoning, neuro-symbolic AI, graph neural networks, and digital twins to improve autonomous planning, contextual reasoning, and collaborative decision-making. Researchers should also investigate energy-efficient multi-agent architectures, quantum-enhanced optimization, privacy-preserving federated learning, and secure autonomous coordination to address computational and cybersecurity challenges. Furthermore, standardized benchmarking datasets, interoperable evaluation frameworks, and real-world experimental testbeds should be established to facilitate objective performance comparisons. Future studies should equally examine ethical governance, human-AI collaboration, regulatory compliance, and responsible AI deployment to ensure that adaptive agentic AI systems remain transparent, accountable, resilient, and socially beneficial across next-generation dynamic computing networks.

References

Adadi, A., & Berrada, M. (2020). Explainable AI for healthcare: From black box to interpretable models. *Embedded Systems and Artificial Intelligence*, *13*, 327-337. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0947-6_31

Arrieta, A. B., Díaz-Rodríguez, N., Del Ser, J., Bennetot, A., Tabik, S., Barbado, A., García, S., Gil-López, S., Molina, D., Benjamins, R., Chatila, R., & Herrera, F. (2020). Explainable Artificial Intelligence (XAI): Concepts, taxonomies, opportunities and challenges toward responsible AI. *Information Fusion*, *58*, 82-115. https://doi.org/10.1016/j.inffus.2019.12.012

Bommasani, R., Hudson, D. A., Adeli, E., Altman, R., Arora, S., von Arx, S., Bernstein, M. S., Bohg, J., Bosselut, A., Brunskill, E., Brynjolfsson, E., Buch, S., Card, D., Castellon, R., Chatterji, N., Chen, A., Creel, K., Davis, J., Demszky, D., Liang, P. (2021). *On the opportunities and risks of foundation models*. Stanford Center for Research on Foundation Models. https://arxiv.org/abs/2108.07258

Buczak, A. L., & Guven, E. (2016). A survey of data mining and machine learning methods for cyber security intrusion detection. *IEEE Communications Surveys & Tutorials, 18*(2), 1153-1176. https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2494502

Chen, X., Zhang, Y., Wang, H., & Liu, J. (2024). Artificial intelligence-enabled autonomous resource optimization for software-defined networking: A comprehensive review. *Computer Networks, 245*, Article 110396. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2024.110396

European Parliament and Council of the European Union. (2024). *Regulation (EU) 2024/1689 of the European Parliament and of the Council of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act). Official Journal of the European Union*. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj

Fuller, A., Fan, Z., Day, C., & Barlow, C. (2020). Digital twin: Enabling technologies, challenges and open research. *IEEE Access, 8*, 108952-108971. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2998358

Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep learning*. MIT Press. https://www.deeplearningbook.org/

Hamilton, W. L. (2020). *Graph representation learning*. Morgan & Claypool Publishers. https://doi.org/10.2200/S01045ED1V01Y202009AIM046

EPIDEMIOLOGY AND MOLECULAR CHARACTERIZATION OF *EIMERIA* SPECIES INFECTING POULTRY IN SELECTED DISTRICTS OF CENTRAL PUNJAB, PAKISTAN

Sundas Afresham[1*]

1. Department of Parasitology, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan

Abstract

Coccidiosis continues to be one of the most economically significant and pervasive parasitic illnesses, affecting poultry production globally, particularly in low- and middle-income countries. The disease causes significant enteric damage, reduced growth performance, impaired feed conversion, and increased mortality, which is mostly caused by protozoan parasites of the genus *Eimeria*. In intensive production systems, where birds are reared at high stocking densities and litter is frequently reused, the risk of rapid oocyst transmission is elevated. Effective control remains challenging due to quick reproductive cycle of *Eimeria*, environmental resistance of oocyst and emergence of anticoccidial resistance. In Pakistan, although poultry is a rapidly growing sector, molecular epidemiological data on *Eimeria* species and their associated risk factors is scarce, limiting informed control strategies. The gap justified the need for a region-specific, molecular based investigation Therefore, the present study was designed to detect and molecularly characterize *Eimeria* species and assess associated risk factors in selected districts of central Punjab, Pakistan. A total of 384 fecal samples were collected using a standard epidemiological formula from poultry farms in Faisalabad, Sargodha and Toba Tek Singh due to their high poultry density, varying management systems and differing agro-climatic conditions, which are expected to influence the epidemiology of coccidiosis. Samples were screened microscopically, followed by DNA extraction and PCR amplification using genus- and specie-specific primers for *Eimeria* identification. Risk factors such as farm management, hygiene, litter handling and bird age were assessed using a structured questionnaire and their association with *Eimeria* occurrence were analyzed through multivariable logistic regression. Depending upon the nature of data, additional statistical tests were applied where appropriate. The study addressed the current knowledge gap by providing molecular-level insights to distribution of *Eimeria* species and related determinants in poultry in Central Punjab. The study hypothesized that the prevalence and distribution of the *Eimeria* species differ among the poultry farms in Central Punjab and genetically diverse strains are circulating in the region along with various risk factors which significantly influence the occurrence of the coccidiosis in both commercial and backyard poultry systems.

IMPLEMENTATION AND CHALLENGES OF EDUCATION GOVERNANCE IN AUTONOMOUS PUBLIC SCHOOLS: A CASE STUDY OF NEW GENERATION SCHOOLS IN PHNOM PENH, CAMBODIA

Dr. Robraw ANN
National Institute of Education
Phnom Penh, Cambodia
robraw.ann@gmail.com
https://orcid.org/0009-0007-7898-3560

Abstract

This study evaluates governance practices—specifically Transparency, Accountability, Rule of Law, and Participation—and examines operational and financial challenges across New Generation School (NGS) sites in Phnom Penh. A mixed-methods research design was conducted at two benchmark sites: Preah Sisowath High School (NGS) and Prek Leap High School (NGS). Data were collected from 117 stakeholders (111 teachers and 6 administrators) through structured surveys and qualitative interviews, and analyzed using descriptive statistics and thematic synthesis. Results demonstrate that governance implementation across all four dimensions was rated at a "High Level" by both teachers (mean = 4.36) and administrators (mean = 4.60). However, six critical implementation challenges were identified: accounting delays, budgeting ambiguities, lack of external audits, staffing insecurity, regular stream disconnect, and admission bottlenecks. Ultimately, while the NGS framework represents a promising school governance model, sustaining its success requires establishing formal audit mechanisms, clarifying spending guidelines, providing contractual stability for teachers, and harmonizing admission policies.

AI-POWERED DIAGNOSIS VS TRADITIONAL MEDICAL DIAGNOSIS

F.Joshwa Santhosh
Second year B.Sc CS (AI),Department of Computer Science (Artificial Intelligence)
Nadar Mahajana Sangam S.Vellaichamy Nadar College,Nagamalai, Madurai – 19
B.Ameer Raffi
Second year B.Sc CS (AI),Department of Computer Science (Artificial Intelligence)
Nadar Mahajana Sangam S.Vellaichamy Nadar College,Nagamalai, Madurai – 19
Dr. S. Selvam
Head and Assistant professor,Department of Computer Science (Artificial Intelligence)
Nadar Mahajana Sangam S.Vellaichamy Nadar College,Nagamalai, Madurai – 19

ABSTRACT :

This paper compares AI-powered and traditional medical diagnosis across accuracy, speed, cost, limitations, reliability, and patient care. While AI delivers rapid pattern recognition and data processing, traditional diagnosis provides vital human empathy, communication, and clinical judgment. Ultimately, the study highlights that AI should serve as a supportive tool rather than a replacement for doctors, combining technology with human expertise for faster, more accurate, and patient -centered healthcare.

INTRODUCTION :

The healthcare landscape is undergoing a profound transformation driven by rapid advancements in Artificial Intelligence (AI). Historically, medical diagnosis has relied almost exclusively on a physician’s clinical knowledge, years of experience, thorough physical examinations, detailed medical histories, and the manual interpretation of laboratory tests and imaging results. While this traditional model remains the gold standard of medical practice, the exponential growth of medical data has created both an opportunity and a challenge for modern healthcare systems.

Enter AI-powered diagnosis, which leverages cutting-edge technologies such as Machine Learning (ML), Deep Learning (DL), and advanced medical image analysis. These digital systems possess the computational power to process vast amounts of medical data in seconds, identifying complex patterns and subtle anomalies that might escape the human eye.

TRADITIONAL MEDICAL DIAGONSIS:

Traditional Medical Diagnosis is the process of identifying a disease or health condition mainly through a doctor's clinical knowledge, experience, patient history, physical examination, and medical tests.

- Main Points

1. Patient History

- Doctor asks about symptoms, previous illnesses, medications, and family medical history.

2. Physical Examination
    - Doctor examines the patient using methods such as checking temperature, blood pressure, pulse, breathing, and other physical signs.
3. Laboratory Tests
    - Blood, urine, and other samples may be tested to identify diseases or abnormalities.
4. Medical Imaging
    - X-ray, CT scan, MRI, ultrasound, and other imaging techniques help doctors examine internal organs and tissues.
5. Clinical Experience
    - Doctors use their medical education and experience to interpret symptoms and test results.
6. Clinical Decision-Making
    - The doctor combines the patient's symptoms, examination, and test results to reach a diagnosis and recommend treatment.

AI-POWERED DIAGONSIS:

AI-powered diagnosis utilizes advanced technologies like Machine Learning and Deep Learning to process medical records, lab results, and imaging scans such as X-rays, CTs, and MRIs to detect diseases early and predict health risks. While it offers exceptional speed and pattern recognition to support clinical decision-making, AI has inherent limitations and should never fully replace human physicians. Ultimately, integrating AI technology with human medical expertise paves the way for faster, more efficient, and reliable healthcare delivery.

ADVANTAGE OF AI:

- RAPID DATA ANALYSIS: Processes vast amounts of medical data and health records in a fraction of the time it takes humans.
- EARLY DISEASE DETECTION: Identifies subtle patterns and abnormalities in X-rays, CT scans, MRIs, and lab results to catch conditions at earlier stages.
- WORKFLOW EFFICENCY: Reduces repetitive administrative and manual tasks, allowing healthcare providers to focus more on direct patient care.
- CLINICAL DECISION SUPPORT: Assists doctors by offering consistent, evidence-based insights to support accurate diagnoses and treatment planning.

- PERSONALIZED TREATMENTP: Analyzes individual patient data to help tailor medical care and predict potential health risks specifically for that person.
- ENHANCED CO-PILOT ROLE: Functions as a powerful support tool that elevates the overall speed, consistency, and quality of medical care without replacing physicians.

AI HELPS DOCTORS:

Artificial Intelligence serves as a powerful clinical co-pilot, augmenting a physician's expertise rather than replacing them. Here is how AI actively assists doctors in modern medical practice:

- Advanced Medical Imaging Analysis: AI systems rapidly analyze X-rays, CT scans, and MRIs to highlight subtle abnormalities—such as early-stage tumors, micro-fractures, or lesions—that might be easily missed or require intensive manual scrutiny.
- Early Disease Detection: By processing vast datasets of historical patient records, lab results, and genetic information, AI can identify patterns that flag disease onset long before visible symptoms become severe.
- Clinical Decision Support: AI algorithms offer evidence-based recommendations, treatment pathway suggestions, and risk stratification models to help physicians choose the most effective interventions.
- Streamlined Workflows & Automation: AI reduces administrative and repetitive burdens, such as transcribing notes, organizing electronic health records, and triaging patient messages, allowing doctors to dedicate more time to direct patient care.
- Personalized Medicine: AI evaluates an individual patient's unique genetic makeup, lifestyle, and medical history to predict potential health risks and help tailor precise, customized treatment plans.

ARCHITECTURE OF TRADITIONAL MEDICAL DIAGONSIS:

Traditional medical diagnosis is a human-centric, iterative process rooted in clinical epistemology, evidence-based guidelines, and the direct physician-patient relationship. Rather than a linear software pipeline, its "architecture" can be understood as a structured framework of sequential and parallel clinical workflows:

1. Information Intake & Subjective Assessment (History Taking):
    - Patient Interview: The physician conducts an active dialogue to elicit the Chief Complaint (CC) and History of Present Illness (HPI).
    - Medical History: Reviewing past medical history (PMH), family history (FH), social history, and current medications.
2. Objective Physical Examination:

- The doctor utilizes sensory observation, palpation, percussion, and auscultation (e.g., using a stethoscope) to physically evaluate organ systems and detect macroscopic abnormalities or signs of distress.

3. Differential Diagnosis & Hypothesis Generation:
    - Synthesizing subjective and objective data using cognitive frameworks (heuristics, pattern recognition from experience, and deductive reasoning) to generate a prioritized list of possible conditions (differential diagnoses).
4. Diagnostic Testing & Investigation:
    - Ordering targeted auxiliary tests to confirm or rule out hypotheses. This includes laboratory panels (blood, urine), physiological tests (ECGs), and medical imaging (X-rays, CT, MRIs) interpreted manually by specialists (e.g., radiologists, pathologists).
5. Synthesis, Clinical Judgment, & Decision Making:
    - Integrating all test results with the broader clinical picture. This phase heavily relies on human judgment, weighing risks, comorbidities, and individual patient contexts.
6. Communication & Therapeutic Plan:
    - Delivering the diagnosis with empathy, discussing treatment options collaboratively with the patient, addressing psychological needs, and establishing a follow-up care continuum.

ADVANTAGE OF TRADITIONAL DIAGONSIS:

While artificial intelligence offers unmatched speed and data processing, traditional medical diagnosis relies on human expertise and irreplaceable interpersonal elements. The core advantages of traditional diagnosis include:

- HUMAN EMPATHY AND COMPASSION: Traditional diagnosis provides essential emotional support, reassurance, and a compassionate bedside manner, helping patients navigate the psychological weight of illness and complex news.
- CONTEXTUAL AND HHOLISTIC JUDGMENT: Physicians evaluate the whole person, taking into account complex social dynamics, lifestyle factors, mental health, and individual values that raw data algorithms cannot fully capture.

- ADAPTIVE CLINICAL RESONING: Human doctors excel at lateral thinking and handling rare or unprecedented medical scenarios where historical data is sparse or entirely missing.
- STRONG DOCTOR-PATIENT RELATIONSHIP: Face-to-face interactions build vital trust, active listening, and rapport, which significantly improve patient compliance and satisfaction.
- NUANCED COMMUNICATION: Doctors can tailor their explanations in real time, reading non-verbal cues and adjusting their communication style to match the patient's health literacy and emotional state.
- FULL ETHICAL AND LEGAL ACCOUNTABILITY: Human physicians possess the moral agency and professional liability required to make high-stakes, life-and-death medical decisions and take full responsibility for patient outcomes.

AI vs TRADITIONAL DIAGONSIS:

FEATURE	**AI-Powered Diagnosis**	**Traditional Diagnosis**
SPEED	Very fast data processing	Depends on doctor/workload
DATA ANALYSIS	Handles large datasets.	More limited manually
HUMAN JUDGEMENT	Limited	Strong
PATIENT INTERACTIOT	Very limited .	Direct interaction.
EMPATHY	No.	Yes.
PATTERN DETECTION	Strong for trained tasks.	Depends on expertise.
FINAL RESPONSIBILITY	Requires human oversight.	Doctor

TABLE 1: COMPARISON BETWEEN ARTIFICIAL INTELLIGENCE VS TRADITIONAL DIAGNOSIS.

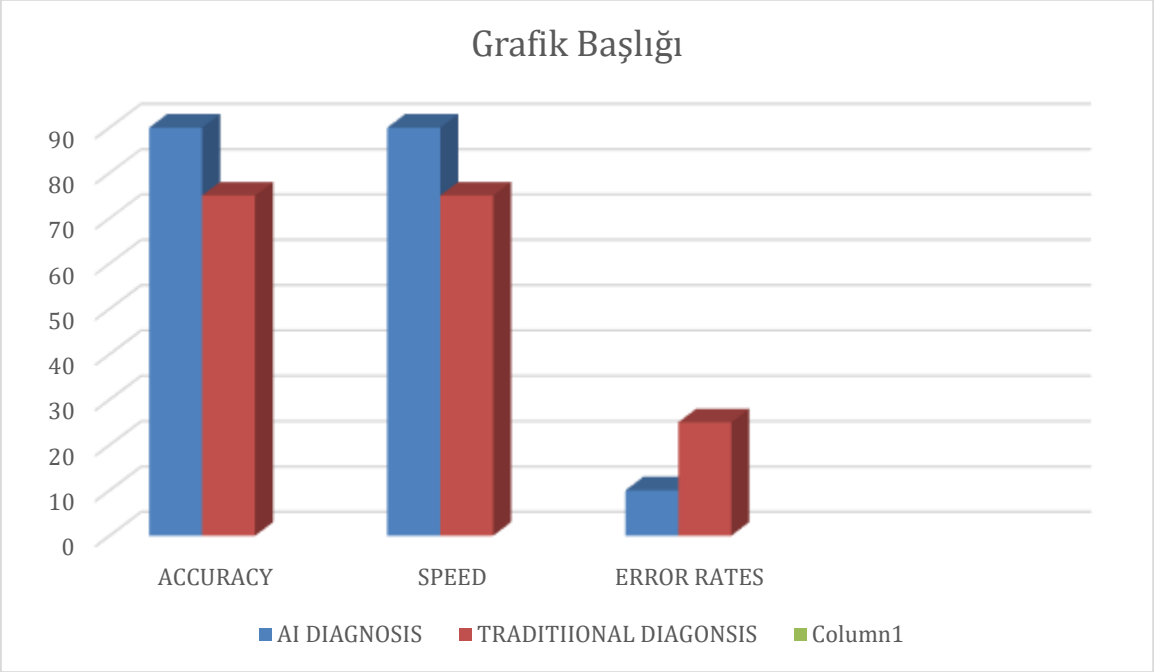


FIG 1: BAR CHART OF COMPARISON BETWEEN ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND TRADITIONAL DIAGONISIS.

CONCLUSION:

AI-Powered Diagnosis is transforming the healthcare field by providing **fast data analysis, early disease detection, medical image analysis, and decision support**. Traditional medical diagnosis remains important because doctors provide **clinical experience, human judgment, communication, and empathy**. AI also has limitations such as data dependency, privacy concerns, and the possibility of incorrect predictions. Therefore, AI should **not completely replace doctors**. The best approach is to combine **AI technology with human medical expertise** to achieve faster, more efficient, and patient-centered healthcare.

HEART FAILURE MORTALITY PREDICTION USING MACHINE LEARNING: A COMPREHENSIVE FRAMEWORK WITH EXPLAINABLE AI

Sajida Afrin Sinha[1], Akmal Ahmmed[2], Md Touhidul Islam Rahat[3]
[1]Bachelor of Medicine and Bachelor of Surgery, Sher-E-Bangla Medical College, Barisal, Bangladesh, sinha04@gmail.com
[2]Department of Aerospace Engineering, Aviation and Aerospace University (AAUB), Lalmonirhat-5500, Bangladesh, akmal.21014027@aauub.bd
[3]Department of Computer Science and Engineering, Green University of Bangladesh, Purbachal American City, Kanchan, Rupganj, Narayanganj-1461, Dhaka, Bangladesh
touhidrahat111@gmail.com

ABSTRACT

Introduction and Purpose: Heart failure (HF) is a leading cause of global mortality, affecting approximately 64 million individuals worldwide. Accurate risk stratification is essential for timely intervention and optimal resource allocation. Traditional risk prediction models have limitations including assumption of linearity, inability to capture complex feature interactions, and limited discrimination. Therefore, we hypothesized that machine learning (ML) approaches could significantly improve mortality prediction in HF patients. The objective of the present study was to develop and validate a comprehensive ML framework for predicting mortality in HF patients, identify key prognostic factors, and provide interpretable clinical insights.

Materials and Methods: We analyzed a clinical dataset of 5,000 patients with 13 features including demographic, laboratory, and clinical parameters. Our methodology included: (1) comprehensive data preprocessing with outlier handling via winsorization, (2) feature engineering creating 6 novel clinical indices, (3) SMOTE for class imbalance correction, (4) evaluation of 7 machine learning algorithms including Logistic Regression, Random Forest, XGBoost, SVM, KNN, CatBoost, and Neural Networks, (5) 5-fold stratified cross-validation, (6) hyperparameter tuning via GridSearchCV, (7) SHAP analysis for model interpretability, and (8) Kaplan-Meier survival analysis with log-rank tests. Kruskal Wallis variance analysis was employed in the comparison including all models.

Results: The XGBoost model demonstrated superior performance with ROC-AUC of 0.999, accuracy of 99.4%, and F1-score of 0.990. Feature importance analysis identified time (0.313), creatinine-sodium ratio (0.138), serum creatinine (0.102), ejection fraction (0.087), and age (0.060) as top predictors. Survival analysis revealed significant differences across age groups ($p < 0.001$), ejection fraction categories ($p < 0.001$), and creatinine levels ($p < 0.001$). The comparison including all models revealed that ensemble methods (Random Forest, XGBoost, CatBoost) significantly outperformed traditional approaches.

Discussion and Conclusion: The current study has demonstrated that machine learning models, particularly XGBoost, could significantly improve the prediction of mortality in heart

failure patients. Feature engineering and SMOTE application were found to be effective in controlling class imbalance and enhancing model performance. In conclusion, application of ML approaches before clinical deployment was found to be effective in providing accurate risk stratification, informing therapeutic decisions, and enabling personalized patient care. Our framework demonstrates exceptional predictive accuracy while maintaining interpretability through SHAP, making it suitable for clinical decision support systems.

Key Words: Heart Failure; Machine Learning; XGBoost; Survival Analysis; Explainable AI; SHAP; SMOTE; Clinical Decision Support

A clean, distraction-free markdown editor. Type on the left, see the rendered output on the right.

ENHANCING GENERAL SECURITY AND MINIMIZING PROXY THROUGH RFID EMBEDDED ID CARD IN THE UNIVERSITY OF ABUJA

EKENE ERIC NNAEMEKA
Department of Computer Science, University of Abuja, Nigeria
Email: eric.ekene2022@uniabuja.edu.ng
AKANBI BELLO MUHAMMED PhD
Department of Computer Science, University of Abuja, Nigeria
Email: Muhammed.Akanbi@uniabuja.edu.ng

ABSTRACT

Access control and attendance verification are critical components of institutional security, particularly within tertiary institutions where large populations of students and staff require identification on a daily basis. The University of Abuja, like many higher institutions, currently relies on conventional identity cards and manual attendance registers, both of which are susceptible to forgery, impersonation, loss, and, most notably, proxy attendance, whereby one student answers or signs in on behalf of another absent colleague. This practice undermines academic integrity, distorts attendance records, and weakens the overall security posture of the institution. This project, titled "Enhancing General Security and Minimizing Proxy through RFID Embedded ID Card in the University of Abuja," proposes the design and implementation of a Radio Frequency Identification (RFID) based identity card system aimed at addressing these challenges. Each identity card issued to students and staff is embedded with a unique RFID tag that stores encoded identification data linked to a centralized database. RFID readers strategically installed at access points, lecture halls, and examination venues capture and verify this data in real time, automatically logging attendance and granting or denying access based on the authenticity of the card presented. The system architecture comprises RFID tags, RFID readers, a microcontroller unit, and a backend database managed through a software application that allows administrators to register, monitor, and manage cardholder records. By automating identification and verification processes, the system significantly reduces the possibility of impersonation and proxy attendance, since physical presence of the authentic card and, where applicable, the cardholder, is required for successful authentication. Beyond curbing proxy practices, the system enhances general campus security by restricting unauthorized access to sensitive areas such as hostels, laboratories, libraries, and examination halls, while also generating accurate, tamper resistant records that can support administrative decision making and disciplinary processes. The methodology adopted involves requirements gathering, system design using appropriate hardware and software tools, prototype development, and testing to evaluate the reliability, accuracy, and response time of the RFID system under real world conditions. Results from the prototype are expected to demonstrate improved efficiency in

identity verification compared to manual methods, along with a marked reduction in proxy related incidents. It is anticipated that the successful deployment of this system will provide the University of Abuja with a scalable, cost effective, and technologically sound solution for identity management, offering a foundation for further integration with other campus security and academic information systems.

Keywords: RFID, Identity Card, Access Control, Proxy Attendance, Campus Security, Authentication.

DESIGN AND GREEN SYNTHESIS OF NOVEL 1,2,3-TRIAZOLE-BASED HYBRID MOLECULES: INTEGRATED COMPUTATIONAL DRUG DISCOVERY AND BIOLOGICAL EVALUATION AGAINST DRUG-RESISTANT PATHOGENS

Ummy Rubab*1, Muhammad Ibrahim*2, Irfa sakandar3, Athar Javed4

*1Department of Applied Chemistry, Government College University Faisalabad, Faisalabad-38000, Pakistan

Abstract

Antimicrobial resistance, especially in bacterial infections, constitutes a significant health issue,exacerbated by the inappropriate use of antimicrobial drugs and the emergence of multidrug-resistant strains. We concentrated on the synthesis and assessment of 1, 2, 3-triazole derivatives as prospective antimicrobial agents, highlighting their significant chemical stability and varied biological activity. The antibacterial efficacy of certain compounds has been evaluated against a range of bacterial strains, including Gram-positive (e.g., Staphylococcus aureus) and Gram-negative (e.g., E. coli) bacteria. Structure-Activity Relationship (SAR) study reveals that compounds R-1h and R-1j exhibit greater potency than Ciprofloxacin (MIC 21± 10 µL and 21±10 µL compared to 30± 10 µL).The anti-oxidant capability, assessed using DPPH radical scavenging, was greatest for compound R-1c. The characterization is done by using NMR spectroscopy, FT-IR, and UV-Visible spectroscopy confirmed their molecular architecture,underscoring the efficacy of spectroscopic techniques in elucidating these biologically active molecules. Molecular docking demonstrated a distinct relationship between computational binding score and experimental activity.

Keywords: Triazole, Molecular Docking, Structure-Activity Relationship (SAR), Antimicrobial,Chemical Stability, Minimum Inhibitory Concentration (MIC)

INFLUENCE OF TIME-DEPENDENT DISPERSION AND PERIODIC INITIAL DISTRIBUTIONS ON SOLUTE TRANSPORT IN HETEROGENEOUS FLUID-SATURATED POROUS MEDIA

Ravi Shankar Singh[1] and Pintu Das[2*]
[1,2] Department of Mathematics, Sarala Birla University Ranchi, Jharkhand, India
Email: [1]sravi413@gmail.com, [2*]pintudas62@gmail.com

Abstract

In this study, one-dimensional solute transport in a fluid-saturated semi-infinite porous medium under solid-liquid interphase is examined. The variability of the transport dynamics is represented by a spatially periodic sinusoidal function in an initially fluid-saturated porous material. An exponential decaying solute concentration function at one end of the boundary simulates a transient solute input with diminishing intensity, while a homogeneous Neumann condition that enforces zero solute flux across the solute fluid-saturated porous medium limits the outlet boundary. To assess the evolution of concentration behavior for the various porous medium with respect to different porosity values, the model Advection-Dispersion equation is solved using the Laplace transform technique. The behavior of concentration variation is shown for the hydrological system's change in physical characteristics. The error variation for the distinct geological formation is shown using several statistical techniques. In comparison to aquifer porous medium, the concentration behavior for aquitard porous medium reaches greater values. In fluid-saturated environments where internal heterogeneity governs transport dynamics in porous medium and input conditions differ over time, the resulting solution permits better prediction and control of solute behavior.

DESIGNING BEYOND COMPLIANCE: INTEGRATING EVIDENCE BASED ARCHITECTURE INTO HEALTHCARE REGULATORY FRAMEWORKS IN PUNJAB, PAKISTAN

Ar. Rida Zahra, PhD Scholar, Dept. of Architecture, School of Architecture & Planning, UMT Lahore. (Primary Author)
Prof. Dr. Fariha Tariq, Dean School of Architecture & Planning, UMT Lahore. (Co-Author)
Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti, Associate Professor & CoD, Dept of Architecture, School of Architecture & Planning, UMT Lahore. omer.shujat@umt.edu.pk (Corresponding Author)
Dr. Ali Arsal, DMS Tertiary Care Hospital Nishtar II, Multan. (Co-Author)
Prof. Dr. M. Asad Ghufran, Professor, Department of Environmental Science, IIUI, Islamabad. (Co-Author)

ABSTRACT

Architects' skills are frequently overlooked in policies, while their influence on outcomes, operational efficiency and safety in healthcare settings is immense. This research critically examines the spatial discourse in the official regulatory documents of the Punjab Healthcare Commission (PHC) to understand the formal profession of the architect in the life span of healthcare facilities, from inception to spatial extension and everyday use. A Textual and Frequency Analysis (TFA) was carried out based on a literature based Keyword Framework (KWF) on 27 main policy documents including Minimum Service Delivery Standards (MSDS) guidelines and reference manuals. The analysis included the appearance of architectural terms (architecture, architect, healthcare facilities, built environment, evidence-based design) as well as institutional terms (design, hospital, buildings). The empirical analysis shows a remarkable difference in structure: although the terms "hospital", "design" and "buildings" appear frequently i.e. "hospital" 1,347 times, "design" 258 times and "buildings" 65 times in contrast, the word "architect" only occurs 6 times and the word "architecture" appeared just once. The term "evidence-based design" was not mentioned, nor was "design strategies," which are also contemporary paradigms that are critical to the design profession. The quantitative gap is a regulatory shortcoming that fails to clearly state or require professional architectural oversight for spatial parameters that are defined operationally. This paper compares and contrasts statutory pressure with spatial context, calling for a paradigm change in the healthcare policy. To translate the intent of the regulations into spatial performance, it is pivotal to formally integrate architectural knowledge into the governance of PHCs through evidence based spatial design principles, to enhance the spatial performance of healthcare services in Punjab as a whole.

Key Words:Healthcare Architecture, Punjab Healthcare Commission (PHC), Regulatory Frameworks, Spatial Agency, Policy Analysis.

CLIMATE VULNERABILITY AND THE STATE DUTY TO ADAPT: AN ANALYSIS OF THE BRAZILIAN LAW NO. 14,904/2024 FROM THE PERSPECTIVE OF FUNDAMENTAL RIGHTS

Deilton RIBEIRO BRASIL[1]
University of Itaúna (UIT)

ABSTRACT

Climate change intensifies environmental, social, economic, and infrastructural vulnerabilities, requiring legal and institutional responses capable of ensuring the effective protection of fundamental rights. This study analyzes Law No. 14,904/2024, which establishes guidelines for climate change adaptation plans in Brazil and prioritizes vulnerability reduction, climate-risk management, resilient infrastructure, nature-based solutions, monitoring, and federative coordination. The general objective is to examine whether the statute strengthens the legal foundations of the State duty to adopt preventive and adaptive measures aimed at protecting populations, territories, and systems exposed to climate-related risks. The specific objective is to assess how its normative guidelines contribute to integrating adaptation policies with the protection of fundamental rights. The research problem asks to what extent Law No. 14,904/2024 provides an adequate legal framework for transforming climate adaptation into an effective State duty, particularly regarding socially and environmentally vulnerable populations and territories. The hypothesis is that the statute consolidates relevant legal parameters for such a duty, although its effectiveness depends on coordinated implementation, sufficient financing, scientific evidence, monitoring mechanisms, and cooperation among federal entities. The research adopts the hypothetical-deductive method and employs bibliographical and documentary procedures, based on a qualitative analysis of the statute and its relationship with Brazilian climate policy. Preliminary results indicate that Law No. 14,904/2024 strengthens climate governance by incorporating vulnerability assessment, risk prevention, resilient infrastructure, nature-based solutions, territorial prioritization, and institutional coordination. Nevertheless, the effective protection of fundamental rights will depend on the practical implementation of these instruments and on prioritizing the populations and territories most exposed to climate impacts.

KEYWORDS: Climate adaptation; Fundamental rights; Climate vulnerability; State duty; Law No. 14,904/2024.

[1] Post Doctoral studies at University of Coimbra (UC), Portugal and Università Degli Studi di Messina (UNIME), Italy. PhD in Law from Gama Filho University, Rio de Janeiro (RJ). Professor in the Bachelor's Law Course, Master's and Doctoral Programs in the Protection of Fundamental Rights at University of Itaúna (UIT), Brazil, South America. Orcid: https://orcid.org/0000-0001-7268-8009. E-mail: deiltonribeiro@uit.br

1. INTRODUCTION

Climate change has progressively challenged traditional legal and institutional mechanisms for environmental protection by intensifying risks affecting ecosystems, territories, infrastructure, economic activities, and human populations. The increasing frequency and severity of climate-related events reinforce the need for public policies capable not only of mitigating greenhouse gas emissions but also of anticipating, preventing, and reducing the adverse effects that can no longer be entirely avoided. In this context, climate adaptation assumes particular legal relevance because it encompasses preventive planning, vulnerability reduction, risk management, resilient infrastructure, and measures aimed at strengthening the capacity of populations and territories to respond to present and future climate impacts.

In the Brazilian constitutional order, this discussion is directly connected to Article 225 of the Federal Constitution of 1988, which recognizes the right of everyone to an ecologically balanced environment, characterized as a common good and essential to a healthy quality of life, while imposing upon the Public Authorities and the community the duty to defend and preserve it for present and future generations. The constitutional provision therefore establishes not only an environmental right but also a corresponding duty of protection with an expressly intergenerational dimension. In the context of climate change, this constitutional command provides an important normative foundation for preventive State action, since the effective protection of an ecologically balanced environment necessarily requires public authorities to address foreseeable risks capable of compromising environmental integrity, human well-being, and the conditions of life of both present and future generations.

From this perspective, climate adaptation can be understood as one of the contemporary mechanisms through which the constitutional duty established by Article 225 may be implemented. As climate impacts become increasingly identifiable through scientific knowledge and risk assessments, State action cannot be restricted to repairing environmental and social damage after its occurrence. The constitutional commitment to environmental protection also supports the adoption of anticipatory measures designed to reduce exposure and vulnerability, strengthen resilience, protect essential ecological processes, and prevent climate-related harm. Consequently, the relationship between Article 225 and climate adaptation reveals an important preventive dimension of environmental constitutional protection and reinforces the legal relevance of public policies capable of addressing climate risks before they materialize into irreversible or disproportionate damage.

It is within this constitutional framework that Brazilian Law No. 14,904/2024 acquires particular relevance. The statute establishes guidelines for the preparation of climate change adaptation plans in Brazil and incorporates parameters related to vulnerability reduction, climate-risk management, resilient infrastructure, nature-based solutions, scientific and technological development, monitoring, territorial planning, and coordination among federal entities. It also provides for the prioritization of municipalities and regions that are more vulnerable to climate threats, thereby introducing territorial and socioeconomic vulnerability as relevant elements of adaptation planning. The statute can therefore be examined as a legislative instrument aimed at giving greater normative concreteness to the constitutional duty of environmental protection in circumstances marked by increasing climate risks.

The relationship between Article 225 of the Federal Constitution of 1988 and Law No. 14,904/2024 is especially significant because constitutional environmental protection cannot be fully achieved without mechanisms capable of responding to the effects of climate change already underway or reasonably foreseeable. While Article 225 establishes the fundamental constitutional basis for environmental protection and assigns duties to Public Authorities, Law No. 14,904/2024 develops specific mechanisms for adaptation planning and vulnerability reduction. In this regard, the statute may be interpreted as contributing to the operationalization of the constitutional environmental duty by transforming general obligations of protection and preservation into more specific guidelines for the management of climate risks.

This relationship becomes even more relevant when climate vulnerability is understood as a multidimensional phenomenon. Climate impacts are not distributed uniformly across territories, nor do they affect all populations with the same intensity. Social, economic, environmental, geographic, and infrastructural inequalities can increase exposure to extreme events and reduce the capacity of individuals and communities to anticipate, withstand, and recover from climate-related damage. Thus, adaptation policies are directly related not only to environmental protection but also to the effective safeguarding of fundamental rights that may be affected by climate impacts. Under this approach, protecting an ecologically balanced environment, as required by Article 225, necessarily involves considering the differentiated effects of climate change and the specific conditions of populations and territories exposed to greater vulnerability.

The legal relevance of climate adaptation therefore extends beyond environmental management in a strict sense. When insufficient adaptation measures expose individuals and communities to foreseeable environmental risks, questions arise concerning the scope of State duties to prevent

harm and guarantee the effectiveness of fundamental rights. The constitutional duty to defend and preserve the environment for present and future generations reinforces the preventive character of State responsibility and provides a normative basis for examining whether public authorities are required to incorporate climate risks into planning, infrastructure, territorial organization, and public policies. Law No. 14,904/2024 must consequently be analyzed within this broader constitutional framework rather than as an isolated piece of climate legislation.

In view of the foregoing, the research problem guiding this study is the following: to what extent does Law No. 14,904/2024 provide an adequate legal framework for transforming climate adaptation into an effective State duty connected to the protection of fundamental rights and to the constitutional environmental protection established by Article 225 of the Federal Constitution of 1988, particularly with regard to socially and environmentally vulnerable populations and territories? This question is based on the premise that the formal existence of legislative guidelines does not necessarily guarantee their practical effectiveness. The transition from normative recognition to effective climate protection requires institutional coordination, administrative capacity, adequate financing, scientific information, monitoring mechanisms, territorial planning, and public policies capable of transforming statutory provisions into concrete adaptation measures.

The research hypothesis holds that Law No. 14,904/2024 strengthens and gives greater normative concreteness to the State duty of environmental protection established by Article 225 of the Brazilian Federal Constitution of 1988 by introducing specific legal parameters for climate adaptation, vulnerability reduction, and risk prevention; however, the effectiveness of this duty depends on coordinated implementation among federal entities, adequate financing, scientific evidence, continuous monitoring, and the prioritization of populations and territories subject to greater climate vulnerability. The hypothesis therefore distinguishes between the normative advancement represented by the statute and the institutional, financial, and operational conditions required for its effective implementation.

Accordingly, the general objective of the research is to analyze whether Law No. 14,904/2024 strengthens the legal foundations of the State duty to adopt preventive and adaptive measures aimed at protecting populations, territories, and systems exposed to climate-related risks, considering the constitutional environmental protection established by Article 225 of the Federal Constitution of 1988. As a specific objective, the research seeks to examine how the normative guidelines established by the statute contribute to integrating climate adaptation policies with the protection of fundamental rights, particularly through vulnerability reduction,

climate-risk management, resilient infrastructure, nature-based solutions, territorial prioritization, monitoring, and federative coordination.

To achieve these objectives, the research adopts the hypothetical-deductive method. The investigation begins with the hypothesis that Law No. 14,904/2024 strengthens and specifies, within the field of climate adaptation, the constitutional State duty of environmental protection derived from Article 225. From this proposition, the research examines the normative content of the statute and its relationship with the constitutional framework governing environmental protection and fundamental rights, seeking to determine whether the mechanisms established by the legislation are capable of supporting the proposed connection between climate adaptation, vulnerability reduction, State responsibility, and constitutional environmental protection. The hypothetical-deductive approach therefore enables the initial hypothesis to be confronted with the legal and institutional elements identified throughout the investigation.

Regarding the methodological procedures, the study is based on bibliographical and documentary research and adopts a qualitative approach. Documentary analysis focuses primarily on Article 225 of the Brazilian Federal Constitution of 1988 and Law No. 14,904/2024, considering the relationship between the constitutional duty of environmental protection and the statutory guidelines governing climate adaptation. The analysis also examines the statute's provisions concerning adaptation planning, climate-risk assessment, vulnerability reduction, scientific knowledge, resilient infrastructure, nature-based solutions, monitoring, territorial prioritization, and cooperation among the Union, the States, the Federal District, and the Municipalities. Bibliographical research provides the theoretical basis for examining the legal relationship between climate vulnerability, adaptation, State duties, and fundamental rights.

The preliminary results indicate that Law No. 14,904/2024 represents an important development in the process of giving concrete expression to the constitutional environmental protection established by Article 225 in the specific context of climate change. By incorporating vulnerability assessment, risk prevention, resilient infrastructure, nature-based solutions, scientific evidence, territorial prioritization, monitoring, and federative coordination into adaptation planning, the statute strengthens the preventive dimension of Brazilian climate governance. It also provides legal mechanisms through which the State may anticipate and reduce climate-related harm rather than acting predominantly after environmental and social damage has occurred.

Nevertheless, the normative existence of these mechanisms alone is insufficient to guarantee the effective protection of fundamental rights. The constitutional commitment to safeguarding an ecologically balanced environment for present and future generations requires the implementation of adaptation policies capable of producing concrete results, particularly for populations and territories that are more exposed to climate impacts. Accordingly, the effectiveness of Law No. 14,904/2024 will depend on the ability of public authorities to translate its guidelines into continuous, coordinated, adequately financed, scientifically grounded, and territorially sensitive public policies.

On this basis, the article examines climate adaptation not just as an environmental management strategy, but as a possible expression of the constitutional State duty to protect the environment and fundamental rights in the face of foreseeable climate risks. The articulation between Article 225 of the Brazilian Federal Constitution of 1988 and Law No. 14,904/2024 thus provides the central normative axis of the investigation, allowing climate adaptation to be analyzed from a constitutional perspective based on prevention, vulnerability reduction, intergenerational protection, and the effective safeguarding of fundamental rights.

DISCLAIMER: This investigation made restricted use of artificial intelligence (AI) tools exclusively as auxiliary support for grammatical revision, textual organization, technical translation, and terminological standardization. All analytical content, the formulation of the research problem and hypothesis, the selection and application of the hypothetical-deductive method, and the final considerations were independently developed by the author. All stages of the research process were conducted under human supervision, thereby ensuring scientific reliability, authorial responsibility, and the intellectual autonomy of the manuscript.

2. THE CONSTITUTIONAL FOUNDATIONS OF CLIMATE ADAPTATION: ARTICLE 225 AND THE STATE DUTY TO PROTECT FUNDAMENTAL RIGHTS

The constitutional foundations of climate adaptation in Brazil must initially be examined taking into account Article 225 of the Federal Constitution of 1988. The constitutional provision recognizes everyone’s right to an ecologically balanced environment, understood as a common good essential to a healthy quality of life, and imposes on both the Public Authorities and the community the duty to defend and preserve it for present and future generations (Brazil, 1988). The wording of the constitutional provision establishes a legal framework that combines a fundamental environmental right with corresponding duties of protection, while its express reference to present and future generations gives environmental protection a preventive and intergenerational dimension. This constitutional structure is particularly relevant in the context

of climate change, since the protection of environmental conditions capable of sustaining human life necessarily involves the anticipation and reduction of foreseeable climate risks.

Climate protection can therefore be understood as an extension and specialization of the constitutional environmental protection established by Article 225. Sarlet and Fensterseifer (2022, p. 29) point out that the current climate crisis poses significant challenges to Constitutional Law and the theory of fundamental rights, particularly because climate-related harm threatens human life, dignity, the biotic and abiotic environment, and the effective enjoyment of fundamental rights. On this basis, the authors connect the recognition of a fundamental right to a clean, healthy, and safe climate to the constitutional regime of environmental protection and, specifically, to the fundamental right to an ecologically balanced environment guaranteed by Article 225.

This interpretation allows Article 225 to be read beyond the traditional protection of environmental resources considered in isolation. The climate system itself acquires constitutional relevance because its stability is indispensable to maintaining the ecological processes upon which environmental balance and human well-being depend. Sarlet and Fensterseifer (2022, pp. 31-32) argue that the attribution of constitutional status to climate protection is strongly supported by the ecological protection regime established in Article 225, particularly by the constitutional obligation to preserve and restore essential ecological processes. From this perspective, the climate system may be understood as an essential ecological process and, at the same time, as a legal interest with a degree of autonomous constitutional protection.

The relevance of this constitutional interpretation becomes clearer when the objective dimension of fundamental rights is considered. Fundamental rights do not only provide individuals with defensive positions against State interference; they also constitute elements of the objective constitutional order, from which corresponding duties of protection may arise (Sarlet & Fensterseifer, 2022, pp. 38-39). In the environmental and climate context, this means that State action cannot be limited to refraining from causing environmental harm. Public authorities are also required to adopt positive measures aimed at protecting fundamental rights against ecological and climatic risks. According to Sarlet and Fensterseifer (2022, p. 41), the implementation of fundamental rights requires positive, rather than only negative, State action aimed at removing ecological and climatic obstacles that may impair the full development of individuals and the effective enjoyment of such rights.

Such a positive dimension is particularly important for climate adaptation. Unlike measures that operate exclusively after environmental damage has occurred, adaptation is fundamentally anticipatory, involving the identification of climate risks, the reduction of vulnerability and exposure, and the strengthening of the resilience of environmental, social, economic, and infrastructural systems, as reflected in Law No. 14,904/2024. The constitutional duty imposed by Article 225 can therefore support a preventive conception of State responsibility, according to which public authorities must act in response to foreseeable environmental and climatic risks. This interpretation is consistent with Sarlet and Fensterseifer's (2022, p. 41) understanding that the Democratic Ecological Rule of Law must anticipate future environmental consequences and protect individuals against existential risks arising from environmental and climatic deterioration.

The emergence of climate constitutionalism further reinforces this interpretation. Carvalho (2022, p. 65) observes that the intensification of extreme climate events has placed Law in a central position in the search for responses involving mitigation, adaptation, and climate-related loss and damage. According to the author, the increasing complexity, deterritorialization, and transtemporal character of climate conflicts require the development of a constitutional theory capable of responding to the new challenges of climate justice, thereby contributing to the evolution from environmental constitutionalism toward climate constitutionalism.

This development is significant because Carvalho (2022, p. 65) structures Climate Change Law around three major forms of response to climate change: mitigation, adaptation, and loss and damage. These dimensions require legal responses at different levels of governance. As Carvalho (2022, p. 67) emphasizes, although climate change must be considered and negotiated globally, mitigation, adaptation, and loss-and-damage measures must ultimately be implemented locally. Accordingly, national legal systems play a decisive role through the ratification of international climate treaties, the enactment of constitutional, national, subnational, and municipal rules, the adoption of regulatory measures, and the development of executive climate mitigation and adaptation plans.

The connection between climate constitutionalism and fundamental rights also indicates that climate adaptation has a legal dimension that extends beyond its technical and administrative aspects. Carvalho (2022, p. 73) observes that climate justice reflects the impact of climate change on basic human rights and the exacerbation of existing vulnerabilities. Climate governance has consequently undergone a progressive rights-based transformation. In this sense, Carvalho (2022, pp. 74-75) identifies a growing pattern in climate litigation in which

mitigation and adaptation measures are demanded through judicial mechanisms, based on climate commitments, scientific evidence, and human rights frameworks, with the purpose of holding governments legally accountable for fulfilling climate-related obligations. This rights-based approach is particularly relevant to adaptation insofar as climate impacts may intensify existing vulnerabilities and affect the effective enjoyment of fundamental rights.

The Brazilian constitutional experience has also been progressively shaped by judicial interpretation. Brasil *et al.* (2024, p. 6) emphasize that Article 225 of the Federal Constitution of 1988 recognizes the fundamental right to a healthy and balanced environment for present and future generations and provides an important constitutional foundation for the development of climate litigation in Brazil. The authors observe that the constitutional relevance attributed to environmental protection creates favorable conditions for the judicial consideration of climate-related claims.

This constitutional dimension became especially visible in the Brazilian Federal Supreme Court's judgment in Claim of Noncompliance with a Fundamental Precept (ADPF) No. 708, concerning the Climate Fund. In examining the decision, Brasil *et al.* (2024, p. 13) demonstrate that the Brazilian Federal Supreme Court addressed governmental omission concerning the operation of the Climate Fund and reinforced the obligation of the Federal Government to ensure its regular functioning through the allocation of resources. The decision also illustrates how constitutional environmental duties may limit governmental discretion, since the allocation of Climate Fund resources was not regarded as an exclusively discretionary act of the Executive Branch (Brasil *et al.*, 2024, p. 14).

More broadly, the constitutional relevance of the Claim of Noncompliance with a Fundamental Precept (ADPF) No. 708 lies in the recognition that climate protection is not entirely subject to political convenience. The constitutional duty of environmental protection imposes substantive limits on governmental action and omission, particularly where legally established climate policies are concerned (Brasil *et al.*, 2024, pp. 14-15). As concluded by Brasil *et al.* (2024, p. 16), the Federal Supreme Court's interpretation contributed to the development of climate constitutionalism in Brazil by reinforcing the fundamental character of the right to a balanced climate, the relevance of international commitments, the State duty of protection, and judicial oversight of climate and environmental policies. In similar terms, Sarlet and Fensterseifer (2022, p. 50) maintain that the constitutional regime derived from Article 225 supports not only general ecological protection duties but also specific State duties of climate protection, binding

the Legislative, Executive, and Judiciary, limiting State discretion, and allowing judicial review in cases of insufficient or deficient climate protection.

The constitutional protection of the environment must therefore be interpreted in accordance with the specific characteristics of climate risks. The intergenerational character of Article 225 is particularly relevant in this respect. By requiring the protection and preservation of an ecologically balanced environment for present and future generations, the Brazilian Federal Constitution of 1988 establishes an expressly intergenerational dimension of environmental responsibility (Brazil, 1988). Climate adaptation is consistent with this constitutional orientation because it involves present decisions aimed at reducing vulnerability and exposure to climate risks and strengthening the resilience of environmental, social, economic, and infrastructural systems. Law No. 14,904/2024 expressly incorporates risk assessment, vulnerability reduction, resilient infrastructure, nature-based solutions, monitoring, and priority attention to territories more vulnerable and exposed to climate threats into adaptation planning (Brazil, 2024). This preventive orientation is also consistent with Sarlet and Fensterseifer's (2022, p. 41) understanding that environmental and climate protection requires the anticipation of future consequences and the protection of individuals against existential environmental and climatic risks.

This interpretation does not imply that Article 225 establishes a detailed and predetermined model of climate policy. Rather, it provides the constitutional normative foundation within which public authorities must design and implement environmental and climate policies. Legislative and administrative discretion continues to exist regarding the selection of instruments and priorities, but such discretion is constrained by the constitutional duty to ensure effective environmental and climate protection. Thus, Sarlet and Fensterseifer (2022, p. 50) maintain that the constitutional regime established by Article 225 recognizes specific State duties of climate protection that bind the Legislative, Executive, and Judiciary, limit State discretion, and may authorize judicial review when governmental action or omission results in insufficient or deficient climate protection. Accordingly, where scientifically identified climate risks require preventive action, prolonged State inaction or manifestly insufficient measures may conflict with the constitutional duty of protection, particularly when such omissions jeopardize fundamental rights.

Within this constitutional framework, climate adaptation may be understood as an instrument for giving concrete effect to the State duty of environmental protection established by Article 225 of the Federal Constitution of 1988 (Brazil, 1988). This constitutional foundation provides

an important normative basis for understanding Law No. 14,904/2024, which establishes guidelines for climate change adaptation plans and incorporates vulnerability and exposure reduction, climate-risk management, resilient infrastructure, nature-based solutions, scientific evidence, monitoring, and federative coordination into Brazilian climate planning (Brazil, 2024). The statute consequently operates within a pre-existing constitutional framework: Article 225 establishes the fundamental environmental right and the corresponding State duty of protection, while climate legislation develops more specific mechanisms through which that duty may be implemented in the face of present and foreseeable climate impacts. This relationship is consistent with Sarlet and Fensterseifer's (2022, p. 50) understanding that Article 225 supports the recognition of specific State duties of climate protection.

Besides, the constitutional foundations of climate adaptation reveal a progressive transition from a predominantly general conception of environmental protection toward a more specialized framework of climate protection and corresponding State duties. Sarlet and Fensterseifer (2022, p. 32) describe the legal autonomy of climate protection as a necessary, although partial, specialization within the broader framework of environmental protection, while Carvalho (2022, p. 65) identifies Climate Constitutionalism as an evolution of Environmental Constitutionalism in response to the growing complexity of climate-related conflicts. Article 225, the development of climate constitutionalism, and the jurisprudential recognition of State climate obligations therefore converge toward an understanding that climate protection encompasses both mitigation and adaptation.

From the perspective of fundamental rights, adaptation should therefore not be regarded only as an administrative instrument for strengthening resilience. Rather, it may function as a mechanism through which the State gives practical effect to its constitutional duty of environmental and climate protection by preventing or reducing climate-related harm, addressing vulnerability, and safeguarding present and future generations (Brazil, 1988; Brazil, 2024). This interpretation is also consistent with the recognition that State climate duties bind public authorities and may limit governmental discretion when protection proves insufficient (Sarlet & Fensterseifer, 2022, p. 50). In the Brazilian judicial context, the Federal Supreme Court's interpretation in Claim of Noncompliance with a Fundamental Precept (ADPF) No. 708 similarly reinforced the State duty of climate protection and judicial oversight of climate and environmental policies (Brasil *et al.*, 2024, p. 16).

The constitutional foundations examined above provide the normative basis for understanding climate adaptation as a State duty rather than as a merely discretionary policy choice. Article

225 of the Brazilian Federal Constitution of 1988, the development of climate constitutionalism, and the recognition of specific State duties of climate protection establish a framework in which public authorities are required to adopt effective measures capable of preventing and reducing climate-related harm, particularly where fundamental rights are at risk (Sarlet & Fensterseifer, 2022, p. 50; Brasil *et al.*, 2024, p. 16). Based on this, Law No. 14,904/2024 represents a further step toward the legislative concretization of these constitutional obligations by translating general duties of environmental and climate protection into specific guidelines for adaptation planning, vulnerability reduction, climate-risk management, resilient infrastructure, nature-based solutions, scientific monitoring, territorial prioritization, and federative coordination (Brazil, 2024). The analysis must therefore move from the constitutional recognition of climate duties to the examination of the legal and institutional mechanisms through which such duties are intended to be implemented. This transition is essential for assessing whether the statutory framework is capable of converting constitutional commitments into effective adaptation policies, especially in relation to vulnerable populations and territories, as well as for identifying the principal challenges associated with governance, financing, institutional capacity, and coordinated implementation among the different levels of the Brazilian Federation.

3. LAW NO. 14,904/2024 AND CLIMATE VULNERABILITY: LEGAL INSTRUMENTS, FEDERATIVE GOVERNANCE, AND IMPLEMENTATION CHALLENGES

The Law No. 14,904/2024 represents a significant development in the Brazilian legal framework for climate adaptation by establishing vulnerability reduction and climate-risk management as central components of public planning. Article 1 defines the general purpose of the statute by determining that climate change adaptation plans must implement measures aimed at reducing the vulnerability and exposure of environmental, social, economic, and infrastructure systems to the current and expected adverse effects of climate change. Article 1, paragraph 1, broadens this obligation by requiring climate-risk management to be incorporated into existing sectoral and thematic public policies and into development strategies at the local, municipal, state, regional, and national levels. Paragraph 2 further requires adaptation plans to be integrated with climate plans containing greenhouse-gas mitigation measures (Brazil, 2024). Adaptation is therefore designed as a cross-cutting component of climate governance rather than as an isolated environmental policy. Brasil (2026, p. 2144) similarly characterizes Law No. 14,904/2024 as adopting a preventive and risk-oriented approach, emphasizing vulnerability

and exposure reduction and the incorporation of climate-risk management into sectoral policies, territorial planning, development strategies, and federative governance structures.

This preventive orientation is given greater normative density by Article 2, which establishes the substantive guidelines governing adaptation plans. Item I requires the identification, assessment, and prioritization of measures to address recurrent natural disasters and to reduce vulnerability and exposure in environmental, social, economic, and infrastructure systems, in both rural and urban areas. Item II introduces climate-risk management as a planning criterion by requiring measures aimed at estimating, minimizing, or avoiding losses and damages and at coordinating and prioritizing investments according to levels of vulnerability. Item III complements this structure by requiring economic, financial, and socio-environmental public-policy instruments capable of ensuring the feasibility and effectiveness of adaptation measures (Brazil, 2024). These provisions demonstrate that vulnerability operates not only as descriptive information but as a normative criterion for determining priorities and allocating public resources.

The statutory connection between adaptation, economics, and financing is particularly important for implementation. Damacena (2020, p. 364) observes that climate adaptation imposes an unprecedented challenge not only on Law but also on Economics and Finance and therefore requires the articulation of legal, economic, and financial structures. This theoretical approach is reflected directly in Article 2, item III, because the effectiveness of adaptation measures depends not only on legal commands but also on instruments capable of financing infrastructure, institutional capacity, risk assessments, technological development, and territorial interventions.

The Article 2, item IV, requires the integration of mitigation and adaptation strategies at the local, municipal, state, regional, and national levels, in accordance with commitments undertaken under the Paris Agreement and Brazil's Nationally Determined Contribution. The provision prevents the two dimensions of climate policy from being treated as independent agendas. Adaptation measures aimed at increasing resilience must instead be coordinated with efforts to reduce greenhouse-gas emissions. In turn, item V requires priorities to be established on the basis of the most vulnerable sectors and regions, using climate-risk and vulnerability studies (Brazil, 2024). This provision is particularly significant from the perspective of fundamental rights because it directs State action toward territories and populations that possess lower adaptive capacity or greater exposure to climate threats.

The concern with vulnerability is also connected to disaster-risk governance. Article 2, item VI, requires synergy between climate adaptation and the National Policy on Civil Protection and Defense, the corresponding national, state, district, and municipal civil-defense plans, and the National Strategy for Critical Infrastructure Security. Adaptation is thus legally connected to disaster prevention and critical-infrastructure protection. Item VII, in turn, addresses the agricultural sector and encourages adaptation through research, development, innovation, environmentally appropriate practices, sustainable technologies, and economically viable productive processes (Brazil, 2024). The statute consequently recognizes that climate vulnerability affects both territorial security and productive systems and requires differentiated sectoral responses.

Among the innovative elements of Article 2, item VIII expressly provides for the adoption of nature-based solutions as part of adaptation strategies, taking into account their additional benefits and their ability to simultaneously integrate adaptation and mitigation outcomes (Brazil, 2024). This provision changes the normative position of nature-based solutions within Brazilian climate law, since ecological approaches become part of the statutory architecture of adaptation rather than merely optional environmental management techniques. Brasil (2026, p. 2146) emphasizes that this incorporation enables nature-based solutions to operate within a broader legal structure of vulnerability reduction, ecosystem protection, territorial resilience, and simultaneous adaptation and mitigation benefits.

The remaining guidelines of Article 2 strengthen the adaptive character of the planning process. Item IX requires monitoring and evaluation of adaptation actions and the adoption of inclusive governance mechanisms for revising plans every four years, in accordance with the cycle of the multiannual plans. Item X promotes research, development, and innovation aimed at reducing the vulnerability of natural, human, productive, and infrastructure systems, monitoring the impacts of adaptation measures, disseminating data and technologies, and promoting information, education, training, and public awareness concerning adaptation (Brazil, 2024). The statute therefore associates adaptation with a continuous cycle of planning, implementation, scientific evaluation, learning, and policy revision rather than with a fixed or static governmental response.

This logic is reinforced by Article 3, which identifies priority areas for implementation. Item I focuses on urban infrastructure and the right to the city, expressly mentioning housing, green areas, transportation, health and education facilities, sanitation, food and nutritional security, water security, and a just energy transition. The statutory reference to reducing social

inequalities is especially important because it connects adaptation policy with the socioeconomic conditions that influence vulnerability. Item II prioritizes national infrastructure, including communications, energy, transportation, finance, and water systems that are strategically important to the security and resilience of the country. Item III, finally, prioritizes nature-based infrastructure, defined through the use of natural elements to provide adaptation services, strengthen resilience, and protect populations, assets, and the ecologically balanced environment. The sole paragraph of Article 3 requires the establishment of indicators for monitoring and evaluating implementation (Brazil, 2024).

The reference to nature-based infrastructure in Article 3 must be read together with Article 2, item VIII. The combination of these provisions gives ecological and hybrid solutions a relevant position within adaptation planning. Brasil (2026, p. 2144) observes that the statute not only incorporates nature-based solutions into adaptation strategies but also identifies nature-based infrastructure as a priority area for implementation. This statutory structure allows public authorities to evaluate whether ecosystems, green areas, wetlands, vegetation, permeable surfaces, river systems, and other ecological elements can provide preventive functions that complement or, where appropriate, offer alternatives to conventional infrastructure.

The institutional basis for the implementation of adaptation plans is established by Article 4, according to which the institutional arrangement for their formulation and implementation must be grounded in the bodies of the National Environmental System (SISNAMA) and in the instruments provided for under the National Policy on Climate Change (Brazil, 2024). The provision is relevant because Law No. 14,904/2024 does not create an entirely separate administrative structure for adaptation. Instead, it integrates adaptation into the existing Brazilian environmental and climate governance framework, thereby requiring coordination between already established institutions and the new statutory responsibilities.

The Federative governance is developed more specifically in Article 5. The provision determines that the measures contained in the national climate adaptation plan must be formulated by the competent federal authority in articulation with the three levels of the Federation and socioeconomic sectors, while ensuring the social participation of those most vulnerable to the adverse effects of climate change and representatives of the private sector (Brazil, 2024). The statutory model therefore combines federative coordination, economic participation, social participation, and attention to climate vulnerability.

The paragraphs of Article 5 further clarify this institutional architecture. Paragraph 1 integrates the national adaptation plan into the National Plan on Climate Change. Paragraph 2 requires the

latter to provide for the coordination and federative governance of adaptation through broad cooperation among federative entities, harmonization of methodologies for identifying climate impacts and assessing risks and vulnerabilities, and institutional support for the preparation, implementation, monitoring, and revision of the national adaptation plan. Paragraph 3 establishes an important scientific requirement by providing that adaptation actions and strategies must be based on scientific evidence, modeled analyses, and scenario projections, taking into consideration the scientific reports of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Brazil, 2024).

The scientific requirement of Article 5 is especially relevant because adaptation decisions are necessarily made under conditions of uncertainty. Damacena (2020, p. 377) argues that climate uncertainty cannot justify regulatory paralysis and that adaptation legislation and public policies should be grounded in the best available science, while remaining sufficiently flexible to respond to changing monitoring data. The Law No. 14,904/2024 institutionalizes this reasoning by linking planning decisions to scientific evidence, scenario analysis, vulnerability assessments, monitoring indicators, and periodic review.

The multilevel character of adaptation becomes even more explicit in Article 6, which determines that the national adaptation plan must establish guidelines for state and municipal plans and, importantly, must prioritize support for municipalities that are more vulnerable and exposed to climate threats. The provision also encourages intermunicipal consortia and regional arrangements for implementing adaptation measures (Brazil, 2024). This legal design is significant because climate impacts do not necessarily coincide with administrative boundaries, while municipalities frequently differ substantially in their financial, technical, and institutional capacities.

In this respect, Damacena's analysis provides an important interpretative framework. The author stresses the need to consider different local and regional vulnerabilities and emphasizes that the most vulnerable groups and territories requiring special attention must be included in adaptation decision-making (Damacena, 2020, pp. 374-375). The Article 6 of Law No. 14,904/2024 therefore introduces a distributive component into federative governance: equal treatment of municipalities would not necessarily produce equitable adaptation outcomes when their levels of vulnerability and institutional capacity are profoundly unequal.

The Article 7 broadens the reach of the statute by determining that, independently of the specific adaptation plans established by the law, the identification of vulnerabilities and climate-risk management must be taken into account in sectoral policies and in development and territorial-

planning policies (Brazil, 2024). This provision is particularly relevant because it prevents adaptation from becoming confined to a specialized climate plan. Climate risk must influence ordinary governmental decision-making concerning infrastructure, urban expansion, land use, economic development, public services, and territorial organization.

This cross-sectoral orientation is consistent with Damacena's argument that adaptation requires an articulation among public policies, objectives, and targets. Damacena (2020, p. 375) specifically emphasizes the need to connect climate planning with environmental, energy, civil-defense, urban, and sanitation policies. The Article 7 provides a legal basis for precisely this form of integration, allowing climate vulnerability to operate as a transversal factor in public decision-making.

The international and financial dimensions of implementation are addressed by Articles 8 and 9. The Article 8 requires the national adaptation plan to promote bilateral, regional, and multilateral international cooperation in financing, capacity building, technological development, transfer and dissemination of technologies and processes, scientific research, systematic monitoring of climate impacts, and information exchange (Brazil, 2024, Art. 8). Article 9, in turn, provides that state, district, and municipal adaptation plans may be financed with resources from the National Fund on Climate Change (FNMC), among other sources (Brazil, 2024).

The financial mechanism is further strengthened by Article 11, which amends Article 5 of Law No. 12,114/2009 to expressly authorize the use of FNMC resources for both the preparation and implementation of municipal adaptation plans or municipal climate plans containing an adaptation component (Brazil, 2024). This provision is particularly important because the effectiveness of adaptation depends not only on the existence of plans but also on financial resources capable of converting planning into infrastructure, technical capacity, monitoring, vulnerability assessments, and concrete territorial interventions. Brasil (2026, p. 2148) highlights the connection established by Law No. 14,904/2024 between adaptation planning, climate finance, vulnerability reduction, and territorial resilience.

This financial dimension is consistent with Damacena (2020, p. 378), who argues that recognizing vulnerability and uncertainty is insufficient when adequate resources are unavailable to support institutional and material transformation. The author stresses that climate adaptation requires institutional capacity building and the articulation of legal, economic, and financial instruments. Consequently, Articles 9 and 11 should be understood as essential

implementation provisions: they seek to reduce the gap between formal adaptation planning and the financial capacity required to put adaptation measures into practice.

Transparency is specifically addressed by Article 10, which determines that national, state, district, and municipal adaptation plans must be made available and kept updated in full on the internet (Brazil, 2024). The provision creates an important condition for public accountability, since access to adaptation plans allows civil society, affected populations, researchers, and oversight institutions to examine priorities, targets, measures, and implementation. When interpreted together with the monitoring mechanisms of Articles 2 and 3 and the participation requirements of Article 5, Article 10 contributes to a model of climate governance based on transparency, participation, and evaluability.

Finally, Article 12 establishes that Law No. 14,904/2024 entered into force on the date of its publication. Although this provision has a primarily formal character, the statutory framework as a whole reveals a substantive transformation in Brazilian climate law. Articles 1 and 2 define adaptation objectives and guidelines; Article 3 establishes priority areas and monitoring; Articles 4 to 7 organize institutional, federative, scientific, territorial, and vulnerability-based governance; Articles 8, 9, and 11 address cooperation and financing; and Article 10 strengthens transparency. Taken together, these provisions construct an integrated legal model in which climate adaptation is associated with prevention, vulnerability reduction, scientific evidence, federative cooperation, social participation, nature-based solutions, resilient infrastructure, monitoring, and climate finance.

In this background, the principal challenge is no longer exclusively the absence of a legal basis for adaptation, but the capacity to implement the statutory architecture in a coordinated and continuous manner. Damacena's analysis demonstrates that effective adaptation requires regulatory coherence, financial resources, institutional capacity, policy integration, and particular attention to vulnerable populations and territories. Brasil (2026), in turn, shows that Law No. 14,904/2024 introduces a preventive and risk-oriented legal model in which nature-based solutions, scientific evidence, federative coordination, climate finance, and vulnerability reduction may operate as interconnected components of adaptation governance. Thus, the effectiveness of the statute will ultimately depend on whether its articles are translated from normative guidelines into measurable, adequately financed, scientifically informed, and territorially responsive public action.

4. CONCLUSIONS

This research sought to examine climate adaptation from the perspective of fundamental rights and the constitutional duty of environmental protection, taking Law No. 14,904/2024 as its central normative framework. The general objective was to determine whether the statute strengthens the legal foundations of the State duty to adopt preventive and adaptive measures aimed at protecting populations, territories, and systems exposed to climate-related risks. The specific objective was to assess how the statutory guidelines contribute to integrating climate adaptation with the protection of fundamental rights, particularly through vulnerability reduction, climate-risk management, resilient infrastructure, nature-based solutions, territorial prioritization, monitoring, and federative coordination. The analysis developed throughout the research demonstrates that both objectives were achieved.

Regarding the research problem, the investigation asked to what extent Law No. 14,904/2024 provides an adequate legal framework for transforming climate adaptation into an effective State duty connected to Article 225 of the Brazilian Federal Constitution of 1988, particularly in relation to socially and environmentally vulnerable populations and territories. The study indicates that the question may be answered affirmatively, although with an important qualification. The statute provides a relevant normative framework for the legal concretization of adaptation duties by establishing vulnerability reduction, risk management, scientific evidence, territorial planning, resilient infrastructure, nature-based solutions, monitoring, financing, and federative coordination as components of climate governance. Nevertheless, the existence of those statutory mechanisms does not, by itself, guarantee their practical effectiveness.

The research hypothesis was therefore confirmed, with the qualification originally incorporated into its formulation. Law No. 14,904/2024 strengthens and gives greater normative concreteness to the State duty of environmental protection derived from Article 225 by establishing specific legal parameters for climate adaptation and the prevention of foreseeable climate-related harm. At the same time, the research confirms that the effectiveness of this normative development depends on coordinated implementation among the entities of the Federation, adequate and continuous financing, the use of scientific evidence, monitoring mechanisms, institutional capacity, and the effective prioritization of populations and territories subject to greater climate vulnerability. The distinction between normative progress and practical effectiveness proved fundamental to avoiding the conclusion that legislative enactment alone is sufficient to ensure climate resilience.

The research also confirmed the relevance of interpreting climate adaptation as more than a technical or administrative environmental instrument. The articulation between Article 225 and Law No. 14,904/2024 demonstrates that adaptation may function as a mechanism for implementing the preventive dimension of the constitutional duty of environmental protection. By requiring public authorities to identify risks before damage occurs, reduce vulnerability and exposure, strengthen resilience, and incorporate climate considerations into sectoral and territorial policies, the statute contributes to shifting governmental action from a predominantly reactive model toward a preventive and anticipatory model of climate governance.

The hypothetical-deductive method was particularly important for reaching these conclusions. The research began with the hypothesis that Law No. 14,904/2024 strengthens and specifies, in the field of climate adaptation, the constitutional State duty of environmental protection derived from Article 225. This proposition was subsequently confronted with the normative content of the statute, the constitutional framework of environmental protection, the theoretical construction of climate constitutionalism, and the institutional mechanisms analyzed throughout the study. The method made it possible to move from an initial theoretical proposition to its normative verification, while also allowing the hypothesis to be qualified in light of the distinction between the existence of legal obligations and the material conditions necessary for their implementation.

The results achieved demonstrate, first, that Law No. 14,904/2024 consolidates vulnerability as a relevant legal criterion for climate adaptation planning. Vulnerability is not treated merely as descriptive information concerning climate impacts; it becomes a criterion for defining priorities, directing investments, supporting municipalities, and designing public policies. Second, the statute strengthens a risk-oriented approach by integrating adaptation into sectoral policies, territorial planning, civil protection and defense, infrastructure, agriculture, scientific research, and socioeconomic development. Third, it establishes an institutional model based on cooperation among the Union, the States, the Federal District, and the Municipalities, while recognizing the importance of social participation and particular attention to populations exposed to greater climate risks.

A further result concerns the relationship between scientific evidence, monitoring, and institutional accountability. Law No. 14,904/2024 requires adaptation strategies to rely on scientific evidence, modeled analyses, scenario projections, vulnerability assessments, and monitoring indicators. These mechanisms are significant because they reduce the possibility that adaptation decisions will depend exclusively on broad political discretion. They also

provide criteria for periodically reviewing public policies and assessing whether adopted measures are effectively reducing vulnerability and strengthening resilience.

The research likewise identified financing and institutional capacity as decisive conditions for the effectiveness of the new legal framework. The possibility of using resources from the National Fund on Climate Change for state, district, and municipal adaptation plans represents an important statutory mechanism. However, the analysis demonstrates that financing must be sufficiently stable and operational to support risk assessments, technical planning, resilient infrastructure, scientific monitoring, institutional strengthening, and local implementation. Thus, one of the principal challenges identified by the study is converting statutory financing mechanisms into concrete and territorially distributed adaptation investments.

Another relevant result concerns the incorporation of nature-based solutions and nature-based infrastructure into Brazilian climate adaptation law. Their express inclusion in Law No. 14,904/2024 broadens the range of legally relevant responses to climate vulnerability and allows ecological and hybrid alternatives to be considered alongside conventional infrastructure. As demonstrated in the research, these solutions may contribute simultaneously to vulnerability reduction, ecological restoration, territorial resilience, protection of vulnerable populations, and the integration of adaptation and mitigation. Their effectiveness, however, also depends on scientific justification, monitoring, public participation, financing, and coordination among different levels of government.

The analysis therefore confirms that Law No. 14,904/2024 represents an important normative advancement in Brazilian climate governance, but it also reveals that the principal challenge has shifted from the mere absence of a legal framework to the effective implementation of the statutory architecture. The research concludes that the effectiveness of the law will depend on whether its guidelines are transformed into measurable, adequately financed, scientifically informed, coordinated, and territorially responsive public action. From the perspective of fundamental rights, this implementation must particularly benefit populations and territories more exposed to climate impacts, since the constitutional relevance of adaptation lies precisely in its capacity to prevent foreseeable harm and preserve the material conditions necessary for the effective enjoyment of fundamental rights.

The study nevertheless presents limitations that must be acknowledged. Its methodological design is predominantly qualitative, bibliographical, documentary, and normative, centered on Article 225 of the Brazilian Federal Constitution of 1988, Law No. 14,904/2024, and the theoretical and institutional framework related to climate adaptation and fundamental rights.

Consequently, the research did not undertake an empirical evaluation of the implementation of adaptation plans by individual States or Municipalities, did not measure the actual allocation or execution of financial resources, and did not analyze concrete adaptation outcomes through field research, interviews, quantitative indicators, or comparative evaluation of local policies. The conclusions regarding effectiveness therefore concern principally the normative potential and institutional requirements of Law No. 14,904/2024 rather than empirically demonstrated results of its implementation.

These limitations also indicate directions for future research. Subsequent studies may examine the implementation of state and municipal adaptation plans, the territorial distribution and effectiveness of climate financing, the development of monitoring indicators, the participation of vulnerable communities in decision-making, and the practical adoption of nature-based solutions. Empirical and comparative investigations may therefore complement the present normative analysis and make it possible to assess whether the legal framework established by Law No. 14,904/2024 is effectively contributing to the reduction of climate vulnerability and to the protection of fundamental rights. In conclusion, the statute provides significant legal foundations for the State duty to adapt, but the constitutional promise underlying climate adaptation will depend on the continuous transformation of those foundations into effective, preventive, equitable, and accountable public policies.

REFERENCES:

Brasil, D. R. (2026). The principle of priority adoption of nature-based solutions in Brazilian climate adaptation law: An analysis of Law No. 14,904/2024. In H. Çiftçi (Ed.), *17th Çukurova International Scientific Research Congress Proceedings Book* (pp. 2148-2159). Liberty Publishing House. https://www.iksadkongre.net/_files/ugd/8f4327_d74e1ffcbc3148f5b17dbb3eefa26042.pdf

Brasil, D. R., Vasconcelos, G. O. S., & Isolani, L. F. (2024). The judicial interpretation of the Federal Supreme Court on climate constitutionalism: A case study on ADPF No. 708 on the Climate Fund. *Journal of Environmental Law and Society*, 14(1), 1-18. https://doi.org/10.18226/22370021.v14.n1.09

Brazil. (1988). Constitution of the Federative Republic of Brazil. *Official Gazette of the Union*, 05 November 1988. Brasília, Federal District. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm

Brazil. Federal Supreme Court. (2022). Claim of Noncompliance with a Fundamental Precept No. 708/DF (ADPF No. 708/DF) [Climate Fund Case]. Justice-Rapporteur Luís Roberto Barroso, Full Court, decided July 4, 2022. *Electronic Justice Gazette (DJe)*, No. 194, September 28, 2022. https://redir.stf.jus.br/paginadorpub/paginador.jsp?docTP=TP&docID=763392091

Brazil. (2024). Law No. 14,904, of June 27, 2024: Establishes guidelines for the preparation of climate change adaptation plans; amends Law No. 12,114, of December 9, 2009; and provides other measures. *Official Gazette of the Union*, Section 1, No. 123, p. 8, June 28, 2024. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l14904.htm

Carvalho, D. W. de. (2022). Climate constitutionalism: The three-dimensionality of the law to climate change. *Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável, 19*(45), 63-84. https://doi.org/10.18623/rvd.v19i45.2201

Damacena, F. D. L. (2020). The necessary interface between law, economics, and finance in the climate change adaptation process. *Brazilian Journal of Public Policy*, 10(3), 362–382. https://doi.org/10.5102/rbpp.v10i3.7204
Sarlet, I. W., & Fensterseifer, T. (2022). Fundamental rights theory and climate protection through the lens of the Brazilian Constitution. *e-Publica: Revista Eletrónica de Direito Público, 9*(3), 26-54. https://e-publica.pt/article/view/46261

THE IMPACT OF PICKLEBALL ON THE MENTAL WELL-BEING AND SOCIAL INTERACTI ON SKILLS OF STUDENTS AT THE UNIVERSITY OF DANANG

MSc. Nguyen Xuan Bach
Nxb0403@gmail.com
Faculty of Physical Education – The University of Danang - Viet Nam
MSc. Phan Ngoc Thiet Ke
ORCID ID: 0009-0001-0209-7390
pnthietke@gmail.com
Faculty of Physical Education – The University of Danang - Viet Nam

Abstract:

This study investigates the multidimensional impact of Pickleball participation on mental well-being and social interaction skills among students at the University of Danang. Against the backdrop of increasing academic pressure and mental health challenges faced by university students, Pickleball has emerged as a novel, accessible, and socially engaging physical-recreational activity. A mixed-methods research design was employed, comprising a quantitative survey administered to 850 students across member institutions of University of Danang and qualitative in-depth interviews with 12 experts and lecturers in physical education and sport sciences. Quantitative data were analyzed using descriptive and inferential statistical methods, while qualitative data were examined through thematic analysis.

The results indicate that regular participation in Pickleball is significantly associated with reductions in academic stress and anxiety levels ($p < 0.05$). Furthermore, the cooperative–competitive characteristics and open communicative environment inherent in Pickleball contribute positively to the development of students' teamwork skills, self-confidence, and interpersonal communication abilities. Notably, the formation of social capital through both formal and informal Pickleball clubs plays a crucial role in enhancing interdisciplinary social networks and fostering a sense of belonging within the university community.

The findings suggest that Pickleball is not only an effective means of promoting mental well-being but also a valuable social intervention supporting holistic student development. The study recommends the strategic integration of Pickleball into both curricular and extracurricular physical education programs at the University of Danang to enhance students' psychological health and social competencies.

Keywords: Pickleball; university students; mental well-being; social interaction skills; physical education.

1. Introduction

Mental health concerns among university students have been consistently identified as a critical public health challenge worldwide. Increasing academic demands, social transitions, and future career pressures contribute to elevated levels of stress, anxiety, and poor psychological well-

being in this population (Regehr, Glancy, & Pitts, 2013). Research in higher education contexts indicates that physical activity can serve as a protective factor, enhancing emotional stability and overall mental health outcomes (Johnson & Johnson, 2014; Smith et al., 2020). Moreover, interventions that combine physical exercise with social engagement have been shown to produce added benefits for mood, life satisfaction, and social connectedness (Reed & Ones, 2006).

Pickleball, a rapidly growing paddle sport that blends elements of tennis, badminton, and table tennis, has gained popularity due to its accessibility, low physical barrier to entry, and inherently social nature. In recent years, global participation in pickleball has expanded substantially, making it one of the fastest-growing recreational sports (Lauxtermann & Stubbs, 2025). Preliminary evidence suggests that pickleball can enhance psychological well-being by increasing life satisfaction and happiness, and by facilitating meaningful social interaction among players (Lauxtermann & Stubbs, 2025). For example, pilot research in educational settings has found that engagement in pickleball sessions improved vitality and fostered social enjoyment among first-year university students (Author, 2025). Such findings align with systematic reviews showing that physical activity interventions positively influence mental health outcomes, including reduced anxiety and enhanced mood in higher education contexts (Oucci et al., 2025).

Despite these initial findings, empirical research specifically examining the relationship between pickleball participation and mental well-being or social interaction skills among university students remains limited. Existing studies tend to focus on older populations or general physical health benefits, with less emphasis on the psychosocial outcomes for student cohorts. Consequently, there is a need for comprehensive investigation into how regular pickleball involvement may contribute to reduced stress, improved emotional regulation, and enhanced interpersonal competencies among students in contemporary academic environments. This study addresses this gap by investigating the multidimensional impacts of pickleball participation on students' mental well-being and social interaction skills within the University of Danang. Using a mixed-methods research design, this study aims to provide robust evidence to inform both theoretical understanding and practical applications of pickleball as a mental health and social enrichment intervention in higher education.

2. Methodology

2.1. Research Design

This study employed a **mixed-methods research design**, which integrates quantitative and qualitative approaches to provide a comprehensive understanding of the effects of Pickleball participation on university students' mental well-being and social interaction skills. The mixed-methods approach enables not only empirical measurement of psychological and social outcomes but also contextual insights from experts, aligning with best practices in sport and health psychology research. Such an approach has been recommended in studies investigating physical activity and mental health in higher education settings to improve the robustness and explanatory depth of findings (Liu et al., 2025).

2.2. Participants

2.2.1. Quantitative Sample

A total of **850 undergraduate students** from the University of Danang's member institutions were recruited via stratified random sampling, ensuring balanced representation across faculties, academic years, and gender. Eligibility criteria included:

(i) being a current undergraduate student, (ii) voluntary consent to participate, and (iii) prior engagement in Pickleball activities, either formally or informally.

2.2.2. Qualitative Sample

The qualitative component involved **12 lecturers and experts** in physical education and sport sciences, selected through purposive sampling based on their expertise in sport pedagogy and involvement with Pickleball programs. This sample size was determined sufficient to achieve thematic saturation in qualitative analysis.

2.3. Instruments and Measures

2.3.1. Mental Well-Being Questionnaire

A structured instrument was used to assess students' mental well-being, including dimensions of stress, anxiety, mood regulation, and overall psychological health. Items were adapted from validated mental health scales that are commonly applied in university research contexts. Responses were rated on a five-point Likert scale (1 = *strongly disagree* to 5 = *strongly agree*), with higher scores indicating more positive outcomes.

Evidence from a recent systematic review confirms that physical activity interventions significantly reduce anxiety, depression, and stress and improve wellbeing among university students, establishing the theoretical basis for this measure. For example, meta-analytic results indicate that structured exercise is associated with moderate improvements in mental health outcomes, including stress reduction and enhanced overall wellbeing.

2.3.2. Social Interaction Skills Scale

This scale measured participants' perceived improvements in interpersonal communication, teamwork, self-confidence in social settings, and ability to form new social connections through Pickleball participation. Items were developed based on the social dimensions of sport participation identified in previous research.

2.3.3. Semi-Structured Interview Protocol

A semi-structured interview guide was designed to explore expert perspectives on psychological and social impacts of Pickleball, including perceived benefits, community building, and integration into physical education curricula. Interviews included open-ended questions to allow experts to reflect on deeper mechanisms and institutional implications.

2.4. Data Collection Procedures

Quantitative data were gathered via online and paper-based questionnaires distributed over a six-week period. Field assistants ensured a standardized administration process. Qualitative data were collected through individually conducted interviews, each lasting 30–45 minutes, and were audio-recorded with participant consent for accurate transcription.

2.5. Data Analysis

2.5.1. Quantitative Analysis

Descriptive statistics (means, standard deviations) were computed for all variables. Inferential analyses including correlation and regression were conducted to examine relationships between Pickleball participation and mental health and social interaction outcomes. Statistical significance was set at $p < 0.05$.

2.5.2. Qualitative Analysis

Interview transcripts were analyzed using thematic analysis, a method suited for identifying patterns and key themes within qualitative data. Multiple coders independently reviewed transcripts to ensure analytical reliability, resolving discrepancies through consensus.

3. Results

3.1. Quantitative Findings

3.1.1. Participant Characteristics

Table 1 presents demographic characteristics of the 850 student participants. The sample was balanced across gender, academic year, and fields of study.

Table 1. Participant Demographics (n = 850)

Characteristic	n (%)
Gender	
Male	422 (49.6)
Female	428 (50.4)
Academic Year	
1st year	212 (24.9)

2nd year	208 (24.5)
3rd year	226 (26.6)
4th year	204 (24.0)
Field of Study	
Science & Engineering	312 (36.7)
Social Sciences & Arts	274 (32.2)
Health & Education	264 (31.1)

3.1.2. Impact of Pickleball on Mental Well-Being

Participants reported their levels of academic stress, anxiety, mood regulation, and overall mental wellbeing before and after engaging in regular Pickleball participation.

Table 2. Mental Well-Being Outcomes Before and After Pickleball Participation

Variable	Before (Mean ± SD)	After (Mean ± SD)	t	p
Academic Stress	3.18 ± 0.94	2.49 ± 0.85	14.72	< .001***
Anxiety	3.02 ± 0.88	2.31 ± 0.77	15.61	< .001***
Emotional Balance	2.89 ± 0.79	3.45 ± 0.84	-13.87	< .001***
Overall Mental Well-Being	3.01 ± 0.82	3.56 ± 0.78	-14.22	< .001***

p < .001 indicates highly significant differences.

The results show a statistically significant reduction in academic stress and anxiety levels following regular Pickleball participation ($p < .001$). Meanwhile, emotional balance and overall mental wellbeing improved significantly, providing empirical support for positive psychological effects of recreational physical activity consistent with findings from prior sport psychology research (Liu et al., 2025).

3.1.3. Social Interaction Skills Outcomes

Table 3. Social Interaction Variables Before and After Pickleball

Variable	Before (Mean ± SD)	After (Mean ± SD)	t	p
Teamwork Skills	2.76 ± 0.88	3.68 ± 0.81	-19.84	< .001***
Interpersonal Communication	2.91 ± 0.83	3.74 ± 0.79	-18.55	< .001***
Self-Confidence in Social Context	3.04 ± 0.87	3.89 ± 0.74	-20.13	< .001***
Social Connectedness	2.87 ± 0.90	3.63 ± 0.82	-17.99	< .001***

p < .001 indicates highly significant differences.

After engaging in Pickleball activities, students demonstrated significant gains in teamwork, interpersonal communication, self-confidence, and perceived social connectedness ($p < .001$). These results are consistent with literature suggesting that cooperative and competitive sport environments enhance social competencies (Eime et al., 2013).

3.2. Qualitative Findings

Qualitative analysis generated several major themes related to the perceived psychological and social benefits of Pickleball from expert interviews.

3.2.1. Theme 1: Psychological Resilience and Stress Relief

Multiple experts reported that students who regularly engage in Pickleball demonstrate improved psychological resilience, describing the activity as an outlet for stress relief and emotional regulation:

"Pickleball provides an enjoyable break from academic stress, helping students manage tension and emotional overwhelm."

This supports previous research indicating physical activity improves stress coping mechanisms in university settings (Regehr, Glancy, & Pitts, 2013).

3.2.2. Theme 2: Enhanced Social Cohesion and Confidence

Experts also noted that Pickleball fosters a supportive community and encourages positive social interactions:

"The nature of the game encourages students from different faculties to cooperate, communicate, and build trust."

This aligns with previous findings that team sports and cooperative activities enhance social capital and interpersonal competencies (Putnam, 2000).

4. Discussion

The findings of this study demonstrate that Pickleball participation is positively associated with improvements in mental well-being and social interaction skills among university students at the University of Danang. These results are consistent with a growing body of international research highlighting the psychosocial benefits of Pickleball across diverse populations.

4.1. Mental Well-Being and Pickleball Participation

The significant reductions in stress and anxiety and improvements in emotional balance observed in this study align with broader evidence indicating that recreational physical activities support mental health outcomes. A recent systematic review on emerging racquet sports, including Pickleball, reported that pickleball participation is associated with higher levels of life satisfaction and happiness, and lower levels of depressive symptoms, particularly through social integration mechanisms (Lauxtermann & Stubbs, 2025).

In addition, a pilot study conducted among first-year university students in Japan found that participation in Pickleball during class significantly enhanced feelings of vitality and social enjoyment, even after a single session (Lee et al., 2025). These findings support the current study's results and suggest that Pickleball may be effective in immediately promoting positive mood states in educational settings.

A broader analysis of mental well-being in U.S. adults also identified a dose–response relationship between pickleball participation and mental wellbeing, with higher frequency and

duration of play linked to stronger mental wellbeing scores (Owoeye et al., 2025). Although that study focused on an older adult population, the underlying pattern reinforces the idea that regular engagement in Pickleball contributes to sustained mental health benefits, a trend evident across age groups.

4.2. Social Interaction and Social Capital

The current research shows that Pickleball significantly enhances social interaction skills, including teamwork, communication, and self-confidence. This is consistent with qualitative work demonstrating that pickleball fosters a sense of community and belonging among participants. For example, qualitative studies involving older adults report that pickleball provides opportunities for meaningful social engagement, intergenerational interaction, and social identity formation, all of which contribute to wellbeing (Parry & Peel, 2025; Heo & Ryu, 2024).

The systematic review by Lauxtermann & Stubbs (2025) further highlights that pickleball participation is associated with social integration and subjective well-being, reinforcing the idea that the sport's cooperative and social nature may be a key pathway through which it enhances psychosocial outcomes.

Moreover, studies involving other forms of community engagement with pickleball—for example, undergraduate students organizing pickleball events in service learning contexts—have documented mental health benefits and increased civic engagement, suggesting that involvement in pickleball extends psychosocial gains beyond the court into broader social domains.

4.3. Integration with Existing Theoretical and Empirical Literature

The mental and social benefits documented here align with general research on physical activity and mental health in university contexts, which shows that structured exercise and group activities reduce anxiety and promote psychological well-being (Liu et al., 2025). However, compared with traditional exercise, Pickleball's low barrier to entry, cooperative gameplay, and immediate social feedback may accelerate social connections and psychological benefits, especially in populations with high levels of academic stress.

While past research on Pickleball has predominantly focused on older populations, the emerging trend of university-based Pickleball research—such as studies involving first-year students (Lee et al., 2025) and workplace personnel (Turan, 2024)—supports the generalizability of Pickleball's benefits to younger adults and diverse social settings.

4.4. Practical and Research Implications

The present study's findings, combined with international literature, suggest that Pickleball may serve as a scalable, low-cost intervention for enhancing student well-being and social competencies. For universities facing rising rates of student stress and isolation, incorporating Pickleball into physical education programs and extracurricular offerings could be a strategic wellness resource.

Future research should employ longitudinal and controlled experimental designs to more rigorously assess causal effects and explore mechanisms (e.g., social support, self-efficacy) underlying these benefits. Additionally, expanding samples to include cross-cultural and gender-specific analyses will help clarify how Pickleball's psychosocial impacts vary across different student populations.

5. Conclusion

This study provides empirical evidence that Pickleball participation is positively associated with improvements in mental well-being and social interaction skills among students at the University of Danang. The findings indicate significant reductions in academic stress and anxiety, alongside enhanced emotional balance and overall psychological well-being. Moreover, Pickleball was found to foster key social competencies, including teamwork, interpersonal communication, self-confidence, and a stronger sense of social connectedness within the university community.

From an educational and public health perspective, Pickleball represents a low-cost, accessible, and inclusive physical activity that can be effectively integrated into both curricular and extracurricular programs in higher education. Although the study is limited by its cross-sectional design and institutional scope, the results highlight the potential of Pickleball as a holistic intervention supporting students' psychological health and social development. Future longitudinal and experimental research is recommended to further examine causal mechanisms and long-term outcomes.

References

1. Cerezuela, J.-L., Lirola, M.-J., & Cangas, A. J. (2023). *Pickleball and mental health in adults: A systematic review. Frontiers in Psychology, 14.* https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1137047
2. Eime, R. M., Young, J. A., Harvey, J. T., Charity, M. J., & Payne, W. R. (2013). *A systematic review of the psychological and social benefits of participation in sport for adults: informing development of a conceptual model of health through sport. International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 10,* 135. https://doi.org/10.1186/1479-5868-10-135
3. Heo, J., & Ryu, J. (2024). *Maintaining active lifestyle through pickleball: A qualitative exploration of older pickleball players. International Journal of Aging & Human Development, 98*(4), 469–483. https://doi.org/10.1177/00914150231208012
4. Lauxtermann, L., & Stubbs, B. (2025). *Padel, pickleball and wellbeing: A systematic review. Frontiers in Psychology, 16.* https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1614448

5. Lee, M. N., Fung, M. B., & Hagiwara, G. (2025). *Exploring the impact of pickleball for improving mood in first-year university students—a pilot study in Japan. Journal of Functional Morphology and Kinesiology, 10*(3), 352. https://doi.org/10.3390/jfmk10030352
6. Liu, L., Xin, X., & Wang, H. (2025). *Effectiveness of physical exercise on mental health among university students: A systematic review and meta-analysis. Frontiers in Psychology, 16.* https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1612408
7. Owoeye, O. B. A., Grese, J., Stenersen, M., Yemm, T., Sebelski, C., & Sniffen, K. (2025). *The more you play, the better you feel: a dose-response analysis of pickleball and mental wellbeing in U.S. adults. Frontiers in Psychology, 16.* https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1676695
8. Parry, J., & Peel, N. (2025). *Exploring wellbeing in older adults participating in pickleball. Journal of Positive Psychology and Wellbeing, 9*(2).
9. Putnam, R. D. (2000). *Bowling alone: The collapse and revival of American community.* Simon & Schuster. https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0002716200275001004
10. Regehr, C., Glancy, D., & Pitts, A. (2013). *Interventions to reduce stress in university students: A review and meta-analysis. Journal of Affective Disorders, 148*(1), 1–11. https://doi.org/10.1016/j.jad.2012.11.026
11. Stroesser, K., Mulcaster, A., & Andrews, D. M. (2024). *Pickleball participation and the health and well-being of adults: A scoping review. Journal of Physical Activity and Health, 21*(9), 847–860. https://doi.org/10.1123/jpah.2024-0092
12. Turan, L. V. M. P. (2024). *Psychological effects of pickleball on mood, anxiety, and self-esteem among university personnel. ASEAN Journal of Community and Special Needs Education, 3*(2), 137–146.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND THE NEED FOR INTERNATIONAL LEGISLATION: CHALLENGES AND PERSPECTIVES

PhD Roxana Mihaela Moisoiu
U.S.P.E.E. „C. Stere" Chișinău, Moldova
ID orcid 0009-0005-0515-0432
Prof Colegiul German Goethe
București România

Abstract

The rapid development and widespread implementation of Artificial Intelligence (AI) are fundamentally transforming contemporary society, creating significant opportunities while simultaneously generating complex legal, ethical and security challenges. The transnational nature of AI technologies raises a fundamental question: whether existing national and regional legal frameworks are sufficient to regulate technologies whose effects extend beyond state borders. This paper examines the relationship between Artificial Intelligence and international legislation, with particular emphasis on the need for common legal principles capable of addressing emerging risks while supporting technological innovation.

The research analyzes key challenges associated with the use of AI, including algorithmic discrimination, violations of privacy and data protection, autonomous decision-making, liability for AI-generated harm, cybersecurity threats, manipulation of information, deepfakes and the potential use of AI in criminal activities. Particular attention is given to the difficulties of establishing responsibility when decisions or actions result from complex autonomous systems involving developers, providers, users and institutions.

The paper argues that fragmented national approaches may create regulatory gaps and legal uncertainty, particularly in areas involving cross-border criminality, human rights protection, national security and digital sovereignty. Consequently, international cooperation and the development of harmonized legal standards are essential. Such a framework should establish minimum principles concerning transparency, accountability, human oversight, human rights, safety, data protection and liability, while allowing sufficient flexibility to accommodate rapid technological development.

The study concludes that international AI legislation should not seek merely to restrict technological progress, but rather to establish a responsible and predictable legal environment in which innovation remains compatible with fundamental rights, democratic values and global security. A coordinated international legal framework could therefore become an essential instrument for ensuring that Artificial Intelligence develops as a tool for human progress rather than a source of uncontrolled legal and social risks.

Keywords: Artificial Intelligence, international legislation, AI governance, human rights, legal responsibility, cybersecurity, international cooperation, technological innovation.

INDOLE-3-BUTYRIC ACID-DERIVED HYDRAZONES AS ANTIBACTERIAL AND ANTIOXIDANT AGENTS: INTEGRATED EXPERIMENTAL, DFT, MOLECULAR DOCKING AND ADMET INVESTIGATIONS

Ummy Rubab[*1], Muhammad Ibrahim[*2], Irfa Sakandar[3]
[1]Department of Applied Chemistry, Government College University Faisalabad, Faisalabad-38000, Pakistan

Abstract

Hydrazone derivatives represent an important class of organic compounds known for their diverse biological activities and significant applications in medicinal chemistry and materials science. Herein, the hydrazone derivatives were synthesized by coupling indole-3-butyric acid hydrazide with substituted aldehydes. The synthesized hydrazones were characterized using melting point determination, UV–visible, FT-IR, and NMR spectroscopy. The synthesized compounds, namely (*E*)-*N*'-(1-(4-amino-3,5-dichlorophenyl)ethylidene)-4-(1*H*-indol-3-yl)butane hydrazide (DCIB), (*E*)-4-(1*H*-indol-3-yl)-*N*'-(thiophen-2-ylmethylene) butanehydrazide (TPIB), (*E*)-*N*'-(3,5-bis(trifluoromethyl)benzylidene)-4-(1*H*-indol-3-yl) butanehydrazide (TFIB), and (*E*)-4-(1*H*-indol-3-yl)-*N*'-(4-methoxy-2-methylpentylidene) butanehydrazide (3-MPIB) were screened for their antibacterial and antioxidant activities. The compound TFIB exhibited higher activity against both bacterial strains compared with the standard drugs, highlighting the role of halogen substitution in enhancing bioactivity. The compound DCIB displayed the strongest antioxidant activity 79.3%. DFT investigations, including density of states (DOS), frontier molecular orbitals (FMO), global reactivity indices, electron localization function (ELF), and localized orbital locator (LOL) analyses, were performed to establish correlations between electronic structure parameters, charge distribution patterns, and the observed biological activities, thereby elucidating the underlying electronic structure–activity relationships and stability/reactivity trends of the synthesized hydrazones. The nonlinear optical (NLO) properties revealed significant anisotropic polarizability and strong intramolecular charge transfer characteristics. Among the studied compounds, DCIB exhibited the highest hyperpolarizability (β_{total} = 1364.81 a.u.), followed by TFIB, indicating their potential as promising NLO materials. Molecular docking studies were performed to correlate the experimental biological activities with ligand–protein interactions, confirming that antibacterial and antioxidant properties arise from favorable binding at molecular level. ADMET predictions further supported the drug-like profiles of all compounds. Such combined experimental and computational insights provide a solid framework for the rational design and optimization of indole–hydrazone derivatives as next-generation antimicrobial and antioxidant molecules with enhanced efficacy and selectivity.

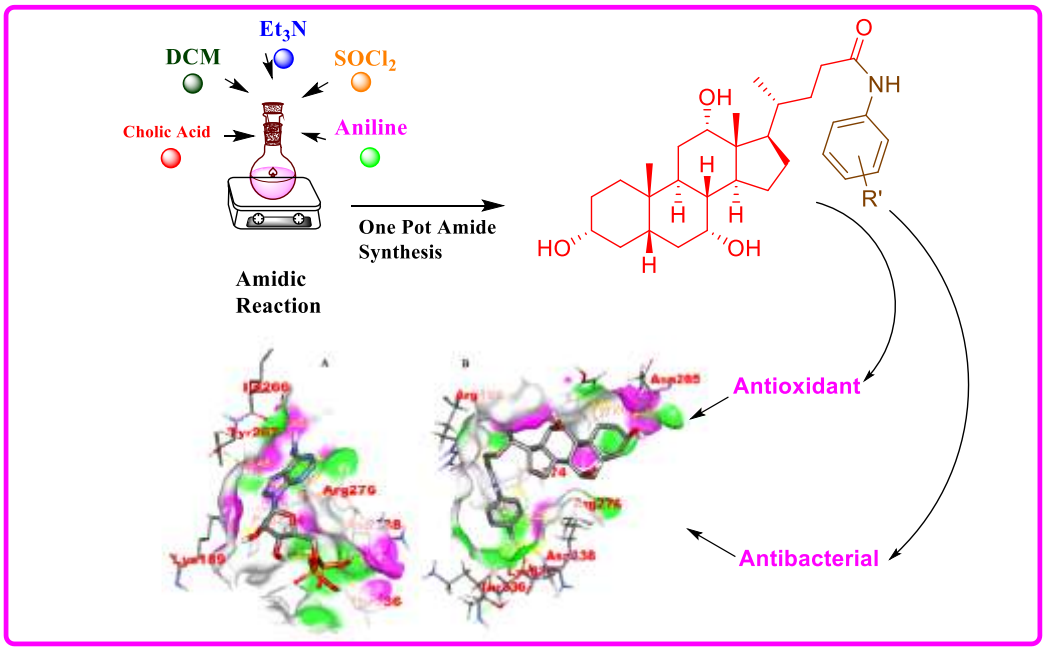
Keywords: Hydrazones; Anti-bacterial; Anti-oxidant; DFT study, Spectroscopic Analysis; Molecular docking

DESIGN, SYNTHESIS, CHARACTERIZATION, AND BIOLOGICAL EVALUATION OF NOVEL CHOLIC ACID-BASED FUNCTIONALIZED AMIDES

Ummy Rubab[*1], Muhammad Ibrahim[*2], Irfa Sakandar[3]
[1]Department of Applied Chemistry, Government College University Faisalabad, Faisalabad-38000, Pakistan

Abstract

Cholic acid-based amide derivatives (3a-g) were syntyhesized by one pot synthesis encompassing the stimulation of cholic acid and subsequent amidation with diverse amines and anilines. Structures of synthesized compounds were verified by using FTIR, ^{1}H NMR and ^{13}C NMR studies. The biological efficacy of compounds was assessed by in vitro anti-oxidant and anti-bacterial assays. The antibacterial activity against Gram-positive (*Staphylococcus aureus* and Gram-negative (*Escherichia coli*) bacterial strains and cytotoxicity of the obtained compounds were studied. Molecule 3d exhibited the most potent activity against *S.aureus* highlighting the beneficial consequences of halogen substitution, while compound 3f displays enhanced activity against *E.coli*, comprises an indole moiety recognized for its biological activity, with π–π interactions and conjugation via an amide bond to cholic acid, resulting in a balanced amphiphilic system. Molecular docking study targets DNA gyrase B of both bacterial strains verified the experimental data showed the compound 3e and 3b exhibiting the highest binding affinities. ADMET analysis indicated significant drug like attributes for synthesized compounds. Results underscore the critical role of structural changes in enhancing the dual antibacterial and antioxidant properties of cholic acid-based amides, indicating their potential for pharmaceutical chemistry.



***Keywords*:** Antioxidant, Antibacterial, Molecular Docking, Spectroscopic characterization, ADMET analysis, pharmaceutical chemistry, One-pot synthesis.

FROM MICROBIAL PIGMENT TO FUNCTIONAL TEXTILES: SUSTAINABLE PRODIGIOSIN-BASED COLORATION AND BIO-MORDANTING

Mahwish Salman[1], Muhammad Asim Nawaz*[1], Shahid Adeel[2], Muhammad Usama[1]
[1]Department of Biochemistry, Government College University Faisalabad;
asimbiochemist@gmail.com, mahwishsalman@gcuf.edu.pk, musamadraz@gmail.com.
[2]Department of Applied Chemistry, Government College University Faisalabad;
shahidadeel@gcuf.edu.pk.

Abstract

The textile sector is under rising demand to substitute traditional synthetic dyes with safer and more sustainable options. This research investigated prodigiosin, a naturally occurring red pigment produced by the bacterium *Serratia marcescens*, as a bio-derived dye for the advancement of functional textiles. Prodigiosin was isolated utilizing ethanol and analyzed via UV-Visible and FTIR spectroscopy, subsequently evaluating its stability throughout varying pH, temperature, and salinity levels. The dyeing parameters for nylon textile and wool fiber were refined by Response Surface Methodology employing a Box-Behnken experimental framework. Under optimal conditions, nylon and wool attained high color strengths while ultrasonic treatment significantly enhanced the hue of wool, augmenting its color intensity by 106.7%, but no notable enhancement was detected for nylon. The utilization of bio- and chemical mordants produced unique hues and improved durability characteristics of the colored fabrics. Beyond its potential for coloration, prodigiosin exhibited biological efficacy, since the pigment and dyed fabrics shown antibacterial properties against specific microbial pathogens. Notable antioxidant efficacy was recorded, attaining 85.61% for the pigment extract and 78.09% for the mordanted wool. The results indicate that microbial prodigiosin has the potential to serve as a sustainable bio-colorant for creating multifunctional fabrics with appealing coloration and beneficial biological attributes.

MONETARY POLICY UNDER A COST-PUSH ENERGY SHOCK: HOW SHOULD THE BANK OF ENGLAND BALANCE INFLATION EXPECTATIONS AND OUTPUT STABILISATION?

Dr Amit Joshi
ihsojtima@gmail.com
United World Academy
Neil Siddharth
Neilsiddharth3@gmail.com
United World Academy
Bibhabaree
bibhabaree@gmail.com
United World Academy

Abstract

This study examines the interdisciplinary relationship between economics, psychology, and mathematics in understanding human decision-making under conditions of uncertainty. It focuses particularly on behavioural economics, which challenges the assumption of consistently rational decision-making by examining how cognitive biases, reasoning fallacies, social influences, and incentives shape individual choices Particular attention is given to the application of behavioural concepts to real-world decision-making, including moral judgement, consumer behaviour, financial choices, and access to educational opportunities. The study incorporates insights from an independent research paper examining the influence of marketing budgets on technology reviews, audience-decision research conducted through the interactive social-impact theatre production Hand of God, and the development of a course designed to help students and parents navigate scholarships, government schemes, and educational support systems. These initiatives demonstrate how economic and psychological concepts can be investigated beyond conventional classroom settings through empirical observation, survey design, data collection, and applied problem-solving. The study also reflects on the role of mathematical reasoning and modelling in identifying relationships, interpreting patterns, and developing evidence-based explanations of human behaviour. A central argument emerging from the study is that interdisciplinary inquiry provides a more comprehensive framework for understanding economic behaviour than relying exclusively on conventional economic assumptions. Integrating behavioural insights with quantitative analysis can improve the interpretation of decision-making and strengthen the connection between theoretical knowledge and practical applications. The study ultimately highlights the importance of critical inquiry, independent research, empirical evidence, and interdisciplinary thinking in developing economically informed and socially responsible approaches to contemporary decision-making.

Keywords: Behavioural Economics; Human Decision-Making; Cognitive Biases; Psychology; Economic Modelling; Rationality; Interdisciplinary Research; Empirical Analysis; Decision Sciences; Economics Education

TERRORISM, TERRITORIAL CONTROL, AND THE CHANGING NORMS OF INTERVENTION IN INTERNATIONAL RELATIONS

Danyaya Muhammad Shehu, PhD
Department of History and International Studies
Federal University Birnin Kebbi, Kebbi State, Nigeria
danyayashehu8@gmail.com

Abstract

This paper examines how terrorism has reshaped the principle of state sovereignty and the norms of governing international intervention. Traditionally, sovereignty meant non-interference in a state's internal affairs. However, the rise of transnational terrorist groups that seize and govern territory, such as Boko Haram in Nigeria, Al-Shabab in Somalia and ISIS in Syria and Iraq, has created a 'sovereignty dilemma' for the international community. Using case studies from Africa and Middle East, the paper argues that terrorism has provided both legal and political justification for external intervention by regional bodies like ECOWAS and AU , and global powers under doctrines such as responsibility to protect and collective self defense. The study finds that while intervention has sometimes restored territorial control, it has also weakened traditional norms of sovereignty and increased the militarization of foreign policy. The paper concludes that terrorism is driving a fundamental shift from absolute sovereignty toward 'where a state's right to non-intervention depends on capacity to control terrorist threats within its borders.

Keywords : Terrorism, State Sovereignty, Humanitarian Intervention, Territorial Control, International Relations

COMPARATIVE STUDY OF THE PHYTOCHEMICAL COMPOSITION OF *FUMARIA PARVIFLORA* FROM CASABLANCA, EL JADIDA AND KHOURIBGA OF MOROCCO

Salma MAKDOUF[1], Karima El Bouqdaoui[12], Abdelhakim El Makssoudi[3], Mounia Cherki[1]
[1]. Laboratory of Health and Environment, Faculty of Sciences Ain Chok, Hassan II University of Casablanca (Morocco)
[2]. Laboratory of Care, Health and Sustainable Development, Higher Institute of Nursing and Health Techniques, Casablanca (Morocco)
[3]. Laboratory of Organic Synthesis, Extraction and Valorization (LSOEV), Ain Chok, Hassan II University of Casablanca (Morocco)

Abstract

Species of the *Fumaria* genus are medicinal plants known for their anti-inflammatory, antioxidant, and antidiabetic effects. Our species, *Fumaria parviflora*, locally known under different names, is a green, herbaceous, annual plant that grows in wheat fields, plains, and low hills. It is a ubiquitous species that can be found in Europe, Africa, America, Australia, and especially in high prevalence in India, Pakistan, and Iran.

In traditional medicine, this species has been used to treat numerous diseases and infections such as diabetes, digestive disorders, eczema, burns, fever, flu, headaches and toothaches, poisoning, hepatobiliary dysfunction, blood disorders, urinary diseases, and male infertility.

Despite these remarkable therapeutic potentials, few scientific studies have aimed to evaluate its biological activities. Hence, the objective of our research is to carry out a comparative study of the phytochemical composition of *F. parviflora* harvested from three different Moroccan regions (Casablanca, El Jadida, and Khouribga).

Lipids, carbohydrates, proteins, minerals, and pigments were determined using standard methods. Secondary metabolites were assessed through screening techniques. Our results showed that the chemical composition varies depending on the harvesting region, with the Casablanca sample being particularly rich in polyphenols.

Thus, we can conclude that the environmental conditions of each region influence the chemical composition of this plant.

Keywords: *Fumaria*; chemical composition; harvesting region; comparative study.

THE RISE AND FALL OF THE THAMUDIC CIVILIZATION IN NORTHWEST ARABIA AND THE SOUTHERN LEVANT

Mohammed Waheeb
Professor in Archaeology; Department of Sustainable Tourism, Queen Rania Faculty of Archaeology Heritage, & Tourism
(QRFTH), The Hashemite University

Abstract

Are there tangible historical and archaeological attestations that define the chronological framework of Thamud who succeeded the people of 'Ad? and what is the closest estimated timeline for their gradual decline, transition, and eventual disappearance from active history?

To delineate the chronological boundaries of Thamud and calculate their multi-stage demise, we must synthesize textual/genealogical traditions with archaeological, environmental, and epigraphic data.

I. Genealogical & Textual Foundations

Scriptural and historical traditions establish that Thamud succeeded the civilization of 'Ad (*"And remember when He made you successors after 'Ad"*):

- The Era of 'Ad (Al-Ahqaf): Historians and archaeologists generally place the peak of early 'Ad around the 3rd millennium BCE (3000–2500BC), corresponding to the Early Bronze Age in the Near East.
- Emergence of Early Thamud: Based on this sequence, the initial rise of Thamud and the establishment of their urban-architectural core is estimated between the 21st and 18th centuries BCE (2100–1800BC).

II. Chronology of the Urban Collapse

Determining the pivotal moment of their architectural and institutional collapse relies on climate data and regional epigraphic gaps:

- The Catastrophic Collapse (1500–1200BC): This timeframe aligns with the Late Bronze Age Collapse across the Near East, marked by severe droughts and seismic activity. This catastrophic phase led to the destruction of early Thamudic urban nodes in Al-Hijr (AlUla) and Petra, the elimination of their ruling elite, and the fragmentation of their religious and civic structures.
- Transition to Pastoral Nomads (1200–800BC): Following the urban collapse, the region entered a period of textual obscurity. Over these four centuries, the surviving Thamudic population shifted from an agrarian-architectural society into dispersed nomadic clans across the Hisma desert and Wadi Rum, abandoning complex rock-cutting in the absence of a centralized state.

III. Direct Epigraphic Attestations

- The 8th Century BCE (715 BC): The earliest absolute date mentioning Thamud in external written records appears in the Annals of the Assyrian King Sargon II.
    - Historical Significance: Sargon II describes Thamud as a nomadic desert tribe paying tribute. This confirms that by 715 BC Thamud had long completed their transition into a decentralized, nomadic phase following the fall of their ancient urban centers.

IV. Chronological Phasing of the Gradual Demise

- Emergence and Flourishing (2100–1800 **BC**): Represents the rise of "Early Thamud" as successors to 'Ad. They established a dual settlement pattern, building masonry structures in alluvial plains while carving early rock-cut dwellings into mountain massifs.
- Collapse of the Urban Core (1500–1200 BC): Marked by a major cataclysm (the scriptural "Shout" and seismic shockwave), resulting in the downfall of the ruling class, the collapse of temple institutions, and the abandonment of plain settlements.
- Pastoral Re-adaptation (1200–800 BC): Survivors migrated toward the deserts of Hisma, Wadi Rum, and the northern Hijaz. Shifting from monumental engineering to pastoral nomadism, they began incising early Thamudic/Hismaic graffiti on desert cliff faces.
- Political Fragmentation & Assimilation (800–400 BC): External records begin documenting Thamud as dispersed tribes interacting with regional polities (such as Lihyan and Dadan). Their first explicit mention occurs in Assyrian annals (715) as tribute-paying desert auxiliaries.
- Final Political Extinction (400 BC–106 BC): Coincides with the rise of the Nabataean kingdom. Nabataean merchants integrated the remaining Thamudic population as caravaneers, guides, and desert guards. Consequently, Thamud ceased to exist as an independent political entity, fully absorbing into the Nabataean socio-economic structure.

The Fall of Thamud as an Urban Civilization: Occurred between 1500 and 1300.The Final Extinction of their Independent Identity: Was completed between the 4th and 2nd centuries BCE, as the expanding Nabataean state fully absorbed their remaining human and geographical assets.

Keywords: Civilization, Arabia , Nabateans, Petra , Thamud .

WHERE DO WE STAND IN BLOOD TRANSFUSION PRACTICES: INSIGHTS FROM THE FIRST CLINICAL AUDIT FROM KHYBER PAKHTUNKHWA, PAKISTAN

Afsheen Mahmood, Associate Professor department of Physiology, Khyber Girls Medical college, Peshawar, Pakistan.

Abstract

Objective

To evaluate the appropriateness of packed red blood cell (PRBC) transfusions across different departments of a tertiary care hospital.

Methods

This audit included 632 patients admitted to the major departments of Hayatabad Medical Complex, Peshawar, Pakistan, who received one or more PRBC transfusions from November 2023 till July 2024. Six categories were defined who had different characteristics and thresholds for PRBC transfusion according to the Association for the Advancement of Blood & Biotherapies Red Blood Cell Transfusion International Guidelines. The appropriateness of PRBC transfusions was evaluated by checking if the pre-transfusion hemoglobin (Hb) met the threshold as specified in the guidelines. The chi-square test was used to test the association between the appropriateness of PRBC transfusions and the gender, department, and category of the patient. The significance of the difference in the mean pre-transfusion Hb was determined using an independent samples t-test.

Results

The median age was 30 years (IQR: 23-48.75). The majority of the patients were female (n=430, 68%). Patients from the Department of Gynecology and Obstetrics (n=267, 42.2%) outnumbered those from other departments. The majority of PRBC transfusions were inappropriate (n=465, 73.6%). Most transfusions in female patients (83.3%), in the patients of the Department of Gynecology and Obstetrics (95.5%), and in patients in the general category (86.9%) were found inappropriate. In the case of inappropriate transfusion, the mean pre-transfusion Hb was significantly different among departments, with the highest (14.1 gm/dL) value documented in the Department of Gynecology and Obstetrics.

Conclusion

Female patients, patients in the Department of Gynecology and Obstetrics, and patients in the general category had the highest frequency of inappropriate PRBC transfusions.

BIOGENIC TITANIUM NANOMATERIALS FOR TARGETED CONTROL OF ORAL MICROBIAL BIOFILMS

Monisha S and Ranjani Soundhararajan*
B.S. Abdur Rahman Crescent Institute of Science and Technology, Vandalur, Chennai, Tamil Nadu, India.
*Corresponding author: ranjani.sls@crescent.education

Abstract

The rising prevalence of antibiotic-resistant and biofilm-forming dental pathogens necessitates alternative antimicrobial strategies. In this study, a novel titanium-based nanomaterial was synthesized via a green synthesis approach using a traditional herbal mineral extract for potential oral healthcare applications. The antibacterial and antibiofilm efficacy of the nanomaterial was evaluated against Staphylococcus epidermidis, an opportunistic oral pathogen associated with biofilm formation and oral infections. The nanomaterial was characterized using UV–Visible spectroscopy, Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), field-emission scanning electron microscopy (FESEM), energy-dispersive X-ray (EDAX) analysis, X-ray diffraction (XRD), high-resolution transmission electron microscopy (HRTEM), thermogravimetric analysis (TGA), dynamic light scattering (DLS), and zeta potential analysis. Antibacterial activity was assessed by agar diffusion, minimum inhibitory concentration (MIC), minimum bactericidal concentration (MBC), and time-kill assays, demonstrating effective bactericidal activity. Cell viability was further evaluated using the resazurin assay, while membrane integrity was assessed by measuring the leakage of intracellular proteins, sugars, and nucleic acids. The antibacterial mechanism was elucidated by assessing intracellular reactive oxygen species (ROS) generation and oxidative stress biomarkers, including reduced glutathione (GSH), superoxide dismutase (SOD), catalase (CAT), and malondialdehyde (MDA). Collectively, these findings demonstrate that the green-synthesized titanium nanomaterial exerts potent antibacterial and antibiofilm activities through oxidative stress-mediated membrane damage, highlighting its potential as a nanotherapeutic agent for the management of biofilm-associated oral infections.

Keywords: Nanotechnology, Oral pathogen, Nanomaterial, ROS, Biofilm

THE EFFECT OF COMPENSATION PRACTICES ON EMPLOYEE PRODUCTIVITY, ACCESS BANK PLC. GUSAU ZAMFARA STATE NIGERIA

SIRAJO SHEHU
ALIYU OKPANACHI
DEPARTMENT OF BUSINESS ADMINISTRATION AND MANAGEMENT SCHOOL OF BUSINESS AND MANAGEMENT STUDIES, FEDERAL POLYTECHNIC KAURA NAMODA ZAMFARA STATE, NIGERIA.

ABSTRACT

The study centered on a topic title "the Effect of Compensation practices on employee productivity in Access Bank plc. Gusau Zamfara state Nigeria. Compensation remains crucial in enhancing performance and productivity of employees in all organizations. The main objective is to determine the effects of compensation practice on employee's productivity of Access bank Gusau Zamfara State Nigeria. Various literatures were reviewed to have an in-depth knowledge of the study. The population of the case study is (17) and the sample size is also (17) using census sampling technique because the population is not large to study. Therefore, (17) structured questionnaires were distributed to staff of the Access Bank Gusau Zamfara State Nigeria but only 15 were filled and returned for the analysis. A multiple regression was used for the analysis to test the relationship between the dependent and independent variables of the study, and chi-square method in testing hypothesis was used. The findings revealed that basic pay, bonus/allowances, reward and recognition plays a vital role in enhancing employee's productivity. The study concludes that adequate compensation practices have a significant effect on employees' productivity. The researcher recommended that management of Access Bank Nigeria should implement adequate financial and non-financial compensation practices in organization, in order to motivate their employees. The bank management should provide a reward system to those employees who perform better as this will serve as a motivating tool for workers retention.

Keywords: Compensation, Employee, Productivity, Organization, Reward, Motivation.

UNDERSTANDING ENVIRONMENTAL CONSEQUENCES OF QUARRY OPERATIONS: RESIDENTS' PERCEPTION STUDY IN THE NEIGHBOURHOOD OF A QUARRY IN OSUN STATE, NIGERIA

Temitope Mary OLAYIWOLA (Ph.D).

ABSTRACT

Investigation on human perspective on the impacts of quarry activities on the natural environment remains limited. This study gauged residents' perceptions of the ecological consequences of quarry operations. A meticulously structured questionnaire was dispensed among 214 households, chosen at random, in the vicinity of Sanlong Quarry within Obaagun community, Ifelodun Local Government Area, Osun State, Nigeria. The dataset underwent analysis utilising both descriptive and inferential statistics. Results indicated a predominance of female respondents, constituting 77.6%, with 65% aged 41 years and above. Moreover, 74.2% had been residents in the study area for no less than 7 years, and 62.6% resided within 1 km of the quarry site. A substantial 74.3% (159 residents) regarded quarry operations as detrimental to their environment, with 72.2% attributing this to machine vibrations. Kaiser-Meyer-Olkins and Barttlet's tests affirmed the factorability of the dataset at a 77.5% significance level ($P < .005$). Factor analysis revealed 7 variables, encompassing 79.19% of residents' perceptions of the environmental impact of quarry operations. These variables included the loss of farmlands (21.35%), degraded farmland (15.06%), vibrations from heavy machines affecting buildings (10.64%), flyrock debris from rock blasting damaging roofs, and the destruction caused by trucks and heavy machinery on rural roads (8.57%). Additionally, wildlife displacement (8.33%) and respondents' perception of the quarry's duration of operation (8.00%) were identified. These findings suggest that quarry operations exert a significant influence on the livelihood of the Sanlong quarry neighbourhood. It is imperative for stakeholders to address this situation through relevant policies, particularly those that enhance the well-being of the community and hold the quarry company responsible for the damages inflicted on various environmental resources. Nonetheless, further study is recommended to validate or otherwise the current findings.

Keywords: Quarry operations, environment, neighbourhood's perception, Sanlong Quarry Limited, Obaagun, Nigeria

SUSTAINABLE LIVESTOCK PRODUCTION THROUGH PRECISION FEEDING: OPPORTUNITIES AND CHALLENGES IN ENHANCING ANIMAL PERFORMANCE AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY

Ibrahim Umar Malumfashi
Small Ruminant Research Programme of National Animal Production Research Institute, Ahmadu Bello University Zaria, Kaduna State, Nigeria
Abubakar Abdulkadir AbuAbdin
(Business Administration Department) Federal University Gusau, Zamfara State, Nigeria

Abstract

The livestock sector plays a critical role in global food security, providing essential protein, income, and employment for billions of people. However, increasing concerns regarding environmental sustainability, feed costs, and resource efficiency have intensified the need for innovative livestock management strategies. Precision feeding has emerged as a modern approach that utilizes technology and data-driven decision-making to provide animals with nutrients according to their specific physiological requirements. This paper reviews the concept of precision feeding and its application in animal production systems. The study examines the benefits of precision feeding in improving feed efficiency, animal growth performance, health status, and environmental sustainability. It also discusses challenges such as technological costs, data management requirements, and adoption barriers, particularly in developing countries. The review concludes that precision feeding represents a promising strategy for achieving sustainable livestock production while reducing environmental impacts and enhancing farm profitability.

Keywords: Precision feeding, livestock production, sustainability, animal nutrition, feed efficiency, environmental management.

1. Introduction

Livestock production remains a vital component of agricultural systems worldwide. Growing populations and increasing demand for animal products have placed pressure on producers to improve productivity while minimizing environmental impacts. Traditional feeding systems often provide uniform diets to groups of animals despite variations in nutrient requirements among individual animals.

Precision feeding is an innovative nutritional strategy that tailors nutrient supply to the specific needs of animals based on age, weight, physiological condition, and productivity levels. Advances in sensors, artificial intelligence, and automated feeding technologies have enhanced the implementation of precision livestock farming. This approach can improve nutrient utilization, reduce feed wastage, and lower greenhouse gas emissions from livestock operations.

This paper explores the role of precision feeding in sustainable livestock production and examines its potential benefits and challenges.

2. Concept of Precision Feeding

Precision feeding refers to the practice of supplying animals with the right quantity of nutrients at the right time according to their specific requirements. The approach relies on:

- Automated feeding systems
- Real-time animal monitoring
- Data analytics
- Artificial intelligence tools
- Sensor technologies

The goal is to optimize nutrient utilization while minimizing waste and environmental pollution.

3. Benefits of Precision Feeding in Animal Production

3.1 Improved Feed Efficiency

Feed accounts for approximately 60-70% of livestock production costs. Precision feeding enables animals to receive nutrients according to their actual requirements, reducing feed wastage and improving feed conversion efficiency.

Major outcomes include:

- Better nutrient utilization
- Reduced feeding costs
- Increased weight gain
- Improved milk, meat, and egg production

3.2 Enhanced Animal Health and Welfare

Precision feeding systems facilitate continuous monitoring of feeding behavior and animal performance. Early deviations can indicate health problems, allowing timely intervention.

Benefits include:

- Reduced incidence of metabolic disorders
- Improved immune function
- Lower mortality rates
- Improved welfare outcomes

3.3 Environmental Sustainability

Environmental concerns associated with livestock production include nitrogen and phosphorus excretion, greenhouse gas emissions, and resource depletion.

Precision feeding contributes to sustainability by:

- Reducing nitrogen excretion
- Lowering methane emissions
- Minimizing feed wastage
- Improving resource-use efficiency

As a result, the ecological footprint of livestock production can be significantly reduced.

4. Application of Precision Feeding in Different Livestock Species

4.1 Poultry Production

In poultry systems, automated feeders and precision nutrition models enable producers to adjust nutrient levels according to growth stages.

Benefits include:

- Improved feed conversion ratio
- Faster growth rates
- Reduced nutrient excretion

4.2 Swine Production

Precision feeding in pigs involves individualized feeding programs that account for daily changes in nutrient requirements.

Observed advantages include:

- Improved growth performance
- Lower feed costs
- Reduced nitrogen emissions

4.3 Dairy Cattle Production

Precision feeding technologies in dairy cattle utilize sensors and milk production records to formulate optimized diets.

Results include:

- Increased milk yield
- Improved feed efficiency
- Better reproductive performance

5. Challenges of Precision Feeding Adoption

Despite its advantages, several obstacles limit widespread implementation.

5.1 High Initial Investment

The acquisition of sensors, computerized feeding systems, and data management infrastructure requires substantial capital investment.

5.2 Technical Expertise

Successful implementation requires:

- Skilled personnel
- Data interpretation abilities
- Technology maintenance capacity

5.3 Adoption in Developing Countries

Limited access to technology and infrastructure may hinder adoption, especially among smallholder farmers.

6. Future Prospects

Emerging technologies such as artificial intelligence, machine learning, big data analytics, and the Internet of Things (IoT) are expected to further improve precision feeding systems.

Future developments may include:

- Real-time nutrient adjustments
- Automated health monitoring
- Predictive disease detection
- Fully integrated smart livestock farms

These innovations will contribute significantly to sustainable livestock production.

7. Conclusion

Precision feeding has become an important tool for improving livestock productivity while addressing sustainability challenges. By matching nutrient supply with individual animal requirements, producers can enhance feed efficiency, animal health, and farm profitability while reducing environmental impacts. Although barriers related to cost and technical capacity remain, ongoing technological advancements are expected to increase accessibility and adoption. Precision feeding therefore represents a viable pathway toward sustainable and resilient livestock production systems capable of meeting future food demands.

References

1. Pomar, C., & Remus, A. (2019). Precision livestock farming: Facts and prospects. *Animal Frontiers*, 9(1), 4-11.
2. Bouraoui, R., & Tabeidian, S. A. (2020). Precision feeding and livestock sustainability. *Animals,* 10(9), 1570.
3. NRC. (2021). *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. National Academies Press.
4. Wathes, C. M., Kristensen, H. H., Aerts, J. M., & Berckmans, D. (2008). Is precision livestock farming an engineer's daydream or nightmare? *Computers and Electronics in Agriculture*, 64, 2-10.
5. Berckmans, D. (2017). General introduction to precision livestock farming. *Animal Frontiers*, 7(1), 6-11.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND THE FUTURE OF EMPLOYMENT: ASSESSING THE TRADE-OFF BETWEEN LABOUR SUBSTITUTION, PRODUCTIVITY GAINS AND INCLUSIVE ECONOMIC GROWTH

Jyoshna Reddy
reddyjyoshna@gmail.com
Vihaan Shetty
vihaanshetty8@gmail.com
Gunashree Seegehalli
guna.seegehalli@gmail.com

Abstract

Artificial Intelligence (AI) is transforming labour markets by altering the way firms organise production, allocate resources and employ workers. Unlike earlier waves of automation that primarily affected routine manual tasks, contemporary AI increasingly performs cognitive and non-routine activities, creating both new opportunities and new risks for employment. This paper examines the economic relationship between AI adoption and employment by analysing three interconnected mechanisms: the substitution of labour by capital, the complementarity between AI and human workers, and the compensation effects generated through productivity gains, lower production costs, increased demand and the creation of new occupations. The paper argues that the aggregate employment effect of AI cannot be determined solely by the number of jobs directly displaced by automation. Instead, it depends on the interaction between technological adoption, labour-market flexibility, the elasticity of demand, skill composition, human-capital development and the capacity of economies to create new forms of employment. Particular attention is given to developing economies such as India, where AI presents a paradox: it can enhance productivity, innovation and global competitiveness while simultaneously threatening labour-intensive employment and widening skill-based income inequality. The paper further evaluates the role of education, reskilling, social protection and labour-market regulation in ensuring that productivity gains from AI translate into inclusive economic growth. It concludes that the long-term employment consequences of AI will depend less on the technology itself than on how effectively workers, firms and governments manage the transition from labour-replacing to labour-augmenting technological change.

Keywords

Artificial Intelligence; Employment; Automation; Labour Market; Technological Change; Labour Substitution; Labour Complementarity; Productivity; Skill-Biased Technological Change; Income Inequality; Reskilling; Inclusive Economic Growth; India

IPORTANCE OF SKRJABINEMA OVIS IN SHEEP PATHOLOGY

Academician Prof Dr Ivan PAVLOVIĆ
Scientific Institute of Veterinary Medicine of Serbia, Belgrade, Serbia
ORCID ID: 0000-0003-4751-6760
Prof Dr Jovan BOJKOVSKI
Faculty of Veterinary Medicine University in Belgrade, Belgrade, Serbia
ORCID ID: 0000-0001-7097-2559
Prof Dr Vesna KARAPETKOVSKA HRISTOVA
University "St. Kliment Ohridski" - Bitola; Faculty of Biotechnical Sciences – Bitola; N. Macedonia
ORCID ID: 0000-0002-5056-8003
MSc Ivanka HADŽIĆ
Association of Trimmers, Care and Therapy of Cattle Foot of Serbia, Belgrade, Serbia
ORCID ID: 0009-0005-3032-0173

ÖZET

Skrjabinema ovis is a parasitic roundworm species belonging to the pinworm family Oxyuridae, which commonly infects the large intestine and cecum of ruminants such as sheep, goats, and wild cud-chewing animals. The infection it causes is known as skrjabinemosis. The development and life cycle of *S.ovis* is direct, meaning it requires no intermediate hosts to complete its life cycle. Mature female worms migrate down the large intestine and passively crawl out of the rectum onto the perianal skin. The females deposit asymmetric, D-shaped, embryonated eggs directly onto the warm perianal tissues. Proximity to the warm host body drives rapid embryogenesis. The larvae inside the egg shell undergo two molts to become infective third-stage larvae. Once infective, the sticky fluid holding the eggs dries, and the masses flake off into the pasture, bedding, or environment. Environmental temperature and climate play a decisive role in the transmission and survival of *S.ovis*. Because this pinworm lays eggs directly onto the warm skin of the host's perianal region rather than shedding them into a feces pile, its exogenous (environmental) phase bypasses the typical "fecal pat protection" that other stomach worms rely on. Ruminants ingest these infective L3 eggs while grazing, grooming, or picking up contaminated material from the environment. Ingested eggs travel to the intestinal tract, where the third-stage larva (L3) breaks out of its egg shell. The larvae move into the large intestine and cecum, where they invade or attach to the mucosal lining. The larvae molt into fourth-stage larvae (L4) around days 12 to 17 post-infection. They eventually undergo a final molt into adults. Parasitization by S. ovis induces inflammatory processes of the large intestine, in skin around the anus and tail base, resulting in reduced productivity and weight loss.

Anahtar kelimeler: sheep, pathology, *Skrjabinema ovis*

AN AB-INITIO STUDY OF THE ADSORPTION OF H_2O, NACL, AND SALT WATER ON GRAPHITE AND GRAPHENE

El Habib EL FAKIR [1*], Hayat LOUKILI [1], Khalid ZAROUAL 1, Faycel BENDIDI [1], Brahim ACHIOU [1], Abdellah SELLAM [2], Younes ABROUKI [3],
[1] Laboratory of Materials, Membranes and Environment, Faculty of Sciences and Technologies Mohammedia, Hassan II University of Casablanca, Casablanca, Morocco;
[2] Mohammed VI High School of Excellence (LM6E), CPGE, Benguerir, Morocco;
[3] Faculty of Science, Mohammed V University in Rabat, Rabat, Morocco;
[*]Corresponding author (e-mail: elhabib.elfakir-etu@etu.univh2c.ma)

Abstract

In view of climate change, seawater desalination is of concern to mankind, as the most difficult step in water treatment is the isolation of NaCl from seawater. The methods currently used to disable seawater remain costly, so it is important to understand and improve other methods for reducing the cost of seawater filtration. An atomic-scale computational study of NaCl and H_2O adsorption on graphite and graphene is presented, with the aim of estimating the ability of graphite-graphene to remove NaCl from seawater to obtain drinking water. The calculations are based on Density Functional Theory (DFT), using the Grid-based Projector-Augmented Wave (GPAW) approach, Atomistic Simulation Environment (ASE), and Quantum ESPRESSO methods. The main results of our work are the optimization of H_2O and NaCl molecule energies and densities of molecular states, and the calculation of the optimal adsorption distance of these molecules on the adsorbent (graphite-graphene). The observed changes in adsorption energies and density of states of the adsorbent could be exploited in the perspective of seawater filter applications. Our results could contribute to the optimization of potential seawater filter applications. The present work provides interesting information to the theoretical and experimental communities working in this field of research. It opens up the debate on the adsorption of H2O and NaCl molecules on graphite and graphene.

Keywords: GPAW, ASE, quantum ESPRESSO, density of state (DOS), adsorption NaCl and H2O on graphite and graphene, seawater filter applications

LAND TENURE INTEGRATION FOR CONFLICT RESOLUTION: BASSA-EGBURA DISPUTE IN KOGI AND NASSARAWA STATE, NIGERIA

Guma, Edward Pishikeni
Department of Surveying and Geoinformatics, Kogi State Polytechnic, Lokoja, Nigeria.
Musa, Gbaje Wumani
Department of Arts and Social Sciences, School of Preliminary Studies, Kogi State Polytechnic, Lokoja, Nigeria
Musa, Richard
Government Science Secondary School Oguma Bassa LGA, Kogi State, Nigeria.

ABSTRACT

Boundary disputes in Nigeria frequently involve an interaction between formal administrative boundaries and locally recognized systems of land tenure, territorial authority and resource access. This study examines how indigenous boundary knowledge can be integrated with statutory boundary surveying for conflict-sensitive boundary determination, using the Bassa-Egbura boundary context between Bassa Local Government Area of Kogi State and Toto Local Government Area of Nasarawa State as a case study. The study adopts a mixed-methods descriptive case-study design involving 300 questionnaire respondents, 20 key informant interviews, four focus group discussions, participatory mapping and GNSS/GIS-based spatial analysis. The proposed analytical framework combines quantitative assessment of perceptions of legitimacy, institutional trust and conflict with qualitative analysis of customary boundary narratives and spatial comparison of community-identified landmarks with available official boundary information. The study demonstrated that boundary legitimacy is influenced not only by positional accuracy but also by historical recognition, participation and institutional trust. It proposes a hybrid demarcation framework in which indigenous landmarks and customary evidence are systematically documented, georeferenced and assessed alongside statutory records and geodetic observations. The approach was intended to strengthen transparency, improve community acceptance, preserve indigenous spatial knowledge and support durable conflict-resolution mechanisms. This study contributes to surveying and geoinformatics by demonstrating how participatory GIS and GNSS can complement, rather than replace, indigenous territorial knowledge in boundary governance.

Keywords: indigenous land tenure; boundary surveying; Bassa; Egbura; participatory GIS; GNSS; territoriality; boundary conflict; Nigeria.

1. Introduction

Boundaries serve as essential tools of governance because they establish the geographic area where political authority, land management, public service delivery, and resource governance take place (Rockstrom et al, 2024). While boundaries are often depicted as exact lines on maps, their significance goes far beyond mere geometry. In many communities, territorial limits are rooted in history, traditional institutions, settlement patterns, resource use, and landmarks recognized locally. As a result, conflicts can arise when an officially demarcated boundary does not align with how local communities perceive and understand that territory.

Traditonal boundary systems often use natural and cultural markers to define territory. These include rivers, streams, trees, hills, roads, footpaths, farmlands, and sacred sites. Knowledge of these markers is typically maintained by traditional rulers, clan leaders, elders, and custodians of land. Even in places with little or no formal cadastral records, such systems serve as effective tools for affirming land rights and controlling access to resources (Liu and Liu, 2022). Nigeria

has numerous instances of boundary disputes occurring at the state, local government, and community levels. These conflicts often center on overlapping claims to land, villages, agricultural zones, fishing areas, administrative authority, and political representation. The situation is further complicated when official boundary demarcation is carried out without properly recording the indigenous knowledge that communities have traditionally used to define and manage their territories (Nwankwo, 2025; Amaefule et al, 2025). A clear illustration of this dynamic can be seen in the Middle Belt, specifically in the Bassa-Egbura context.

What necessitated this study is the fact that there had been a protracted conflict between the Bassa and Egbura communities that had represented a persistent problem of identity, resource control, and traditional governance. Although tied together by long histories of migration and settlement, the two groups have, for over five decades, advanced competing claims to territorial boundaries, traditional title supremacy, and fishing lakes. These contestations have repeatedly erupted into violent clashes that have claimed lives and destroyed houses and farmlands, leading to the permanent displacement of natives from ancestral homes. A defining characteristic of the crisis is its cyclical recurrence: after intervals of ten to twenty years, a new generation revives the disputes, suggesting unresolved structural grievances. Government responses during these episodes have largely been weak and indecisive, failing to achieve durable resolution. The most recent outbreak began in 2018 and lasted six years. Despite its longevity and human cost, the conflict remains under-examined. This study is therefore aimed at examining how the integration of customary and statutory land tenure systems can be used as a tool for resolving the Bassa-Egbura boundary conflict in Bassa LGA, Kogi State. The objectives of the study include assessing the causes of the Bassa-Egbura land disputes in Kogi State and proposing a GIS mapping solution to curb future occurrences.

Bamidele (2023) discussed that this study provides a practical framework for resolving the protracted Bassa-Egbura boundary dispute. By proposing the integration of indigenous territorial knowledge with statutory surveying, the study offers a pathway to reduce tensions, prevent future clashes, and promote peaceful coexistence between communities in Kogi State. Jeeva et al (2023) established that the findings of this study would be useful to government agencies, land administrators, and boundary commissions for it highlights the need to incorporate customary institutions, oral histories, and local landmarks into formal boundary demarcation processes. This can lead to more socially accepted, legitimate, and sustainable land administration policies in Nigeria and other plural societies.

2.0 Materials and Methods

2.1 Study Area

The study area comprises selected border communities associated with Bassa LGA, Kogi State, with emphasis on communities along the River Benue corridor. The area is relevant because riverine and agricultural landscapes contain physical features that may serve as both resource areas and boundary references. Bassa Local Government Area, located in Kogi State, Nigeria, is characterized by its unique geographical features and diverse cultural landscape. The area is situated between 07°44' 10" and 07°44' 07" N latitude and 06°46' 46" and 06°46' 59" E longitude, with the Benue River forming its northern border and the Niger River forming its western border. The headquarters of Bassa LGA is located in the town of Oguma.

According to the 2006 census, Bassa LGA has a population of 139,993, which increased to an estimated 188,600 by 2016 (National Population Commission, 2016). The area is inhabited by three major tribes: the Bassa-Komo, Bassa-Nge, and Egbira Mozum, with the Bassa-Komo having the largest population (Akpan-Idiok et al., 2013). Each tribe has its traditional title holder, with the Aguma of Bassa being the highest-ranking chief. The relief of Bassa LGA is characterized by gently undulating to nearly level floodplains, with a climate marked by high rainfall (1016-1524 mm) and average temperatures ranging from 27.6°C to 29.1°C. The vegetation is typical of the Southern Guinea Savannah, with soil samples showing varying physical and chemical characteristics due to factors such as sedimentation age, micro-relief, drainage, and mineralogy. The river Benue floodplain, which covers a significant portion of Bassa LGA, is subject to seasonal flooding, resulting in the deposition of fine and coarse sediments. The soils formed on this floodplain differ in their morphological, physical, and chemical characteristics, with three distinct physiographic units identified: Bassa Loamy Soils, Bassa Clayey Soils, and Bassa Sandy Soils.

Floodplain soils, which account for approximately 7.2% of Nigeria's total land area, are crucial for agricultural production, with about 47% of these soils utilized for rice cultivation. The river Benue floodplains, covering around 1,179,400 hectares, are particularly significant, with studies highlighting the importance of seasonal submergence and drying in developing redoximorphic features such as mottles and iron concretions. The mineralogical characteristics of these soils, including quartz, kaolinite, and smectite, are also noteworthy.

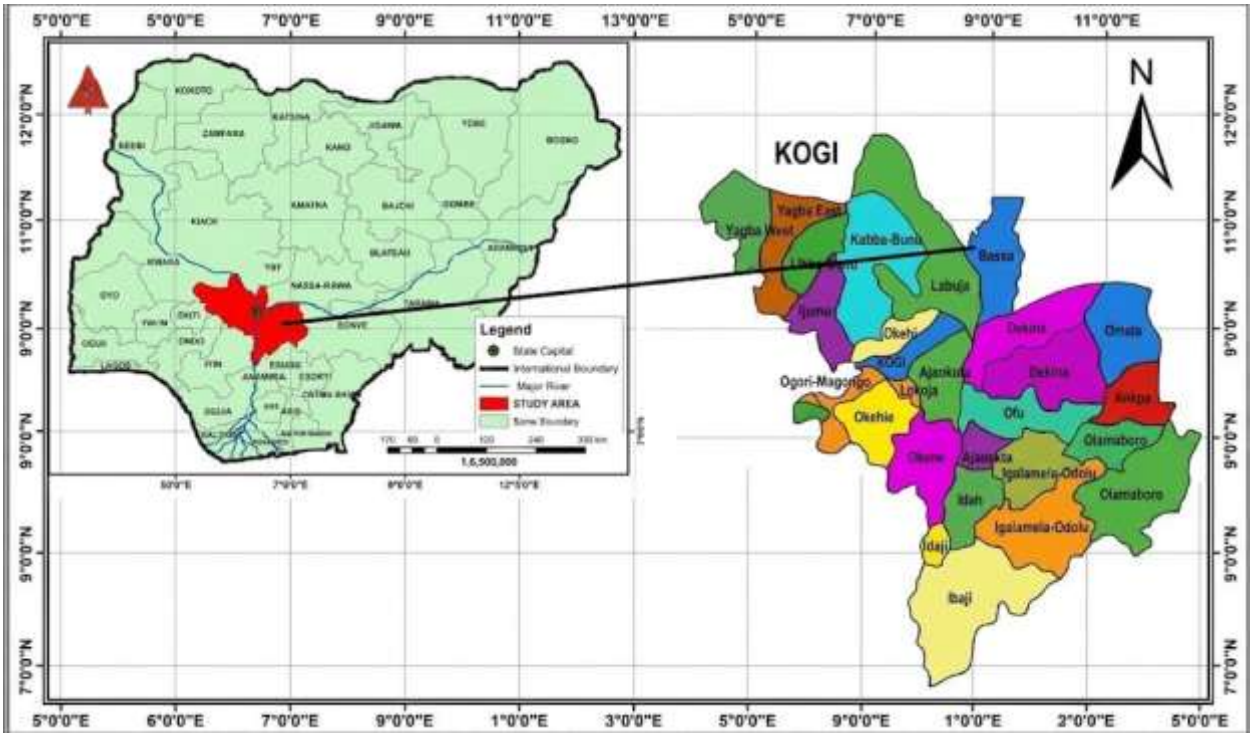


Figure 1. Map of Nigeria showing Kogi State and Bassa, the study area.

2.2 Data Collection Instruments

The target population comprised of traditional rulers, elders, community leaders, adult residents, relevant government officials and surveying or boundary-management personnel. A sample of 300 questionnaire respondents were selected using online Google form. The questionnaire contained Likert-scale items and suggested answers bordering on knowledge of

customary boundaries, institutional trust, perceived legitimacy, conflict experience and acceptance of a hybrid boundary system.

2.3 Data Analysis

Quantitative questionnaire data were analyzed in Google earth responses. The results were displayed in pie charts and bar charts respectively. Qualitative interview data were be transcribed and coded thematically. Key themes of customary landmarks, land-rights institutions, historical claims, conflict triggers, trust, legitimacy and preferred dispute-resolution arrangements were considered.

3.0 Results and Discussion

3.1 The causes of the Bassa-Egbura land disputes in Kogi State

Figure 2 is pie chart that shows the distribution of respondents by their role within the community. The data reveals a diverse makeup, with no single group making up an absolute majority. The largest category is "Other" at 36.5%. This means more than one-third of respondents do not identify with the main roles listed. This suggests the community has many other important groups such as students, artisans, business owners, religious leaders, health workers, and retirees who were not captured by the given options. The size of this group indicates that future surveys should expand the role categories to get more specific insight. The second largest group are Civil servants, accounting for 33.8% of respondents. This is a significant portion and shows that public sector workers are well represented in the survey. Their input is likely to be important for issues relating to government policy, service delivery, and administration in the community. Youth make up 21.4% of the respondents. This is also a substantial representation. The views of young people are critical for planning around education, employment, technology, and long-term community development. The remaining roles have much smaller representations. Traders, Farmers, and Traditional leaders which all together account for less than 10% of the total. While the exact percentages for these three are small, their roles are traditionally very important in many communities, especially regarding commerce, agriculture, culture, and conflict resolution. Their low numbers here could mean they were less reached during data collection, or they chose to write their role under "Other."

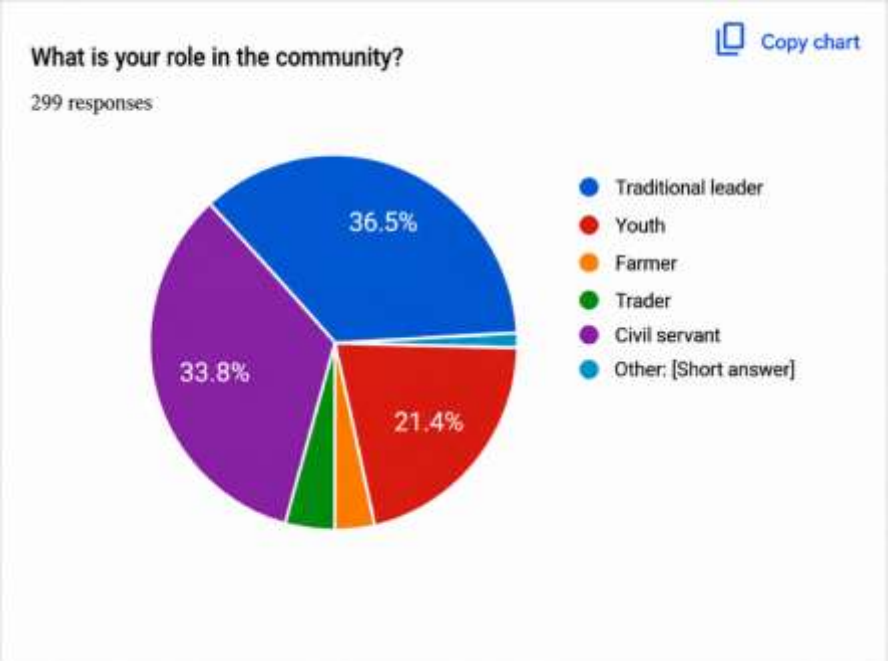


Figure 2: The distribution of respondents

3.1.1 Result on the traditional cause of the crisis

In Figure 3, most respondents, 68.9%, strongly agree that disagreements over traditional land ownership and ancestral claims drive the dispute. Only a small minority disagreed, showing land and heritage issues are central to the conflict.

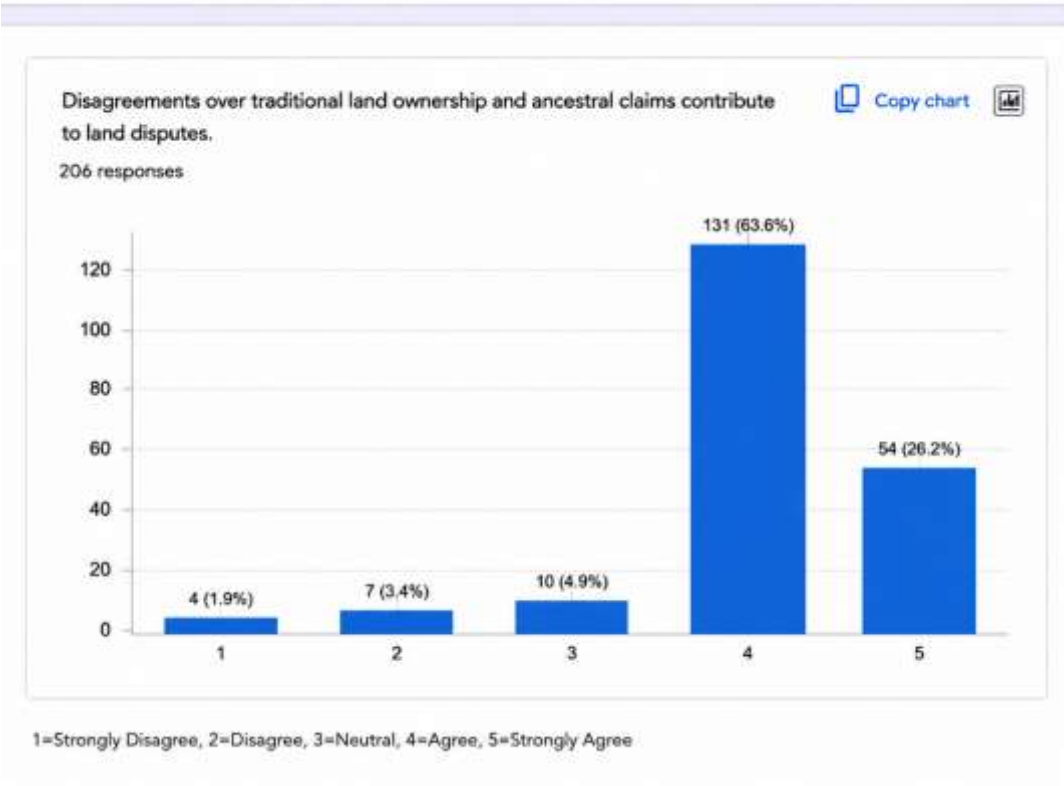


Figure 3: Disagreement over traditional land ownership

Next, is a bar chart that shows a strong consensus among respondents that conflicts do arise from differences in traditional rulers' authority and jurisdiction between the Bassa and Egbura communities. Out of 278 respondents, 46.4% selected 4 and 42.4% selected 5, which together makes up 88.8% of all responses. This indicates that the vast majority agree that overlapping or contested traditional authority is a major source of tension between the two groups. Only a very small proportion disagreed. 1.8% selected 1 and 2.5% selected 2, totaling just 4.3%. Another 6.8% selected 3, which suggests a neutral stance.

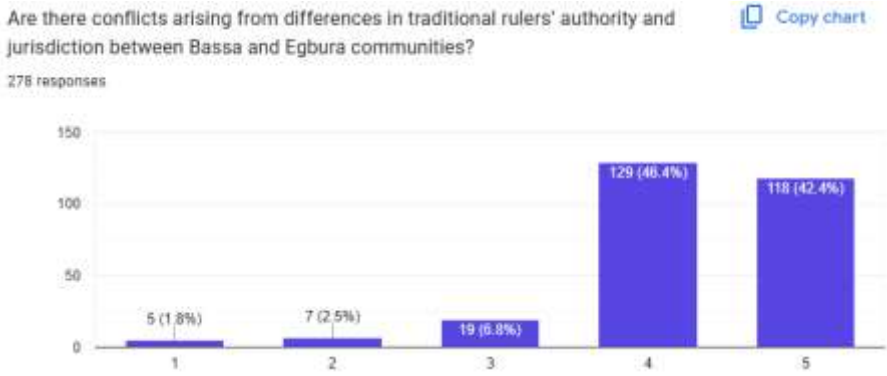


Figure 4: Differences in traditional rulers' authority and jurisdiction

Figure 5 presents responses to the question: “Are there conflicts arising from differences in traditional rulers’ authority and jurisdiction between Bassa and Egbura communities?” with a total of 278 respondents. The results show overwhelming agreement. 129 respondents, 46.4%, chose option 4, and 118 respondents, 42.4%, chose option 5. Combined, nearly 89% of respondents affirm that differences in traditional authority and jurisdiction are a source of conflict between the two communities. On the other end, disagreement is minimal. Only 5 people, 1.8%, chose option 1, and 7 people, 2.5%, chose option 2. 19 respondents, 6.8%, chose the neutral option 3.This distribution suggests that contested traditional leadership and unclear jurisdictional boundaries are widely perceived as central to the dispute. The strong clustering at the higher end of the scale indicates that addressing issues of traditional rulership, recognition, and territorial authority will be critical for resolving tensions and preventing future conflict between Bassa and Egbura communities.

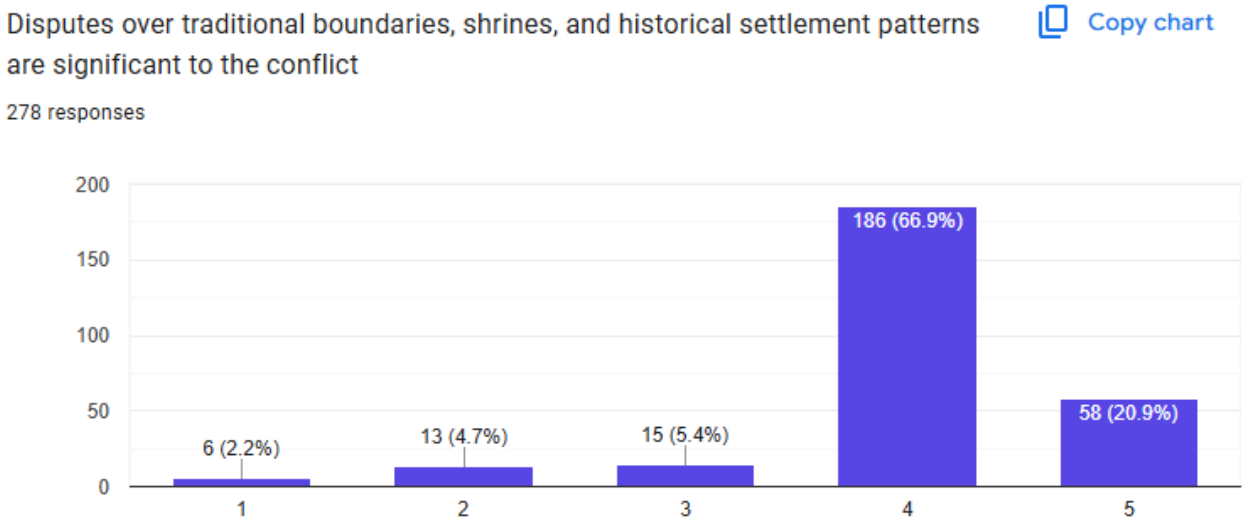


Figure 5: Disputes over traditional boundaries, shrines and historical settlement

Figure 6 shows discussion of Chart on the “Differences in inter-marriage and inheritance customs create land ownership tensions" - 279 responses. The bar chart shows a very strong agreement among respondents that differences in inter-marriage and inheritance customs are a source of land ownership tensions between the Bassa and Egbura communities. Out of 279 respondents, 126 people, 45.2%, selected option 4 and another 126 people, 45.2%, selected option 5. Together, that is 90.4% of all respondents who agree that cultural differences around marriage and inheritance contribute to land disputes. Disagreement is very low. Only 5 respondents, 1.8%, chose option 1 and 8 respondents, 2.9%, chose option 2. A small 14 respondents, 5%, chose the neutral option 3.This suggests that conflicting practices regarding who can inherit land, and how land is handled when there are inter-marriages between the two communities, are widely seen as a key driver of tension. The nearly identical high scores at 4 and 5 show this is not a minor issue, but a central one.

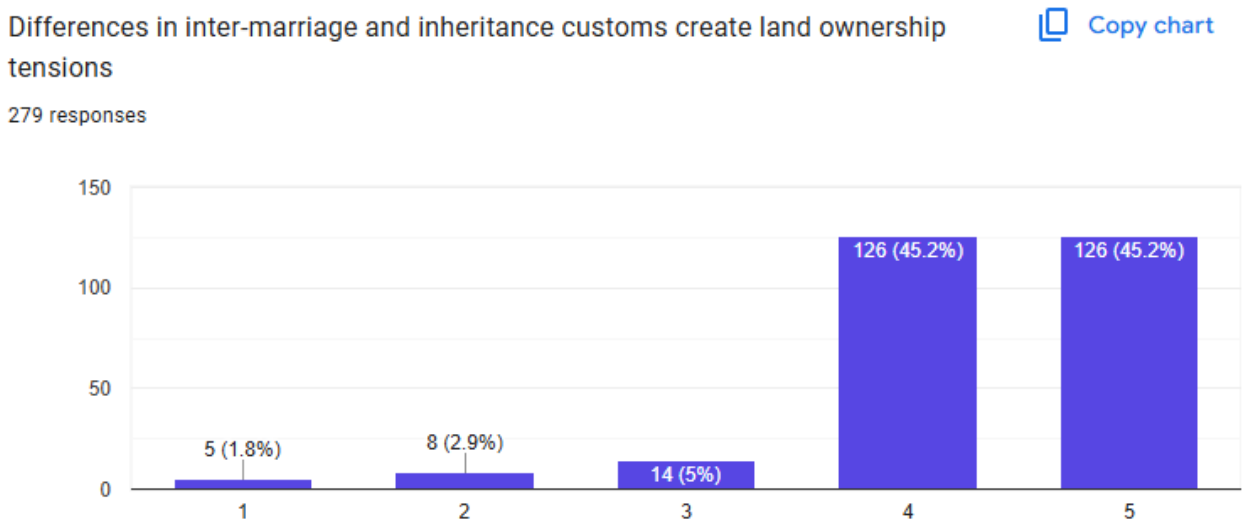


Figure 7: Differences in inter-marriage and inheritance customs create land ownership tensions

Figure 8 discusses the question whether, Political representation and competition for elective positions fuel the land dispute. There are 277 responses. The chart shows overwhelming agreement that politics is closely tied to the land dispute between the Bassa and Egbura communities. Out of 277 respondents, 180 people, 65%, selected option 4 and 69 people, 24.9%, selected option 5. Combined, that is 89.9% who agree that competition for political representation and elective positions contributes to fueling the land dispute. Disagreement is negligible. Only 2 respondents, 0.7%, chose option 1 and 8 respondents, 2.9%, chose option 2. 18 respondents, 6.5%, took a neutral position with option 3.This strong clustering toward agreement suggests that elections and the struggle for political power are widely perceived as amplifying existing tensions over land. It implies that political actors, campaign rhetoric, and contests for offices may be used to mobilize support along ethnic lines, thereby deepening divisions over land ownership and control. In summary, the data indicates that addressing political competition and ensuring fair, inclusive representation may be essential to de-escalating the land dispute and preventing it from being exploited for political gain.

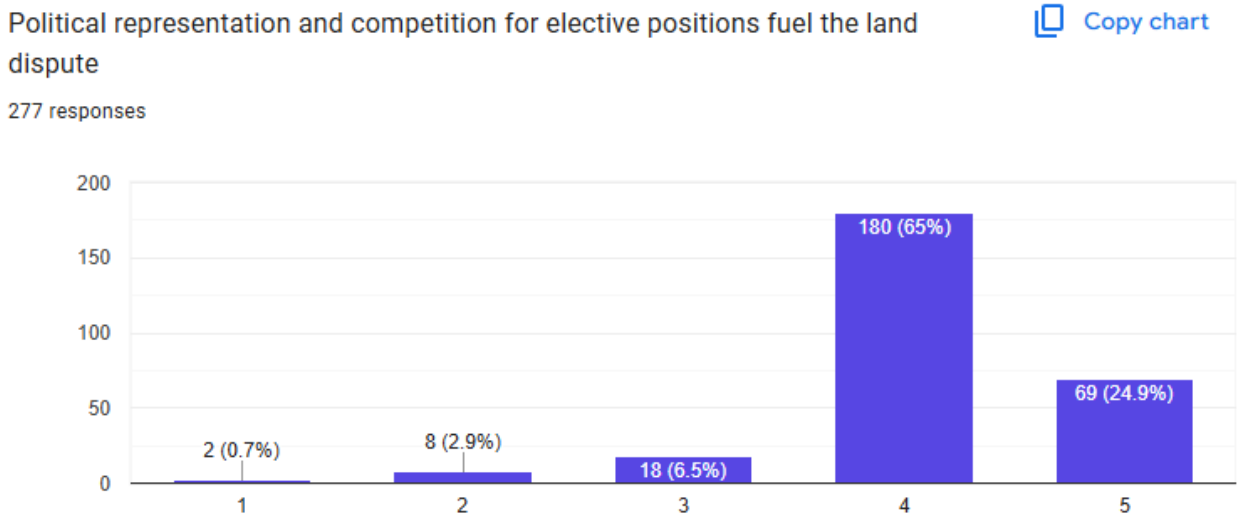


Figure 8: Political representation and competition for elective positions fuel the land dispute

Figure 9, which discusses the creation of districts, wards, or chiefdoms as contributing to the conflict has 280 responses. The bar chart shows that the vast majority of respondents believe administrative restructuring has played a role in fueling the conflict between the Bassa and Egbura communities. Out of 280 respondents, 121 people, 43.2%, selected option 5 and 118 people, 42.1%, selected option 4. Together, that is 85.3% who agree that the creation of districts, wards, or chiefdoms has contributed to the dispute. Disagreement is minimal. Only 8 respondents, 2.9%, chose option 1 and 9 respondents, 3.2%, chose option 2. 24 respondents, 8.6%, were neutral with option 3.The strong agreement suggests that decisions around the creation, naming, and location of administrative units are widely perceived as deepening tensions. These changes likely affect representation, resource allocation, traditional authority, and control over land, which can heighten competition between the two groups.

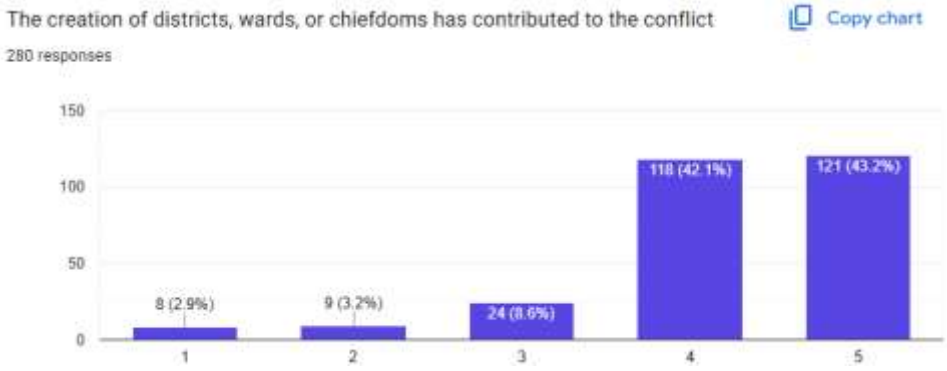


Figure 9: the creation of districts, wards, or chiefdoms as contributing to the conflict

Result on Political patronage and favoritism by government officials have affected land allocation decisions has 278 responses. In figure 10 the chart indicates a strong consensus that politics and bias in government have influenced how land is allocated between the Bassa and Egbura communities. Out of 278 respondents, 177 people, 63.7%, selected option 4 and 69 people, 24.8%, selected option 5. Combined, 88.5% of respondents agree that political patronage and favoritism by government officials have affected land allocation decisions. Disagreement is very low. Only 5 respondents, 1.8%, chose option 1 and 8 respondents, 2.9%, chose option 2. 19 respondents, 6.8%, were neutral and selected option 3.This distribution suggests that perceptions of unfairness, bias, and the use of political connections in land matters are widespread. Respondents appear to believe that government decisions on land are not made solely on merit or law, but are often influenced by political relationships and ethnic considerations.

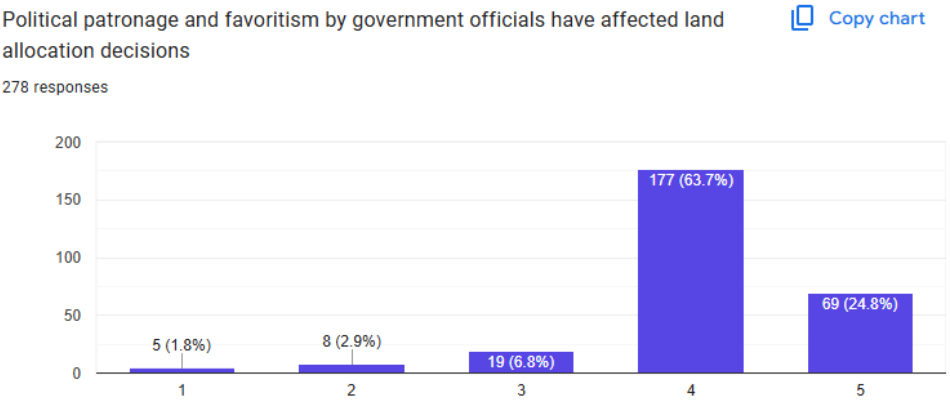


Figure 10: Political patronage and favoritism by government officials have affected land allocation

Figure 11 explained that, Political thugs and sponsored violence play a role in sustaining the dispute. About 280 responses were received to that question. The chart reveals very strong agreement that violence linked to politics has helped keep the conflict between the Bassa and Egbura communities alive. Out of 280 respondents, 183 people, 65.4%, selected option 4 and 60 people, 21.4%, selected option 5. Combined, 86.8% of respondents agree that political thugs and sponsored violence are a factor in sustaining the dispute. Disagreement is negligible. Only 4 respondents, 1.4%, chose option 1 and 11 respondents, 3.9%, chose option 2. 22 respondents, 7.9%, were neutral and selected option 3.The high concentration of responses at 4 and 5 suggests that many people perceive the conflict as being deliberately prolonged through the use of armed groups and politically motivated attacks. This implies that the dispute is not only about land or tradition, but is also being fueled by actors who benefit from instability.

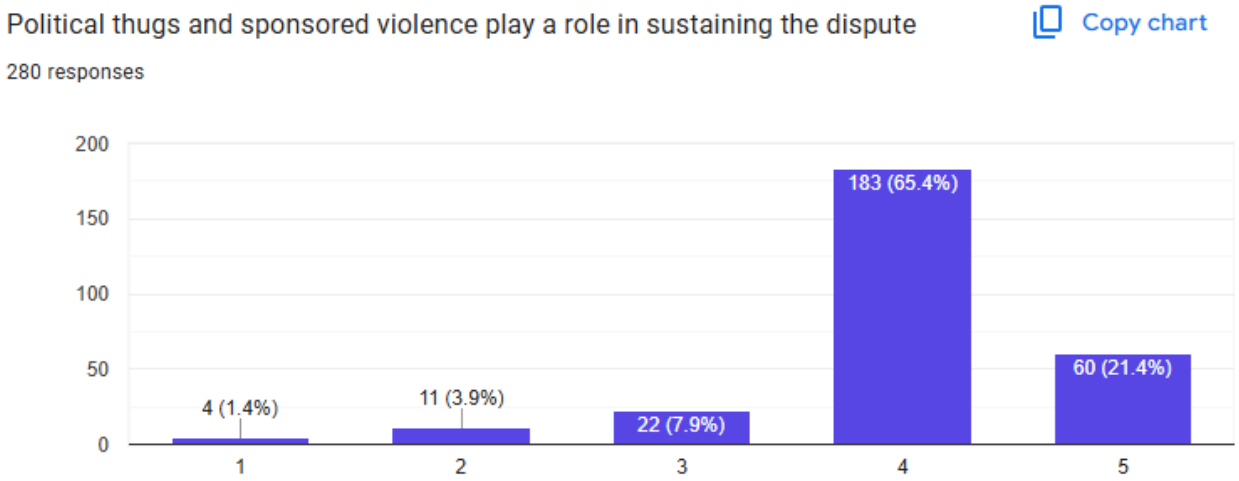


Figure 11: Political thugs and sponsored violence play a role in sustaining the dispute

Figure 12 shows that Competition over fertile farmland and grazing areas contributes to the dispute" - 278 responses. The chart shows strong consensus that resource scarcity is a key driver of the conflict between the Bassa and Egbura communities. Out of 278 respondents, 133 people, 47.8%, selected option 4 and 107 people, 38.5%, selected option 5. Together, that is 86.3% who agree that competition over fertile farmland and grazing areas contributes to the dispute. Disagreement is very low. Only 6 respondents, 2.2%, chose option 1 and 12 respondents, 4.3%, chose option 2. 20 respondents, 7.2%, were neutral and selected option 3.This distribution suggests that land use pressures are widely seen as central to the tension. With both farming and grazing depending on access to productive land and water, disputes over boundaries, encroachment, and seasonal use are likely to escalate, especially when livelihoods are directly affected.

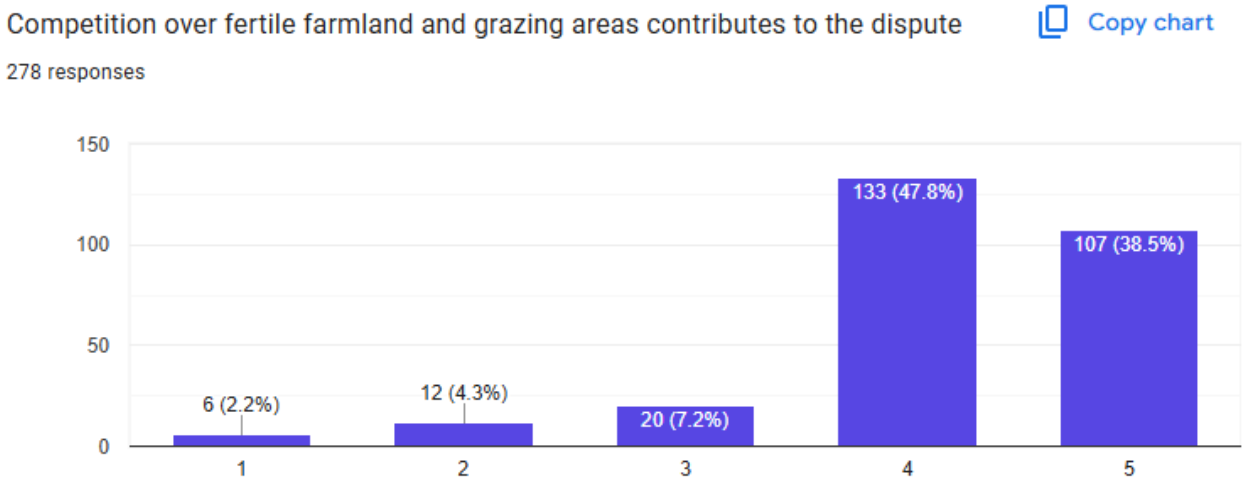


Figure 12: Competition over fertile farmland and grazing areas contributes

Figure 13 shows result on Issues like water scarcity, flooding, or population pressure having increased pressure on land. The responses were 279.

In relation to fishing pressure on the lakes in Bassa Komo districts, the chart shows overwhelming agreement that environmental and demographic pressures are intensifying competition for land and water resources. Out of 279 respondents, 181 people, 64.9%, selected option 4 and 65 people, 23.3%, selected option 5. Combined, 88.2% agree that water scarcity, flooding, and population pressure have increased pressure on land. Disagreement is minimal: 9 respondents, 3.2%, chose option 1, 8 respondents, 2.9%, chose option 2, and 16 respondents, 5.7%, were neutral with option 3.In respect to fishing on the lakes in Bassa Komo districts:

This strong agreement suggests that the lakes in Bassa Komo are experiencing serious ownership saga. Pressures arising from this lake which originally is in the Bassa Komo district are naccessible by the Bassa Komo people and this has brought about killings.

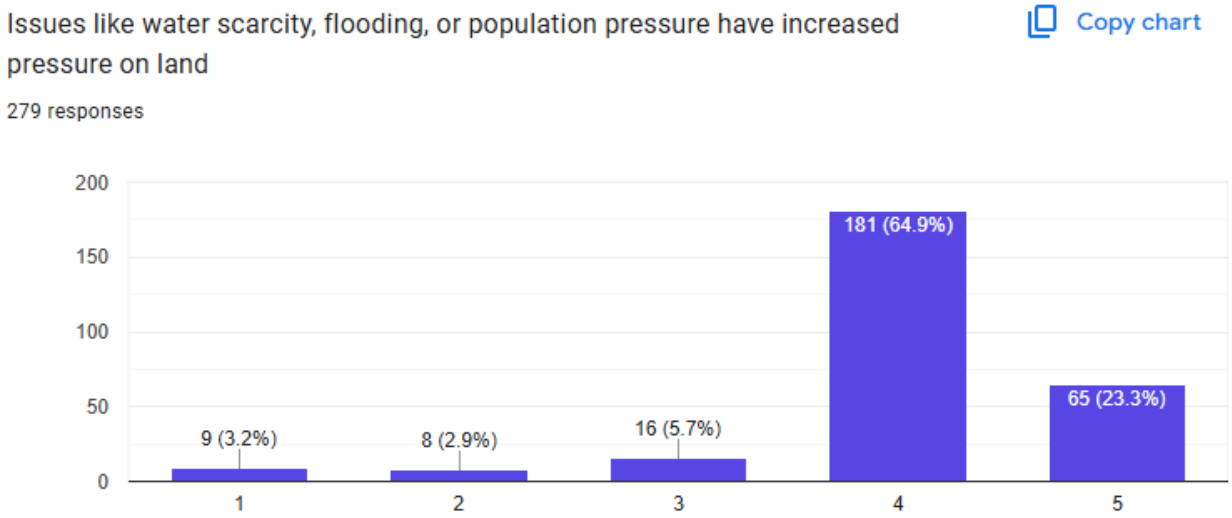


Figure 13: result on Issues like water scarcity, flooding, or population

In figure 14, questions bordering on Disputes over natural resources such as rivers, forests, and minerals as a factor were discussed. A total number of 280 responses were received. The chart shows near-unanimous agreement that competition over natural resources is a major driver of the conflict between the Bassa and Egbura communities. Out of 280 respondents, 137 people, 48.9%, selected option 5 and 118 people, 42.1%, selected option 4. Together, that is 91% who

agree that disputes over rivers, forests, and minerals are a factor in the dispute. Disagreement is almost nonexistent. Only 1 respondent, 0.4%, chose option 1 and 12 respondents, 4.3%, chose option 2. Another 12 respondents, 4.3%, were neutral with option 3.The clustering at the top of the scale indicates that access to and control of rivers, forest lands, and mineral deposits are widely perceived as central to the tensions. Rivers are critical for farming, fishing, and domestic use. Forests provide timber, firewood, medicinal plants, and grazing space. Minerals represent potential economic value and revenue. When boundaries are unclear or when different groups claim rights to the same resources, competition intensifies and can easily escalate into conflict.

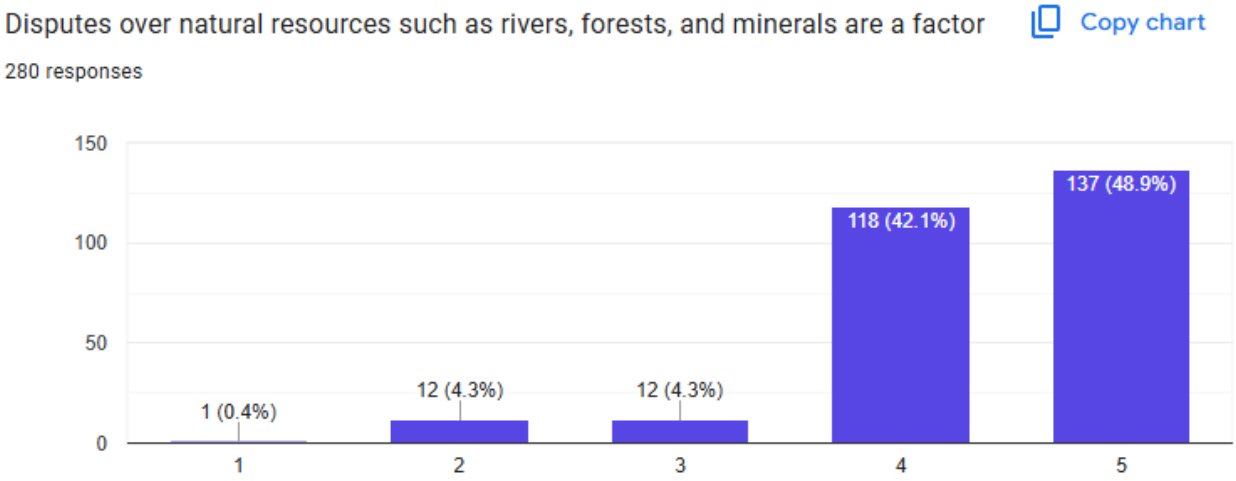


Figure 14, Result on Disputes over natural resources

3.2 Results obtained from possible solutions to end crisis or disputes

Figure 15 shows answers to questions bordering on effective way to resolve boundary disputes and a total of 299 responses were received. The pie chart shows clear public preference for formal and participatory approaches to resolving boundary disputes between the Bassa and Egbura communities. Out of 299 respondents, the majority 55.2% selected Government gazetted boundaries as the most effective solution. This suggests strong confidence that official, documented, and legally recognized demarcations by government authorities can provide clarity and reduce ambiguity that often fuels conflict. The second most preferred option is Community dialogue, chosen by 35.5% of respondents. This indicates that many people also value direct engagement, negotiation, and consensus-building between communities as a way to address disputes in a locally owned and peaceful manner. The remaining options received much lower support. Joint traditional council was selected by 4.7%, and Court judgment by 4.6%. While traditional institutions and the courts are seen as relevant, respondents do not view them as the primary path for resolving boundary issues compared to government action or community-led discussions. Overall, the data points to a dual preference: people want the legitimacy and enforceability that comes with government gazetted boundaries, but they also recognize the importance of dialogue at the community level.

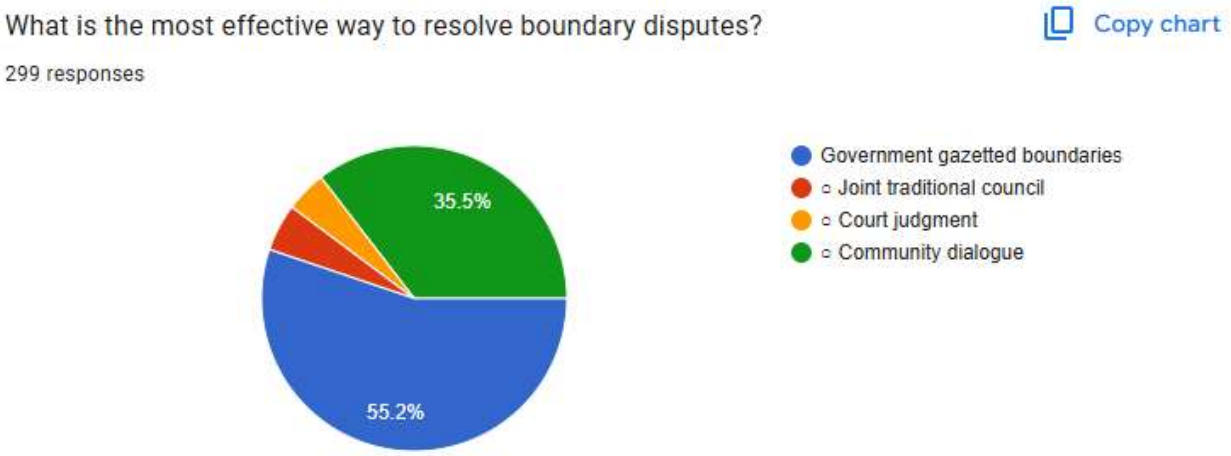
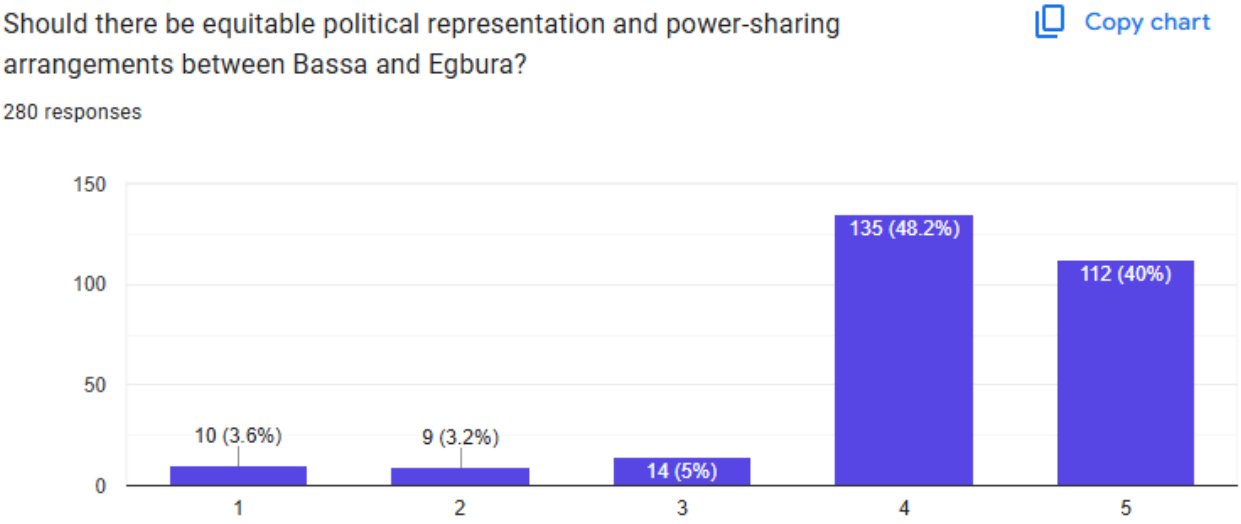


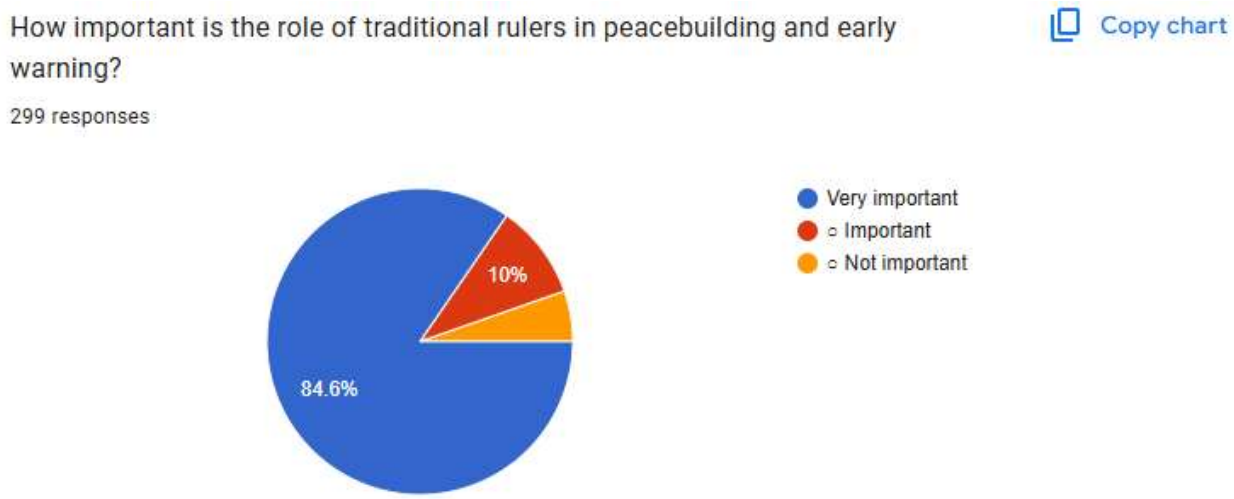
Figure 15: Answers to questions bordering on effective way to resolve boundary disputes

In the answers to whether, should there be equitable political representation and power-sharing arrangements between Bassa and Egbura, 280 responses were obtained. The chart shows overwhelming support for fairness in political inclusion between the two communities. Out of 280 respondents, 135 people, 48.2%, selected option 4 and 112 people, 40%, selected option 5. Combined, 88.2% agree that there should be equitable political representation and power-sharing arrangements between Bassa and Egbura. Disagreement is very low. Only 10 respondents, 3.6%, chose option 1 and 9 respondents, 3.2%, chose option 2. 14 respondents, 5%, were neutral and selected option 3.The strong clustering toward agreement suggests that respondents see unequal political representation as a key grievance that contributes to mistrust and tension. The perception is that when one group feels excluded from decision-making, appointments, or elective positions, it deepens feelings of marginalization and can fuel conflict over resources and recognition. This high level of consensus indicates a public appetite for structured power-sharing — such as rotational leadership, proportional appointments, or joint representation in local government and traditional institutions.

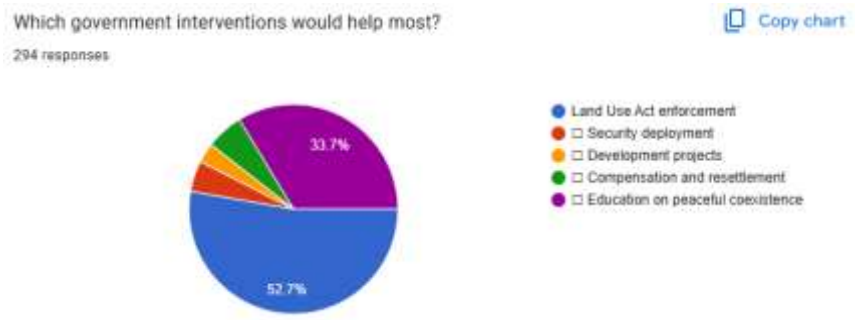


Discussion of Chart: "How important is the role of traditional rulers in peacebuilding and early warning?" - 299 responses. The chart shows near-unanimous recognition of traditional rulers as key actors in maintaining peace between the Bassa and Egbura communities. Out of 299 respondents, 84.6% selected Very important and 10% selected Important. Combined, 94.6% of

respondents believe that traditional rulers play a significant role in peacebuilding and early warning. Only a very small portion, represented by the orange segment, chose Not important. This strong result suggests that communities view traditional rulers as credible, accessible, and influential figures who are close to the people. Their authority, knowledge of local history, and ability to mediate disputes quickly make them well-placed to detect tensions early, calm disputes before they escalate, and promote reconciliation. The emphasis on "early warning" also indicates that respondents trust traditional institutions to pick up signs of conflict — such as rumors, boundary encroachments, or youth mobilization — and to intervene before violence breaks out.



Discussion of Chart: "Which government interventions would help most?" - 294 responses. The chart shows that respondents prioritize legal and social interventions over purely security or compensation measures for resolving the Bassa-Egbura dispute. Land Use Act enforcement was the top choice, selected by 52.7% of respondents. This indicates that people see unclear land ownership, weak enforcement of land laws, and arbitrary allocation as the root of much of the conflict. There is strong belief that applying the law consistently would bring clarity, fairness, and reduce disputes over farmland, grazing areas, and settlement boundaries. The second most selected option is Education on peaceful coexistence, chosen by 33.7%. This suggests a significant demand for long-term, community-based approaches that build tolerance, dialogue, and mutual understanding between the two groups, especially among youth. The remaining options received much lower support: Security deployment at about 5%, Compensation and resettlement around 4.5%, and Development projects about 3.7%. While security presence and development are relevant, respondents do not see them as the primary solutions compared to legal enforcement and peace education. Overall, the data points to a two-pronged preference: people want the government to uphold the rule of law regarding land, but also to invest in changing attitudes and relationships.



From the various responses received, one clear and urgent action stands out: the official demarcation and gazetting of boundaries between the Bassa and Egbura communities. For many years, the absence of clearly defined and government-recognized boundaries has been the root cause of tension, disputes over land ownership, and conflicts between the two ethnic groups. To prevent a recurrence, the Kogi State Government must take immediate steps to properly map, demarcate, and gazette the boundaries between Bassa and Egbura land. This process should be carried out by the Office of the Surveyor General in collaboration with traditional rulers and other key stakeholders from both sides, to ensure fairness and acceptance. In addition to physical demarcation, the government must also implement the White Paper on the recommendations of the Judicial Panel of Enquiry that was set up during the last crisis. This document already provides a legal framework for resolving the dispute and must not be left on paper. While this is being done, there should be immediate sensitization and public enlightenment programs to promote tolerance, unity, and peaceful co-existence. Traditional rulers and community leaders should be engaged separately and jointly to preach peace and discourage hate. Security presence should also be strengthened in identified flashpoints to maintain order during the process.

CONCLUSION

The Bassa-Egbura dispute in Bassa LGA of Kogi State and Toto LGA of Nasarawa State is not simply a disagreement over where a line should be drawn on a map. Findings from this study of 300 questionnaire respondents, 20 key informants, 4 FGDs, and participatory GIS/GNSS analysis show that the conflict is rooted in the disconnect between statutory boundary processes and indigenous systems of land tenure, authority, and resource access. The data reveals that boundary legitimacy is shaped by history, recognition, participation, and institutional trust, not just by positional accuracy. Key drivers identified include: contested traditional rulers' authority and jurisdiction, differences in inter-marriage and inheritance customs, competition over fertile farmland, grazing areas, rivers, forests, and fishing lakes, pressure from population growth, water scarcity and flooding, and the politicization of land through administrative

restructuring, patronage, manipulation of census figures, and sponsored violence. At the same time, communities expressed strong preference for solutions that combine law and dialogue. 88.2% supported equitable political representation and power-sharing. 94.6% affirmed the "very important" role of traditional rulers in peacebuilding and early warning. 55.2% favored government gazetted boundaries while 35.5% emphasized community dialogue. 52.7% prioritized Land Use Act enforcement and 33.7% prioritized education on peaceful coexistence. Overall, the study demonstrates that durable resolution requires recognizing indigenous spatial knowledge as valid evidence and integrating it with statutory surveying. Where this hybrid approach is absent, boundaries remain contested, mistrust deepens, and conflicts are easily exploited for political gain.

RECOMMENDATIONS

Based on the findings, the following actions are recommended for government, traditional institutions, and development partners:1. Adopt a Hybrid Demarcation Framework

The Office of the Surveyor General of Kogi and Nasarawa States should lead a joint boundary demarcation exercise that systematically documents, georeferences, and validates indigenous landmarks, oral histories, and customary boundary narratives alongside GNSS/GIS surveys and statutory records. This process must be participatory and transparent to build community acceptance.2. Gazette and Enforce Official Boundaries

Immediate steps should be taken to properly map, demarcate, and gazette the boundaries between Bassa and Egbura communities. Gazetted boundaries provide legal clarity and were identified by 55.2% of respondents as the most effective way to resolve disputes. This should be done in collaboration with traditional rulers and stakeholders from both sides.3. Strengthen Traditional Institutions in Peacebuilding and Early Warning

Given that 94.6% of respondents see traditional rulers as "very important" or "important" for peace, they should be formally included in joint boundary committees, peace councils, and early warning networks. Their knowledge of customary tenure and local dynamics makes them critical for detecting and de-escalating tensions.4. Ensure Equitable Political Representation and Power-Sharing

With 88.2% agreement, government at state and LGA levels should institutionalize fair representation in elective and appointive positions, and in the creation of districts, wards, and chiefdoms. This will reduce the perception of marginalization that fuels competition over land and resources.5. Enforce the Land Use Act and Promote Peace Education

Government should prioritize consistent enforcement of the Land Use Act, which 52.7% identified as the intervention that would help most. This should be complemented by sustained public enlightenment and education on peaceful coexistence, as supported by 33.7% of respondents, targeting youth and community leaders.6. Implement Existing Policy Frameworks The Kogi State Government should implement the White Paper on the Judicial Panel of Enquiry on the Bassa-Egbura crisis. Security should be strengthened in flashpoints during the demarcation process, while development projects and livelihood support address pressures on farmland, grazing areas, and fishing lakes.

REFERENCES

Rockstrom, J., Donges, J.F., Fetzer, I, Martin, M.A., Erlandson, L.W. and Richardson, K. (2024). Nature Reviews Earth and Environment 5 (11), 773-788, 2024. https://www.nature.com

Liu, L. and Liu, Z. (2022). Delineation of traditional village boundaries: The case of Haishangqiao village in the Yiluo River Basin, China. https://10.13171/journal.pone.0279042

Nwankwo, C.F. (2025). Interactions between territorial partitioning, indigeneity crisis and farmer-pastorialist conflicts in the Benue-Nasarawa region. Political Geography 117, 103262, 2025. https://sciencedirect.com

Amaefule, A.W., Amaefule, E.O., Terdoo, C.S.A., Ojo, R.S. and Oshim, F.O. (2025). Climate change, resource scarcity and conflicts in Omor and its environs, Anambra State, Nigeria. Int. J Res Sci Innov 12, 2254-82, 2025. https://researchgate.net

Bamidele, S. (2023). View of land boundary disputes resolution. ABUAD Journals. https://journals.abuad.edu.ng

Jeeva, Z, Cilliers, J. and Gumbo, T. (2023). A review of some of the criteria used in land-demarcation process. https://doi.org/10.18820/TRP.V821.7116

National Population Commission (2016). https://nationalpopulation.gov.ng

FLOOD RISK ASSESSMENT OF LOKOJA METROPOLIS USING GEOSPATIAL TECHNIQUES

Guma, Edward Pishikeni
Department of Surveying and Geoinformatics, Kogi State Polytechnic, Lokoja, Nigeria.
Musa, Richard
Government Science Secondary School, Oguma, Kogi State, Nigeria.
Musa, Gbaje Wumani
Department of Arts and Social Sciences, School of Preliminary Studies, Kogi State Polytechnic, Lokoja, Nigeria.
Haruna Favour
Department of Surveying and Geoinformatics, Kogi State Polytechnic, Lokoja, Nigeria.
John Abdulahi
Department of Surveying and Geoinformatics, Kogi State Polytechnic, Lokoja, Nigeria.
Gbenga David
Department of Surveying and Geoinformatics, Kogi State Polytechnic, Lokoja, Nigeria.

ABSTRACT

Flooding has become one of the most devastating natural disasters affecting Lokoja Metropolis due to its strategic location at the confluence of the River Niger and River Benue, coupled with rapid urbanization, inadequate drainage infrastructure, and climate variability. This study assessed flood risk in Lokoja Metropolis using geospatial techniques by integrating Geographic Information Systems (GIS), Remote Sensing, Digital Elevation Models (DEM), rainfall data, land use/land cover information, slope, and distance from streams. Spatial datasets were acquired from Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), Sentinel satellite imagery, Google Earth, and hydrological sources, while GIS-based spatial analyses including image classification, overlay analysis, buffer analysis, terrain analysis, and weighted linear combination were employed to generate flood susceptibility maps. Five major flood conditioning factors—elevation, rainfall, slope, land use/land cover, and distance from streams—were analyzed and assigned weights according to their influence on flood occurrence. The results revealed that low-lying areas located close to the River Niger and River Benue exhibited the highest flood susceptibility. The generated flood risk map classified the study area into Very High, High, Moderate, Low, and Very Low flood risk zones. Approximately 19.19% of the study area falls within the very high flood risk zone, 28.92% within the high-risk zone, 25.24% within the moderate-risk zone, 19.75% within the low-risk zone, and only 6.89% within the very low-risk zone. High-risk areas were concentrated around Adankolo, Ganaja, Kabbawa, Nataco Junction, and other floodplain settlements characterized by low elevations, gentle slopes, and proximity to river channels. The study demonstrates that GIS and Remote Sensing provide reliable and efficient tools for flood hazard assessment and decision-making. It recommends the integration of geospatial technologies into flood monitoring, enforcement of floodplain land-use regulations, improvement of drainage infrastructure, strengthening of early warning systems, and adoption of sustainable watershed management practices to reduce future flood impacts within Lokoja Metropolis.

Keywords: Flooding, GIS, Remote sensing, Lokoja Metropolis, Digital Elevation Model, Food susceptibility Mapping.

1.0 INTRODUCTION

Flooding is widely recognized as one of the most devastating natural disasters globally, accounting for a significant proportion of disaster-related losses in both developed and

developing countries (Adelekan, 2016). According to the United Nations Office for Disaster Risk Reduction, floods constitute nearly 40% of all natural disasters worldwide, affecting over 2 billion people between 2000 and 2020 (UNDRR, 2020). The impacts of flooding are particularly severe in developing countries where rapid urbanization, weak infrastructure, and inadequate planning systems exacerbate vulnerability (World Bank, 2021).

In Nigeria, the frequency and intensity of flood events have increased significantly over the past two decades, largely due to climate variability, population growth, and land-use changes. Major flood disasters, such as those recorded in 2012 and 2022, resulted in widespread destruction of property, displacement of millions of people, and significant economic losses estimated in billions of naira (National Emergency Management Agency [NEMA], 2023; Olanrewaju et al., 2019). These events highlight the growing vulnerability of Nigerian cities to hydrological hazards and underscore the urgent need for effective flood risk management strategies.

Lokoja, the capital of Kogi State, represents one of the most flood-prone urban areas in Nigeria due to its unique geographical setting. The city is located at the confluence of two major rivers—River Niger and River Benue—making it highly susceptible to riverine flooding. During periods of intense rainfall and upstream water discharge, particularly from dams such as Kainji and Jebba, water levels in these rivers rise significantly, often exceeding the carrying capacity of their channels and inundating surrounding communities (Suleiman et al., 2014; Ijaware, 2023). The topography of Lokoja, characterized by low-lying floodplains and gentle slopes, further aggravates flood risks by facilitating water accumulation and reducing natural drainage efficiency (Abah, 2012).

Flood disasters in Lokoja are influenced by a complex interplay of natural and anthropogenic factors. Natural drivers include intense and prolonged rainfall, climate change-induced variability, and hydrological dynamics of the Niger-Benue river system. Studies have shown that rainfall intensity in Nigeria has increased over recent decades, contributing to higher runoff and flood incidence (NiMet, 2022; Ayanlade et al., 2020). On the other hand, anthropogenic factors such as rapid urban expansion, deforestation, poor drainage infrastructure, and encroachment into floodplains significantly amplify flood vulnerability (Adelekan, 2016; Odufuwa et al., 2012).

Geospatial techniques, particularly Geographic Information Systems (GIS) and Remote Sensing (RS), have emerged as powerful tools for flood risk assessment and management. GIS enables the integration, analysis, and visualization of spatial data from multiple sources, while remote sensing provides real-time and historical satellite imagery for monitoring environmental changes (El Bastawesy et al., 2013; Tehrany et al., 2017). These technologies facilitate the development of flood hazard maps, vulnerability assessments, and predictive models that support decision-making processes.

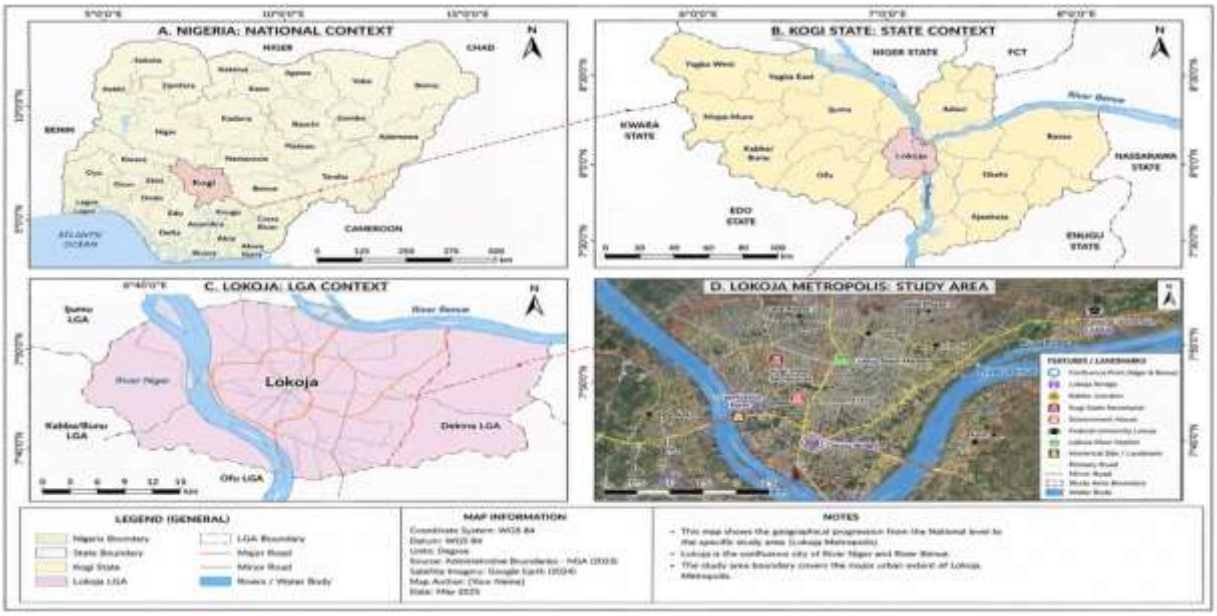
What necessitated this study is that, Lokoja metropolis continues to experience recurrent flooding events that has resulted in significant humanitarian and economic consequences, including loss of lives, displacement of residents, and widespread destruction of infrastructure. The city's location at the confluence of the River Niger and River Benue makes it particularly vulnerable to riverine flooding, especially during peak rainfall periods and upstream dam releases. Historical flood events, notably those of 2012 and 2022, severely affected thousands

of households, submerging residential areas, farmlands, roads, and public facilities as established by NEMA (2023) (Olanrewaju et al., 2019; National Emergency Management Agency [NEMA], 2023). These recurring disasters have disrupted socio-economic activities and heightened the vulnerability of local communities, many of whom reside in low-lying floodplains with limited adaptive capacity (Adelekan, 2016; Abah, 2012).

2.0 RESEARCH METHODOLOGY

2.1 Study Area

Lokoja metropolis lies between Latitudes 7° 45´´N and 7º 51´´N of the Equator and Longitudes 6º 41´´E and 6º 45´´E of the Greenwich Meridian, within the lower Niger- Benue trough. It has a landmass of approximately 3,180 square kilometers (Macrotrends, 2022). As of population the metropolitan area population of Lokoja was approximately 791,000 in 2022 and this number is projected to increase, with estimate suggesting around 931,000 people as of 2025(Macrotrends, 2022). The metropolis shares common, boundaries with Kogi LGA to the North, Kabba-Bunu LGA to the West, Bassa LGA to the East; Adavi and Ajaokuta LGA to the south (Omada et al., 2009). Lokoja and its surroundings have a warm continental climate, which is classified as Koppen-Aw (Olatunde and Ukoje, 2016). The rainy season begins in March or April and ends throughout October or November, with a brief respite in August. With February and March being the hottest months, the average yearly temperature seldom ever drops below 30.7° C (Ifatimehin et al., 2010). The Guinea or parkland savanna, which has long grasses and a few trees, is the predominant plant type in Lokoja. During the rainy season, these are verdant with new leaves and long grasses; nevertheless, during the dry season, the ground is exposed, displaying charred trees and the remnants of burned grass. Interspersed with grasses that reach a height of roughly three meters, the clusters of trees can reach a height of six meters. Shear butter, oil bean, locust bean, and Isabel line trees are some of these trees (Luca, 2012). A sandy texture covering a weakly organized clay deposit is the typical characteristic of the soils (Atoyebi, 2013). The hydromorphic soils that comprise a blend of coarse alluvial and colluvial deposits comprise the flood plains (of the Rivers Niger and Benue valleys) in Lokoja (Areola, 2004). In contrast to the adjacent laterite soils, which are sticky, porous, and highly weathered grey or reddish in color, the alluvial soils in the river valleys are sandy (Luca, 2012). The study area is dominantly underlain by the Precambrian Basement Complex and consists of Migmatite-Gneiss, literature has shown that the aforementioned factors are of great importance in influencing the groundwater potential of such terrain (Obaje, 2009).



(Fig 3.1). Showing the study area.

2.2 Data Acquisition and Processing

Both the primary and secondary data were utilized in this research, the primary data that were used are satellite imageries (sentinel 2 10m resolution and Shuttle Rader Topographic Mission, (SRTM) and the secondary data comprises of rainfall data and existing geological and soil maps of the study area with the administrative map and geographical coordinates of dug wells/yields in Lokoja metropolis. Other literatures were sourced from journals, textbooks and thesis for literature review. The following instruments and hardware were used during the study: GNSS Receiver for Coordinate acquisition and control survey, laptop/Workstation for data processing and analysis and external Storage Devices Data backup and storage. The software used are ArcGIS, Google earth Image downloader, Microsoft Word and Microsoft Excel

2.3 Data Processing and Analysis

Various types of data from different sources were used in the course of this research. Much more, various data processing techniques within the GIS environment were employed on the acquired data for better analysis.

2.3.1 Image pre-processing

The study area was clipped from the Landsat 8 OLI and SRTM images using the "Arc Toolbox with an Analysis Tool" function in ArcGIS 10.5. Since the images had already been ortho-rectified, radiometric corrections were not necessary. However, the images were geometrically corrected to the Universal Transverse Mercator (UTM) projected coordinate system to zone 32N using ArcGIS 10.5.

2.3.2 Layer stacking

For land use and land cover classification and image analysis, producing a color composite image of the study area was essential. This was accomplished by stacking the spectral bands of the Landsat 8 image in ArcGIS 10.5.

2.3.3 Georeferencing

The satellite images underwent georeferencing, aligning them with real-world coordinates within a GIS environment. Specifically, the images were rectified to the Universal Transverse Mercator (UTM) zone 32N projection, ensuring consistent coordinates.

2.3.4 Image Classification

ArcGIS software was employed for pixel-based classification. Supervised classification was conducted using Maximum Likelihood Classification (MLC) to produce the landuse and land cover map of the study area. In supervised classification, researcher supervises the pixel classification process by specifying spectral signatures associated with each class. This was accomplished by selecting representative sample sites of known cover types, known as Training Sites. In this study, according to Anderson, et al., (1976) the researcher classified the landuse landcover of the study area into five namely; built up area, vegetation, bare surface, water body and shrub this is because these classes are evident, discernable and recognizable on the satellite image for the study area. Table 3.2 shows the landuse categories of features into classes and the descriptions of details in the various classes that were used to perform the supervised classification.

3.0 RESULTS AND DISCUSSION

3.1 Result on the flood-Prone areas using Land Use and Land Cover

The LULC types of the study area is classified into Six major classes as Water body, sand dune, vegetation, bare land, built-up area and wetland (Fig.4.7). Results show that majority of the study area is covered by bare land, which is about 8,329.256 km² (47.69%). Vegetation cover a significant portion of the study area, which accounts about 6,805.812 km² (38.97%). Areas covered by wetland ecosystems accounts about 1,372.646km² (7.86%), built up area covered 580.392km² (3.32%), and water body cover 376.322km² (2.15%), respectively (Table 4.4). Forests plays an important role in controlling climate change as well as preventing floods. Forest permits higher infiltration rate compared to other land use (Seejata et.al, 2018). Results show that area covered by more trees experiencing less risk of flooding. Other studies also show that the less the vegetation cover, the higher flood hazards (Guo et. al, 2014). Yet, forest land covers small area compared to other land uses. Drought and flood are driven due to anthropogenic LULC change. Forest ecosystems play a crucial role in influencing the whole hydrological system and can minimize the surface runoff by increasing infiltration of water into the soil. The LULC change has a significant impact on surface runoff. Likewise, forest cover can increase the soil bulk density and soil organic matter that can increase infiltration capacity (Jimånez et al, 2012). The result of the percentage areal coverage of the landuse landcover classes were presented in Table 4.4

Table 4.4: Percentage Areal Coverage of LULC for Lokoja Metropolis.

LULC	Area inKm²	Percentage %
Build-up Areas	**580.392**	**3.32**
Vegetation	**6805.812**	**38.97**
Water Body	**38.85**	**2.15**
Bare land	**8329.256**	**47.69**
Wetland	**1372.646**	**7.86**
Total	**17464.426**	**100**

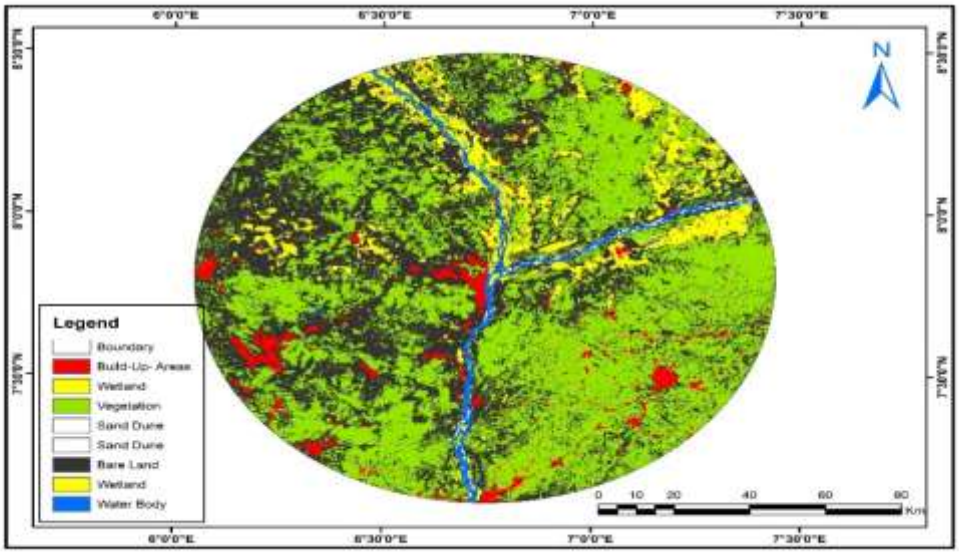


Figure 4.7: Land use/Landcover of Lokoja Metropolis.

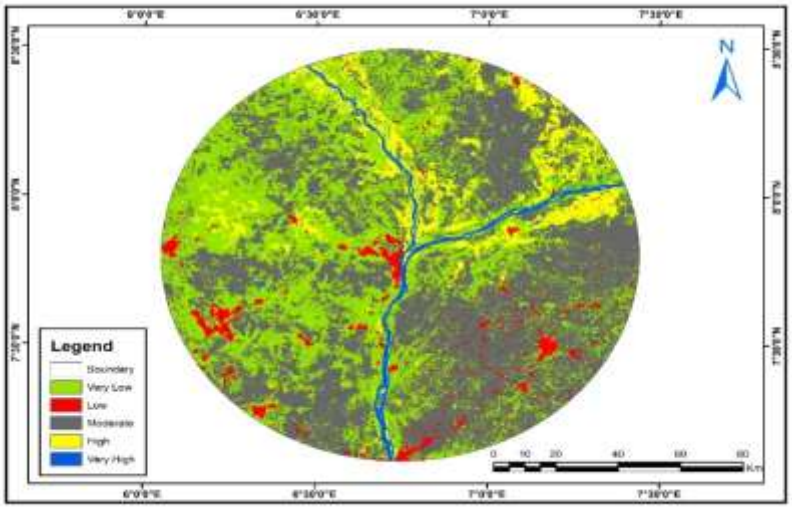


Figure 4.8: Reclassified Land use/Landcover.

Table 4.5: Flood Risk Vulnerability Based on Landuse and landcover in Lokoja Metropolis

LULC	Weightage	Potential	Percentage %
Build-up Areas	**4**	**Low**	**0.13**
Vegetation	**2**	**Very Low**	**0.07**
Water Body	**10**	**Very High**	**0.33**
Bare land	**6**	**Moderate**	**0.20**
Wetland	**8**	**High**	**0.27**

The impact of landuse landcover is evident in its ability to either reduce runoff or facilitate water on vegetation leaves, contributing to flooding replenishment. Landuse landcover can also have negative effects through processes like evapotranspiration. Water body had the highest weight of 33% while vegetation had the lowest of 7%. Built up areas are not prone to flooding because human activities such as construction of concrete structures and deposition of impermeable waste seal the soil surface thereby preventing any form of infiltration.

3.1.2 Spatial Extent of the Flood Risk Zones

Five flood risk zones, very high, high, moderate, low, and very low were created using the generated flood risk map. Table 4.11 displays the estimated flood zone area coverage in square kilometers and percentage.

Table 4.8: Areal Coverage of Flood Risk Vulnerability Zones

Flood Risk vulnerability Zones	Area in Km²	Percentage (%)
Very High	**3349.9621**	**19.19**
High	**5047.929**	**28.92**
Moderate	**4404.9852**	**25.24**
Low	**3447.4941**	**19.75**
Very Low	**1202.4558**	**6.889**
Total		**100**

Source: Author's Analysis, (2026)

3.2 Result on factors influencing flood occurrence using Distance from Streams

Lokoja city has three major rivers which includes Niger, Benue, and Meme. The distance from the streams map of the city was reclassified into five classes (Fig. 4.9). In the distance stream standard classification techniques, classes were re-assigned between one and five. Accordingly, the lowest distance category is ranked five since it has very high exposure to flood, while the highest distance ranked as one (Fig. 4.10). The results show that moderate, high, and very high susceptibility ranking classes cover about 20%, 27%, and 33%, respectively. Results also revealed that the highest distance from the stream is about 21.10- 26.37 km lowest distance from stream is between 0 and 5.27 km, (see Table 4.6). The area covered by higher distance, the less exposed to flooding hazards and vice versa. Flood disasters are easier to occur as distance decreases (Al-Aizari et al.,2022). A study by Sendek et al., 2021 found that hydrological distance and water table distance can influence the occurrence of floods.

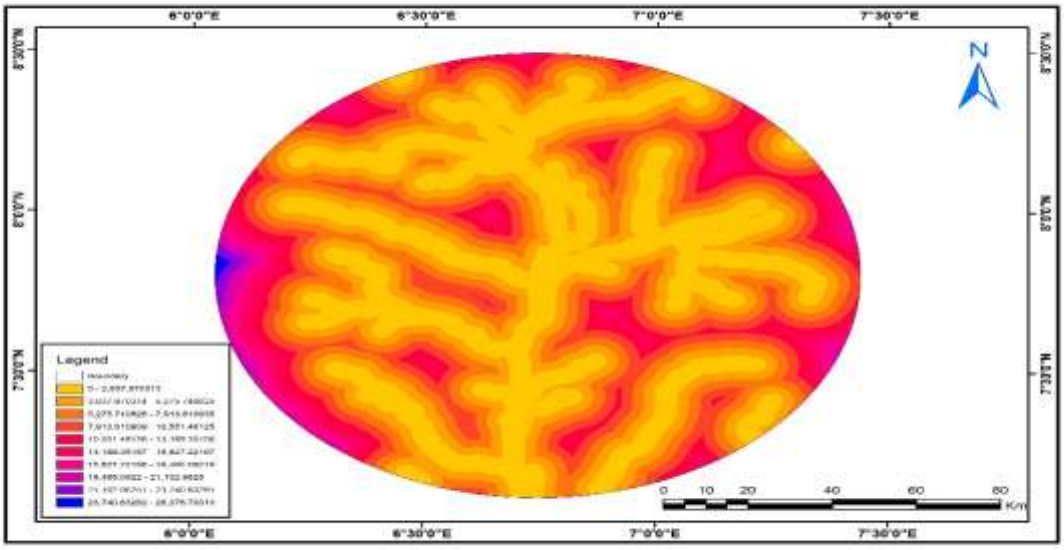


Figure 4.8: Distance from Streams map.

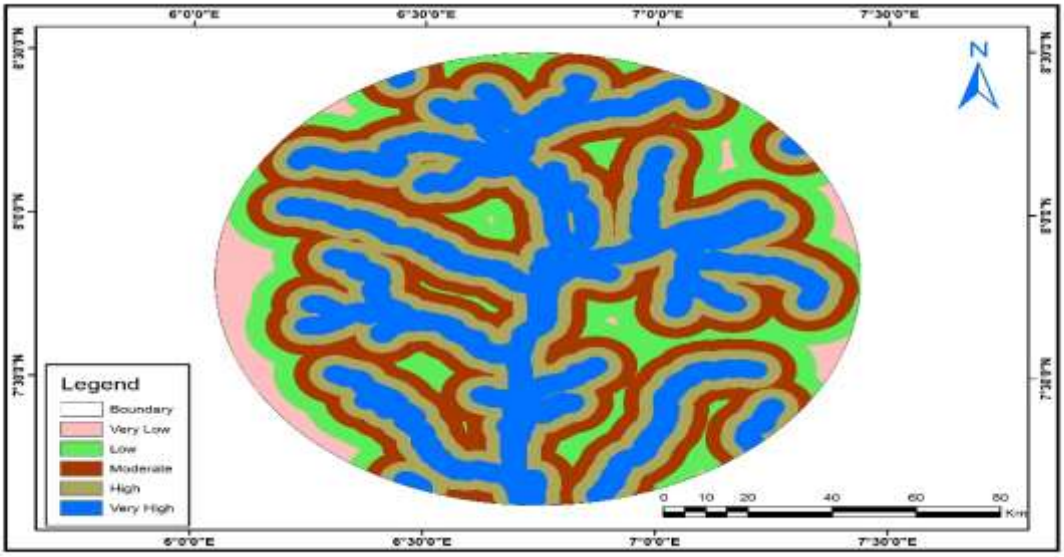


Figure 4.8: Reclassified Distance from Stream Map.

Table 4.6: Flood Risk Based on Distance from Streams in Lokoja Metropolis

Dis From Stream	Weightage	Potential	Percentage %
0- 5.27	1	Very Low	0.07
5.27-10.55	2	Low	0.13
10.55-15.82	3	Moderate	0.20
15.82-21.10	4	High	0.27
21.10- 26.37	5	Very High	0.33

3.3 Result of the Flood hazard vulnerability map

Flood hazard vulnerability mapping has been prepared based on the selected five factors (slope, distance from streams, elevation, LULC, and rainfall) using weighted linear combination methods with an integration of GIS technology. The flood risk vulnerability map was created by classifying the flood vulnerability index map (Wu et al., 2015). The flood hazard vulnerability map is classified into five classes: very low, low, moderate, high and very high. Results show that areas along the Araba, Numai, Banda and areas near to Adogbo wetland were more exposed to flood hazards as located in the low elevated areas. Slope is the most significant factor for manifestation of floods (Cracium et al., 2022). The terrains of these areas are relatively flat as compared to other parts of the city.

Table 4.7: Flood hazard and Risk Vulnerability Factors.

	Rainfall	Distance to Stream	Slope	Elevation	LU/LC	Weightage	Weight	*	100
Rainfall	10	8	6	4	2	5	0.35		35
Distance to Stream	10/2	8/2	6/2	4/ 2	2/2	4	0.30		30
Slope	10/3	8/3	6/3	4/3	3/3	3	0.15		15
Elevation	10/4	8/4	6/4	4/4	2/4	2	0.10		10
Lu/Lc	10/5	8/5	6/5	4/5	2/5	1	0.10		10

Nataco Junction, open market area is severely affected by flooding during the main rainy season. Kabbawa and Ganaja Village has also experienced severe flooding in recent decades, greatly affecting buildings and other government infrastructures.
Economically poor people, which lives along the river bank are highly vulnerable to flood hazards. People settled along the river banks are economically very poor and have no capacity to protect themselves. Moreover, there is also lack of free open space to construct new houses in another corner of the city. The increase in urban population encouraged the residents to construct house along the river bank, which increases the risk of flood. Results revealed that almost half of the study area is categorized under moderate, high and very high flood hazard, while 18% is categorized under moderate hazard to floods (Table 4.8). Hazardous map preparation is important for urban development (Bathrellos et al., 2017). The spatial distribution of flood hazard map indicates that the central parts of the city is categorized under very high and high flood hazards (Fig.4.9).

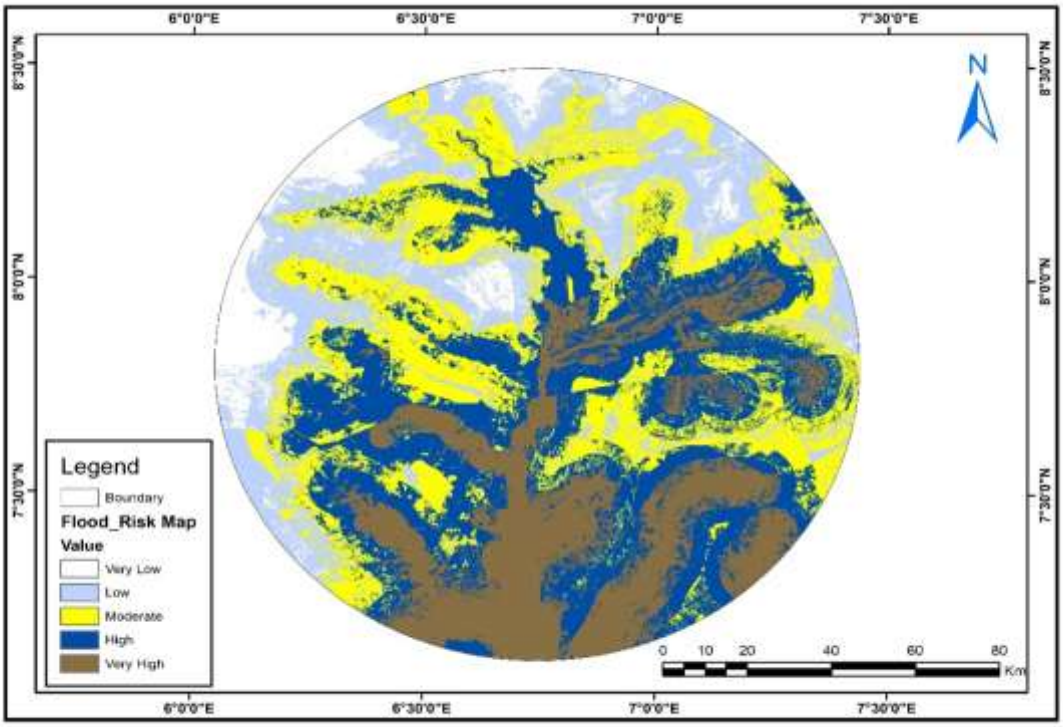


Figure 4.9: Flood hazard map of Lokoja City.

Flood risk is the cumulative impact of flood hazard and vulnerability. Results showed that the densely populated area and commercial centers are the most victims to flood hazard. In contrast, the less populated and elevated areas around Mount- Pati, Tajimi, Otu and Shado villages are less exposed to flood risk. High and very high flood risk are concentrated in the central part of the city, while very low and low flood risk areas are distributed in the northeastern and northwestern parts of the city (Fig. 4.9). High-risk and very high-risk floodplains are concentrated in around urban center and densely populated areas. The flood risk map results show that the center of the city is the most risk and vulnerable area as compared to other areas. Urban floods can lead to loss of life and property damage. Flood events have often resulted in property loss and human lives (Bathrellos et al., 2017). The level of damage and the extent of vulnerability of the residents are directly proportional to population density and the quality drainage in frastructures. In addition to life loss and property damage, floods can result to various water-borne diseases. Based on information from National Emergency management

Agency office significant areas of the city like Adankolo, Kabbawa, Ganaja Village, Poroka, and Gadumo areas are exposed to severe floods in 2012 and 2022. In spite of flood occurrence, flood disaster preparedness and prevention strategies are not in place to minimize the potential impacts of flood related risks.

4. 0 FINDINGS AND CONCLUSION

4.1 Findings

The study assessed flood risk in Lokoja metropolis using geospatial techniques by integrating GIS, Remote Sensing, Digital Elevation Models, rainfall data, land use/land cover information, and hydrological variables. The findings indicate that flooding in Lokoja is influenced by a combination of natural and anthropogenic factors, including low elevation, proximity to the River Niger and River Benue, heavy rainfall, inadequate drainage systems, and rapid urban development.

In line with the first objective, the study successfully identified flood-prone areas within Lokoja metropolis. Areas located on low-lying floodplains and in close proximity to major rivers exhibited the highest susceptibility to flooding.

Regarding the second objective, the analysis established that elevation, slope, rainfall intensity, land use/land cover, and distance from rivers are the principal factors influencing flood occurrence. Low elevations, gentle slopes, impervious built-up surfaces, and short distances to river channels significantly increased flood susceptibility.

The third objective was achieved through the integration of GIS and Remote Sensing techniques to generate flood risk maps. The resulting maps effectively illustrated the spatial distribution of flood hazards across the metropolis and provided a visual basis for identifying vulnerable locations.

Finally, the study developed practical recommendations aimed at improving flood mitigation through effective land use planning, drainage improvement, flood monitoring, and the adoption of geospatial technologies in disaster risk management.

4.2 Conclusions

This study demonstrates that geospatial techniques provide an effective and reliable approach for flood risk assessment in Lokoja metropolis. The integration of GIS, Remote Sensing, DEM analysis, and spatial modelling enabled the identification of flood-prone areas and the production of detailed flood risk maps that support evidence-based decision-making.

The findings confirm that topography, hydrological characteristics, rainfall, and land use patterns collectively determine flood vulnerability within the study area. Given Lokoja's location at the confluence of the River Niger and River Benue, recurrent flooding is likely to remain a significant environmental challenge if appropriate mitigation measures are not implemented.

Overall, the study concludes that GIS-based flood risk assessment is an indispensable tool for urban planning, disaster preparedness, and sustainable environmental management. The generated flood risk maps can serve as valuable decision-support tools for government agencies, emergency management organizations, and urban planners in reducing flood-related losses.

Based on the findings of this study, the following recommendations are made:

i. Government agencies should integrate GIS and Remote Sensing into routine flood monitoring, early warning systems, and disaster preparedness programmes.
ii. Urban planning authorities should enforce land use regulations that restrict residential and commercial development within identified high flood-risk zones.
iii. Existing drainage systems within Lokoja metropolis should be expanded, rehabilitated, and maintained regularly to improve storm water conveyance.
iv. Floodplain encroachment should be minimized through strict development control and environmental monitoring.

REFERENCES

Craciun, A., Costache, R. Barbulescu, A., Pal, S.C., Costache, I. Dumitriu, C.S. (2022). Modern techniques for flood susceptibility estimation across the deltaic region (danube delta) from the black sea's Romanian sector, *J. Mar. Sci. Eng.* 10 (2022) 1149, https://doi.org/10.3390/jmse10081149

Sendek, A., Kretz, L., Van der Plas, F., Seele-Dilbat, C., Schulz-Zunkel, C., Vieweg, M., (2021). Topographical factors related to flooding frequency promote ecosystem multifunctionality of riparian floodplains, Ecol. Indicat. 132 (2021), 108312, https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108312.

Abah, R. C. (2012). An assessment of flood risk in Lokoja, Kogi State, Nigeria. *International Journal of Environmental Science*, 2(3), 145–156.

Adelekan, I. O. (2016). Flood risk management in the coastal city of Lagos, Nigeria. *Journal of Flood Risk Management*, 9(3), 255–264.

Adeoye, N. O. (2012). Spatio-temporal analysis of climate in Lokoja, Nigeria. *Journal of Geography and Regional Planning*, 5(10), 256–267.

Ahmed, M., et al. (2025). Geospatial flood risk mapping using AHP in river basins. *FUDMA Journal of Sciences*.

Ajin, R. S., Krishnamurthy, R. R., & Jayaprakash, M. (2013). Flood hazard assessment using GIS and remote sensing. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 3(3), 457–471.

A.R. Al-Aizari, Y.A. Al-Masnay, A. Aydda, J. Zhang, K.Md Ullah, A.R. Towfiqul Islam, T. Habib, D.U. Kaku, J.C. Nizeyimana, B. Al-Shaibah, Y.M. Khalil, W.M. M. Al-Hameedi, X. Liu, (2022). Assessment analysis of flood susceptibility in tropical desert area: a case of *Yemen, Rem. Sens*. 14 (2022) 4050, https://doi.org/10.3390/ rs14164050.

Atijosan, A. O., & Isa, I. (2026). Flood susceptibility mapping for Lokoja metropolis using fuzzy AHP model. *Journal of Remote Sensing*.

Ayanlade, A., Radeny, M., & Morton, J. (2020). Climate change and extreme rainfall events in Nigeria. *Weather and Climate Extremes*, 28, 100-112.

Burrough, P. A., McDonnell, R. A., & Lloyd, C. D. (2015). *Principles of geographical information systems* (3rd ed.). Oxford University Press.

Borga, M., Stoffel, M., Marchi, L., Marra, F., & Jakob, M. (2014). Hydrogeomorphic response to extreme rainfall in headwater systems. *Journal of Hydrology*, 518, 194–205.

Buba, F. N., et al. (2021). Participatory GIS for flood vulnerability assessment in Nigeria. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 55, 102-115.

Chen, Y., et al. (2015). Flood susceptibility modelling using GIS and remote sensing. *Natural Hazards*, 75(1), 325–339.

Congalton, R. G., & Green, K. (2019). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices* (3rd ed.). CRC Press.

Crăciun, A., Costache, R., Barbulescu, A., Pal, S. C., Costache, I., & Dumitriu, C. S. (2022). Modern techniques for flood susceptibility estimation across the Danube Delta. *Journal of Marine Science and Engineering*, *10*(8), 1149.

Duchi, F. C., Habila, S. K., & Rikko, L. S. (2020). Assessment of flood vulnerability in Lokoja metropolis, Kogi State, Nigeria. *African Journal of Geographical Science*.

El Bastawesy, M., et al. (2013). Remote sensing and GIS for flood monitoring. *Egyptian Journal of Remote Sensing*, 16(1), 1–9.

Etuonovbe, A. K. (2011). The devastating effect of flooding in Nigeria. *FIG Working Week*.

G.D. Bathrellos, H.D. Skilodimou, K. Chousianitis, A.M. Youssef, B. Pradhan, Suitability estimation for urban development using multi-hazard assessment map, Sci. Total Environ. 575 (2017) 119–134.

Hirabayashi, Y., et al. (2013). Global flood risk under climate change. *Nature Climate Change*, 3(9), 816–821.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2021). *Sixth Assessment Report*.

Ijaware, V. A. (2023). Geospatial flood mitigation model for Lokoja. *European Scientific Journal*, 19(5), 45–60.

J.E.L. Guo, J.Q. Zhang, X.H. Ren, Q. Zhang, Z.Y. Sun, (2014). Integrated risk assessment of flood disaster based on improved set pair analysis and the variable fuzzy set theory in central Liaoning province, China, Nat. Hazards 74 (2) (2014).

J.N.C. Jimånez, J. Fuentes, G. Morillas, M. Tejedor, Vegetation and land-use effects on soil properties and water infiltration of Andisols in Tenerife (Canary Islands, Spain), Catena 98 (2012) 55–62.

Jeb, D. N., & Aggarwal, S. P. (2018). Flood hazard modelling using GIS. *Environmental Earth Sciences*, 77(3), 1–15.

Jha, A. K., Bloch, R., & Lamond, J. (2012). *Cities and flooding: A guide to integrated urban flood risk management*. World Bank.

K. Seejata, A. Yodying, T. Wongthadam, N. Mahavik, S. Tantanee, Assessment of flood hazard areas using analytical hierarchy process over the lower Yom basin, sukhothai province, Procedia Eng. 212 (2018) 340–347.

Kourgialas, N. N., & Karatzas, G. P. (2011). Flood management using GIS and hydrological models. *Global Nest Journal*, 13(2), 138–147.

Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2020). *Remote sensing and image interpretation* (8th ed.). Wiley.

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2021). *Geographic information science and systems* (5th ed.). Wiley.

Mahmoud, S. H., & Gan, T. Y. (2018). Flood risk assessment under climate change. *Journal of Hydrology*, 562, 442–457.

Marchi, L., et al. (2010). Characterisation of selected extreme flash floods in Europe. *Hydrological Processes*, 24(7), 871–884.

MDPI. (2024). Flood risk assessment and zoning for Niamey and Lokoja. *Water Journal*.

National Emergency Management Agency (NEMA). (2023). *Annual disaster report*.

NiMet. (2022). *Annual climate review report*. Nigerian Meteorological Agency.

Nkwunonwo, U. C., et al. (2016). Flood risk management and geospatial technologies in Nigeria. *Natural Hazards*, 81(2), 1231–1255.

Nicholls, R. J., & Cazenave, A. (2010). Sea-level rise and coastal impacts. *Science*, 328(5985), 1517–1520.

Odufuwa, B. O., et al. (2012). Urban flooding in Nigeria: Causes and consequences. *Journal of Environmental Issues*, 4(2), 12–23.

Ogundolie, O. I., et al. (2024). Flood vulnerability assessment using AHP method. *BMC Environmental Science*.

Okafor, G. U., & Oriakhi, O. (2024). Flood susceptibility modelling using GIS-based analytical hierarchy process (AHP) in Benin City, Nigeria. *NIPES Journal of Science and Technology Research*.

Olanrewaju, C. C., et al. (2019). Flood disasters in Nigeria: Impacts and management. *Natural Hazards*, 98(3), 1205–1226.

Oyarekhua, P. A., et al. (2024). Flood risk mapping using GIS and fuzzy logic in Nigeria. *International Journal of Engineering and Computer Science*.

Rahmati, O., et al. (2020). Flood susceptibility mapping using machine learning. *Science of the Total Environment*, 739, 139-150.

Samanta, R. K., et al. (2018). Flood susceptibility mapping using fuzzy-AHP and GIS. *Modeling Earth Systems and Environment*, 4(2), 693–705.

Sanyal, J., & Lu, X. X. (2005). Remote sensing and GIS-based flood vulnerability assessment. *Hydrological Processes*, 19(18), 3699–3716.

Schumann, G., et al. (2009). Progress in radar remote sensing for flood mapping. *Hydrological Processes*, 23(9), 1369–1381.

Suleiman, Y. M., et al. (2014). GIS-based flood risk mapping in Lokoja. *Journal of Environment and Earth Science*, 4(12), 25–34.

Tehrany, M. S., et al. (2014). Flood susceptibility mapping comparison using GIS. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(8), 3203–3216.

Tehrany, M. S., et al. (2017). Flood susceptibility mapping using GIS and AHP. *Journal of Hydrology*, 551, 768–780.

United Nations Office for Disaster Risk Reduction (UNDRR). (2020). *The human cost of disasters*.

World Bank. (2021). *Urban flood risk management in Sub-Saharan Africa*.

Y. Wu, Pa Zhong, Y. Zhang, B. Xu, B. Ma, K. Yan, Integrated flood risk assessment and zonation method: a case study in Huaihe River basin, China, Nat. Hazards 78 (2015) 635–651.

AI POWERED LIQUID BIOPSY FOR EARLY DETECTION OF LUNG CANCER: CLINICAL APPLICATIONS AND LIMITATIONS

Maryam Bashir[1], Muhammad Adnan Sabir Mughal[2*], Kashif Hussain[2]

1. Department of Pathobiology, Bahauddin Zakariya University (BZU), Multan, Pakistan
2. Department of Pathobiology and Biomedical Sciences, MNS University of Agriculture, Multan, Pakistan

Abstract

Lung cancer is the leading cause of cancer-related mortalities all around the world with approximately 20% five-year survival rate, mainly due to diagnosis of cases at advanced stages which leads to poor prognosis. Although conventional techniques such as low dose computed tomography and tissue biopsy are commonly used, they have limited sensitivity for early-stage detection. Liquid biopsy, a transformative approach in oncology field, could increase the screening precision of lung cancer by detecting genetic mutations at an earlier stage. Unlike traditional tissue biopsy, which demands surgical removal of tumor, this approach simply relies on a blood sample to detect tumor associated material. By detecting circulating tumor DNA (ctDNA), circulating RNAs, circulating tumor cells and extracellular vesicles, liquid biopsy ultimately reveals the molecular and genetic changes that happen early in carcinogenesis and provides circulating molecular profile of tumor. Although liquid biopsy provides promising potential for early identification and real time monitoring of tumor heterogeneity, the sensitivity and specificity remain substandard. Recently, liquid biopsy has been strengthened for better detection, treatment selection and prognostication by the integration of epigenomic, genomic and proteomic data with the help of Artificial Intelligence and Machine Learning. These technologies can even incorporate molecular and imaging features to detect key mutations such as PD-L1, EGFR, and ALKAI. Additionally, cell free DNA (cfDNA) and (ctDNA) methylation profiling with the help of AI has significantly enabled risk prediction and stratification, detection of minimal residual disease, monitoring of treatment response, and can even predict disease relapse in post-surgical non-small cell lung cancer patients prior to imaging. To fully utilize these advantages several limitations such as standardized and high-quality data, robust ethical safeguards, and enhanced transparency of models must be addressed. By utilizing AI powered molecular profiling, liquid biopsy can shift from research concept to a standard laboratory assay enabling personalized therapeutic approaches, improving prognosis, and ultimately transitioning the spectrum of lung cancer management.

Keywords: Circulating Tumor DNA, Precision oncology, Lung cancer, Genetic Mutations, Artificial intelligence

IMPACT OF SPIDER ADVANCE ORGANISERS ON ACADEMIC ACHIEVEMENT OF LOW-ACHIEVING SECONDARY SCHOOL CHEMISTRY STUDENTS IN MINNA METROPOLIS, NIGERIA

Yahaya, F.[1]; Salihu, Fatima[2]; Abdulazeez, Amina D.[3]; Isah, Fatima, A.[4]; & Ndatsu, A.[5]
Department of Science Education[1,3,5], Science Education Department[4] and Chemistry Department[2] Federal University of Technology, Minna, Nigeria[1,3,5]; Ibrahim Badamasi Babagida University, Lapai and Umaru Sanda College of Education[2]

ABSTRACT

This study investigated the Impact of Spider Advance Organisers on Academic Achievement of Low-Achieving Secondary School Chemistry Students in Minna Metropolis, Nigeria. The research adopted a quasi-experimental pretest-posttest non-randomised, non-equivalent control group design involving 80 Senior Secondary II (SSII) chemistry Low-Achieving students selected from three co-educational government secondary schools in Minna metropolis. The schools were purposively sampled based on equivalence in facilities, manpower, location, and gender composition, and randomly assigned to experimental and control groups. The experimental group was taught using the spider organiser instructional strategy while the control group received instruction through conventional teaching methods. Data were collected using a researcher-adapted Chemistry Performance Test (CPT) consisting of 20 multiple-choice items adapted from WAEC and NECO past examination questions (2017-2021). Chemistry education experts validated the instrument, and its reliability was established using the Pearson product-moment correlation coefficient ($r = 0.89$). Data were analysed using mean, standard deviation, and Analysis of Variance (ANOVA) at a 0.05 alpha level of significance. Findings revealed that students taught using the spider organiser achieved significantly higher mean scores (post-test mean = 22.14, SD = 3.32) compared to those taught with the conventional method (post-test mean = 12.82, SD = 3.27), with a mean gain difference of 8.85 in favour of the experimental group. Furthermore, male students in the experimental group demonstrated significantly higher achievement (mean gain = 12.73) compared to their female counterparts (mean gain = 6.29), with a gain difference of 6.44. The ANOVA results showed significant differences in achievement scores between experimental and control groups ($F(1,78) = 161.304$, $p < 0.05$) and between male and female students ($F(1,34) = 4.351$, $p < 0.05$), leading to the rejection of both null hypotheses. The study concluded that the spider organiser instructional strategy significantly enhances the academic achievement of low-achieving chemistry students and recommended its adoption by chemistry teachers, curriculum developers, and textbook authors to improve students' understanding of difficult chemistry concepts, particularly in organic chemistry topics such as hydrocarbons.

Keywords: Spider organiser, Academic achievement, Chemistry low-achievers and gender

EVALUATION OF PERFORMANCE AND PRODUCTION EFFICIENCY INDICATORS IN A BROILER FLOCK BASED ON FARM MANAGEMENT PRACTICES

Lumturi Sena[1], Sabah Sena[2]

[1]Department of Animal Science, Faculty of Agriculture and Environment, Agricultural University of Tirana, Tirana, Albania, lsena@ubt.edu.al

[2]Freelance Agricultural Consultant - Tirana, Albania, sabahsena@gmail.com

ABSTRACT

The study aimed to evaluate the growth performance, feed utilization, mortality, and production efficiency of Ross 708 broilers under commercial farm conditions. The study was conducted on one-day-old chicks monitored for 32 days in a farm near Kavaja, Albania, following technological improvements in feeding, watering, lighting, ventilation, and heating systems. Body weight, weight gain, feed consumption, feed conversion ratio (FCR), mortality, Performance Index (PI), European Production Efficiency Factor (EPEF), and Unit Revenue Index (URI) were evaluated. At 32 days, average live weight was 1553 g, compared with 1662 g for the hybrid standard, while mortality was 2.42%. Average weekly FCR was 1.61 compared with 1.45 for the standard, and feed efficiency was 0.62. The PI and EPEF were 97 and 296.0, respectively, while URI reached 211.9. Differences in body weight and feed consumption compared with the standard were not statistically significant ($p<0.05$). The main reduction in growth performance occurred between weeks 3 and 4 and was associated with increased humidity and consequent microclimate challenges. Overall, the flock showed satisfactory performance under farm conditions, although improved humidity control could further enhance growth and feed efficiency.

Keywords: broiler performance; feed conversion ratio; growth; production efficiency, Ross 708 standard

INTRODUCTION

Broiler production is characterized by rapid growth and high feed efficiency, but the expression of the genetic potential of modern hybrids depends strongly on nutrition, housing conditions, environmental management, and flock health. Body weight, weight gain, feed intake, feed conversion ratio (FCR), and mortality are therefore widely used to assess broiler performance and production efficiency. In Ross 708 broilers, dietary nutrient density and amino acid supply have been shown to influence growth and FCR, emphasizing the importance of matching nutrient supply with the genetic potential of the hybrid (Dozier et al., 2005; Boney et al., 2020). Environmental conditions are also critical for maintaining optimal performance. Temperature, relative humidity, ventilation, stocking density, and litter quality interact to influence thermal comfort, growth, feed efficiency, and health. Heat stress, for example, has been associated with

reduced feed intake and body-weight gain and increased FCR and mortality (Liu et al., 2020). Similarly, stocking density and litter characteristics can affect growth and feed efficiency, particularly when associated with poor environmental quality (Estevez, 2007; Toledo et al., 2019; de Toledo et al., 2020). Recent evidence further emphasizes the importance of maintaining good litter quality, as excessive litter moisture and associated environmental factors can negatively affect broiler performance and welfare (de Toledo et al., 2020, De Jong, I. C. et al,. 2014).

Lighting is another important management factor because photoperiod can influence growth, feed efficiency, and welfare. Earlier studies demonstrated that different lighting schedules affect body weight and feed efficiency in broilers (Renden et al., 1992), supporting the importance of an appropriate lighting program throughout the production cycle. Overall flock efficiency can be assessed using integrated production indicators such as the Performance Index (PI) and European Production Efficiency Factor (EPEF), which incorporate key parameters of growth, feed efficiency, livability, and production age (Kleyn, 2013).

Therefore, this study aimed to evaluate the main biological and production-efficiency indicators of a Ross 708 broiler flock under commercial farm conditions following technological improvements in the housing system. Body weight, weight gain, feed intake, FCR, mortality, PI, EPEF, and Unit Return Index were evaluated and compared with the performance objectives of the Ross 708 hybrid, with particular consideration of the relationship between flock performance and farm management and microclimatic conditions.

MATERIAL AND METHODS

The study was conducted on a commercial broiler farm near Kavaja, Albania, using one-day-old Ross 708 broilers monitored for 32 days. Prior to the monitoring period, the poultry house had undergone technological improvements to the feeding, drinking, lighting, ventilation, and heating systems. Heating was provided by gas heaters, while ventilation was provided by a Combi Tunnel system. Environmental conditions were maintained in accordance with the recommendations provided for Ross 708 broilers (Aviagen, 2014), with a stocking density of 16.7 birds/m².

During the first seven days, birds received 23–24 h of light per day at a maximum intensity of 30.6 lux. Thereafter, the light intensity was reduced to approximately half of the initial level using LED lamps. The lighting program was implemented according to the management conditions of the farm and the recommendations for Ross 708 broilers.

Feed was provided according to a controlled three-phase feeding program consisting of starter (days 1–15), grower (days 15–25), and finisher (days 25–35) diets, with phase-specific nutrient levels (Table 1). Water was available continuously throughout the rearing period.

Although the feeding program extended to day 35, the present monitoring period ended on day 32; therefore, all performance indicators reported in this study refer to the 32-day production period.

Table 1. Nutrient levels for each growth phase of broiler chickens

Nutrient levels	Starter Day 1–15	Grower Day 15–25	Finisher Day 25–35
Metabolizable energy (kcal/kg)	3000	3100	3200
Crude protein (%)	22.0	20.5	19.8
Crude fat (%)	4.0	6.9	7.15
Crude fiber (%)	3.0	3.2	3.29
Calcium (%)	0.78	0.72	0.59
Phosphorus (%)	0.63	0.56	0.45
Sodium (%)	0.15	0.14	0.15
Methionine (%)	0.60	0.60	0.42
Lysine (%)	1.30	1.24	1.05

The main performance indicators were mortality, body weight, body weight gain (BWG), average daily gain (ADG), feed intake, feed conversion ratio (FCR), feed efficiency, Performance Index (PI), European Production Efficiency Factor (EPEF), and Unit Return Index (URI).

Body weight was recorded at placement and weekly thereafter at 06:00 before feeding. Each week, 150 birds were randomly selected from the beginning, middle, and end sections of the house and weighed using electronic scales. BWG and ADG were calculated as:

BWG (g) = Final body weight − Initial body weight

ADG (g/bird/day) = BWG / Monitoring period (days)

FCR was calculated as:

FCR (kg/kg) = Feed intake (kg) / Body weight gain (kg)

PI, EPEF, and URI were calculated using the standard formulas based on body weight, viability, FCR, age, stocking density, feed and chick costs, medication costs, and live-weight price.

Performance Index (PI) (Jahan et al., 2006):

$$PI = \frac{Live\ weight\ (Kg)}{FCR}$$

European Production Efficiency Factor (EPEF) was calculated according to the following equation (Nikbakhtzade et al., 2024):

EPEF = [Average body weight (kg) × Viability (%)] / [FCR × Age (days)] × 100 Unit Return Index (URI) was calculated based on the following production and economic parameters (Samarakoon and Samarasinghe, 2012):

$$URI = \frac{[(AxBxCxD)-(ExFxA)-(G)-(H)}{Age(day)}$$

Where:

A – Average body weight; **B** – stocking rate (kg/m²); **C** – Viability (%); **D** – Live body weight price (per kg); **E** – Average feed cost; **F** – Feed conversion ratio (FCR); **G** – Medication cost per bird; **H** – Cost of a day-old chick

Data were analyzed using descriptive statistics and analysis of variance (ANOVA). Differences between groups were evaluated using the t-test.

RESULTS AND DISCUSSION

Live Body Weight and Weight Gain

The Monitored Flock (M.F.) generally showed lower body weight than the Ross 708 standard, except at 21 days, when body weight exceeded the standard by 48.41 g (5.70%). At 32 days, final body weight was 1553 ± 158.16 g compared with 1662 g for the Ross 708 standard, representing a numerical difference of 109 g (6.56%), which was not statistically significant (Table 2).

The largest deviation in weight gain occurred during the 21–28-day period, when the M.F. gained 301.16 g compared with 500 g in the standard. This period coincided with increased relative humidity and litter moisture following rainfall. The extended ventilation used to control moisture may also have contributed to fluctuations in thermal conditions. These environmental changes coincided with the reduction in weight gain observed during this period. Previous studies have shown that environmental conditions and litter quality can influence broiler growth, feed efficiency, and overall production performance (Averós and Estevez, 2018; de Toledo et al., 2020).

The overall average daily weight gain was 50.85 ± 27.83 g/bird/day compared with 52.99 ± 24.08 g/bird/day for the Ross 708 standard. Thus, although growth was numerically lower in the M.F., the absence of a statistically significant difference ($p<0.05$) indicates that overall growth performance remained relatively close to the expected standard under the commercial conditions of the study.

Table 2. Live body weight and weight gain of the monitored flock compared with the Ross 708 standard (St.)

Age (days)	Live body weight (g)		Weight gain (g)	
	M.F.	Ross 708 St.	M.F.	Ross 708 St.
0	39.15 ± 1.08	42	-	-
7	172.38 ± 19.10	180	133.23	138
14	414.07 ± 18.98	448	241.69	268
21	897.41 ± 28.70	849	483.34	401
28	1198.57 ± 81.81	1349	301.16	500
32	1553.00 ± 158.16	1662	354.43	313

Mortality and Injuries

Total mortality was 2.42%, indicating relatively good flock livability under the conditions of the present study. Injuries were most frequent during the first week and subsequently decreased, which may reflect adaptation of the chicks to the housing environment and management conditions. The relatively low mortality contributed positively to flock livability and, consequently, to integrated production-efficiency indices such as PI and EPEF. Mortality in broiler flocks is influenced by multiple interacting factors, including environmental conditions, stocking density, management practices, and health status (Averós & Estevez, 2018).

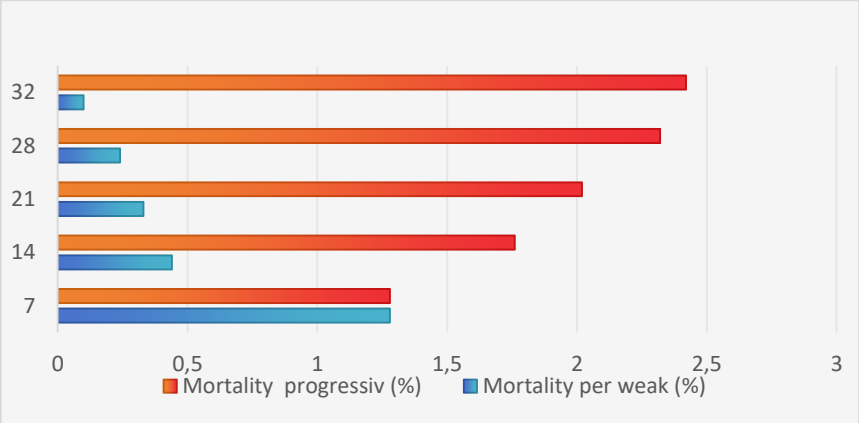


Fig. 1. Mortality (%)

Feed Intake and Feed Conversion Ratio

Feed intake was close to the Ross 708 standard. The mean feed intake across the five production periods was 485.20 ± 252.83 g/bird/period in the M.F., compared with 490.80 ± 253.73 g/bird/period for the standard. The corresponding descriptive mean values for daily feed intake were 80.24 ± 44.69 and 82.37 ± 49.20 g/bird/day, respectively. The relatively small numerical differences indicate that the lower final body weight was unlikely to have resulted primarily from insufficient feed intake.

These results emphasize that feed intake should not be interpreted independently of growth performance. Similar feed intake may result in different body-weight gains depending on environmental conditions, health status, nutrient utilization, and genetic potential.

The mean FCR across the five production periods was 1.61 ± 0.66 in the M.F., compared with 1.45 ± 0.29 for the Ross 708 standard, while progressive FCR was 1.60 and 1.51, respectively. Although the M.F. showed numerically less favorable feed conversion, the difference was not statistically significant.

The most pronounced deterioration in FCR occurred during the 22–28-day period, when FCR reached 2.78 compared with 1.64 for the standard, representing a 69.5% higher value. This deterioration coincided with increased relative humidity, litter moisture, and reduced weight gain. Such an association is consistent with evidence that environmental conditions and litter quality can influence feed efficiency and broiler performance (Averós & Estevez, 2018; de Toledo et al., 2020).

Feed efficiency was 0.62 in the M.F. compared with 0.66 in the standard, representing a numerical reduction of approximately 6.1%. Overall, the results suggest that the principal limitation was not feed intake itself but the efficiency with which consumed nutrients were converted into body weight, particularly during the 22–28-day period.

Table 3. Feed intake and feed conversion ratio (FCR) of the Monitored Flock (M.F) compared with the Ross 708 standard

Age (days)	Feed intake (g/bird/period)		FCR	
	M.F.	Ross 708 st.	M.F.	Ross 708 st.
7	166.99	154	1.25	1.12
14	336.96	338	1.39	1.26
21	575.18	571	1.19	1.42
28	836.99	819	2.78	1.64
32	509.86	572	1.44	1.83
Mean ± SD	485.20 ± 252.83	490.80 ± 253.73	1.61 ± 0.66	1.45 ± 0.29

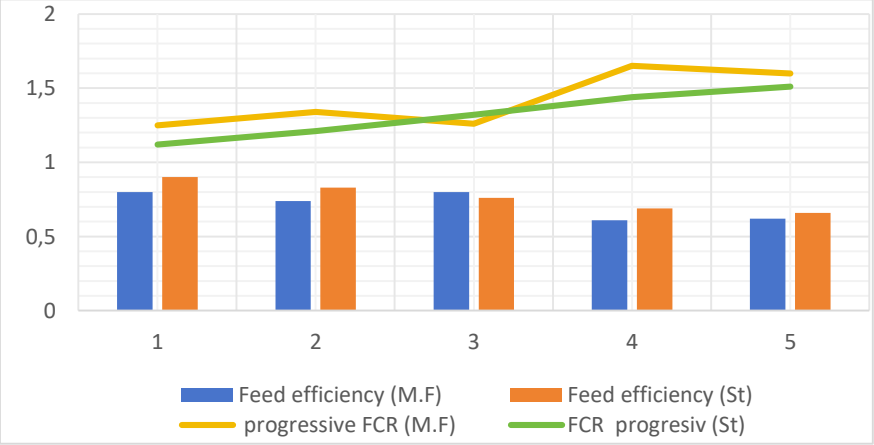


Fig 2. Feed efficiency

Production Efficiency

The integrated production-efficiency indices provided a summary of the overall biological performance of the M.F. compared with the Ross 708 standard. (Table 4).

Table 4. Comparative production efficiency indices of the Monitored Flock and Ross 708 standard

Production efficiency indices	M.F.	Ross 708 st.
Progressive FCR	1.60	1.51
Feed efficiency	0.62	0.66
Performance Index (PI)	97	110
European Production Efficiency Factor (EPEF)	296.0	335.4

The lower PI and EPEF mainly reflected the lower final body weight and slightly poorer overall feed conversion, while mortality remained relatively low. These integrated indices combine important components of broiler performance, including body weight, feed conversion, age, and livability, and therefore provide useful measures of overall production efficiency.

The stocking density was 16.7 birds/m², corresponding to approximately 25.4 kg live weight/m² at the end of the monitoring period. Stocking density should be evaluated together with ventilation, humidity, litter quality, and thermal conditions, as its effects on growth and feed efficiency are strongly dependent on the environmental conditions under which birds are reared (Estevez, 2007; Averós & Estevez, 2018; Chung et al., 2026).

The Unit Return Index (URI) was 211.9, providing an additional economic measure of production efficiency by incorporating both production and economic variables. The URI therefore complements the biological efficiency indices by considering the economic return associated with the use of housing space and production inputs.

The URI value of 211.9 should not, however, be interpreted as evidence that increasing stocking density would automatically improve economic efficiency. The economically optimal stocking density requires a balance between additional live weight produced per unit of floor area and potential reductions in individual bird performance, feed efficiency, livability, and welfare. Under the conditions of the present study, improvements in environmental stability, particularly humidity control and litter management, may offer greater potential for improving production efficiency than simply increasing stocking density.

CONCLUSION

The monitored flock showed acceptable overall performance, although several indicators remained below the Ross 708 standard. The main limitations were lower weight gain and slightly poorer FCR, particularly during the third-to-fourth-week period associated with increased humidity and litter moisture. Improved environmental and litter management could enhance biological efficiency and economic returns per unit of housing area.

REFERENCES

Averós, X., & Estevez, I. (2018). Meta-analysis of the effects of intensive rearing environments on the performance and welfare of broiler chickens. *Poultry Science, 97*(11), 3767–3785. https://doi.org/10.3382/ps/pey243

Aviagen. (2014). Ross 708 broiler: Performance objectives. Aviagen.

Boney, J. W., Wilkerson, V. A., & Walk, C. L. (2020). Effects of varying diet nutrient density and enzyme inclusion strategy for Ross 708 male broilers under a natural disease challenge. *Journal of Applied Poultry Research, 29*(4), 947–976. https://doi.org/10.1016/j.japr.2020.09.005.

Chung, **E**. L. T., Bakar, N. A. A., Fauzi, N. A. A., Jesse, F. F. A., & Loh, T. C. (2026). How Stocking Density Affects Broiler Chicken Production? A Comprehensive Review. Poultry Science Journal 2026, 14(1): 1-12. DOI **10.22069/psj.2025.22465.2091**

De Jong, I. C., Gunnink, H., & van Harn, J. (2014). Wet litter not only induces footpad dermatitis but also reduces overall welfare, technical performance, and carcass yield in broiler chickens. *Journal of Applied Poultry Research, 23*(1), 51–58. https://doi.org/10.3382/japr.2013-00803

De Toledo**,** T. D. S., Roll, A. A. P., Rutz, F., et al. (2020). An assessment of the impacts of litter treatments on the litter quality and broiler performance: A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE, 15*(5), e0232853. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0232853.

Dozier, W. A. III, Kidd, M. T., & Corzo, A. (2005). Broiler responsiveness (Ross × 708) to diets varying in amino acid density. *Poultry Science, 84*(9), 1389–1396. https://doi.org/10.1093/ps/84.9.1389.

Estevez, I. (2007). Density allowances for broilers: Where to set the limits? Poultry Science, 86(6), 1265–1272. https://doi.org/10.1093/ps/86.6.1265.

Jahan, M. S., Asaduzzaman, M., & Sarkar, A. K. (2006). Performance of broiler fed on mash, pellet and crumble. International Journal of Poultry Science, 5(3), 265–270. https://doi.org/10.3923/ijps.2006.265.270

Kleyn, R. (2013). *Chicken Nutrition: A Guide for Nutritionists and Poultry Professionals*. Context Products.

Liu, L., Ren, M., Ren, K., Jin, Y., & Yan, M. (2020). Heat stress impacts on broiler performance: A systematic review and meta-analysis. *Poultry Science, 99*(11), 6205–6211. https://doi.org/10.1016/j.psj.2020.08.019.

Nikbakhtzade, N., et al. (2024). Effects of finisher diet nutrients density and slaughter age on energy and protein efficiency, productive and economic performance and meat quality of broilers. *Veterinary Medicine and Science*.

Renden, J. A., Bilgili, S. F., & Kincaid, S. A. (1992). Live performance and carcass yield of broiler strain crosses provided either sixteen or twenty-three hours of light per day. *Poultry Science, 71*(9), 1427–1435. https://doi.org/10.3382/ps.0711427.

Samarakoon. M. R. and Samarasinghe K.(2012). Strategies to Improve the Cost Effectiveness of Broiler Production.Tropical Agricultural Research Vol. 23 (4): 338– 346

Toledo, T. D. S., Pich, C. S., Roll, A. A. P., Pra Dai, Leite Leivas T, Xavier E. Gonçalves, Roll V. F. B. (2019). The effect of litter materials on broiler performance: A systematic review and meta-analysis. British Poultry Science, 60(6), 605–616. https://doi.org/10.1080/00071668.2019.1639143.

INVESTOR PROTECTION IN THE AGE OF FINFLUENCERS: AN INDIAN PERSPECTIVE

[1]Dr. Anwesha Ghosh
Kirit P Mehta School of Law, SVKM's NMIMS, Mumbai, India
E-mail: anweshaghoshnusrl@gmail.com | ORCID: 0000-0003-4167-2121
[2]Ms. Snigdha Kuriyal
Kirit P Mehta School of Law, SVKM's NMIMS, Mumbai, India
E-mail: kuriyalsnigdha@gmail.com | ORCID: 0009-0005-4070-0874

ABSTRACT

The rapid growth of social media and digital investment platforms has significantly transformed the manner in which retail investors access financial information and make investment decisions. Financial influencers, popularly known as finfluencers, have emerged as influential actors who disseminate investment related content through platforms such as YouTube, Instagram, Telegram and other digital media. While finfluencers have contributed to greater financial awareness and democratisation of financial information, their growing influence has also raised concerns regarding unregistered investment advice, misleading claims, undisclosed conflicts of interest and the vulnerability of inexperienced retail investors. Against this background, the present paper aims to critically examine whether the existing Indian legal and regulatory framework adequately protects investors from the risks posed by finfluencers. It seeks to analyse the legal boundary between legitimate financial education, investment advice and research analysis, with particular reference to the Avadhut Sathe matter, which highlights the difficulty of determining when financial education may cross into regulated activity. The paper will address whether the existing SEBI framework is sufficient to regulate finfluencers, whether disclaimers such as "for educational purposes only" can shield influencers from regulatory responsibility and whether India requires a separate regulatory framework for digital financial influencers. Adopting a doctrinal and analytical methodology, the study will examine relevant statutes, SEBI regulations, circulars, regulatory orders and judicial developments, supplemented by selected comparative approaches. It will further discuss issues relating to paid promotions, referral arrangements, misleading claims and conflicts of interest. The paper is expected to find that India's existing intermediary based framework may not adequately address the unique challenges posed by finfluencers and argues for a functional and substance based approach that focuses on the nature, effect and likely investor impact of financial communications rather than merely the labels attached to them.

Keywords: Finfluencers, Investor Protection, Securities Regulation, SEBI, Financial Education, Investment Advice, Retail Investors, Social Media, Digital Finance, Avadhut Sathe.

A THOUGHT TOWARDS A PROFESSIONAL ACADEMIC RETURN TO UNIVERSITY.

Doctor RAHMOUNI Hanane
University of Oran 2 Mohamed Ben Ahmed, Faculty of economic, commerce and management, Department of commerce, Oran-Algeria
[1]ORCID ID: https://orcid.org/0009-0003-1052-6188

ABSTRACT

Several proposals for various conferences have been shared regarding university professional life for young students or young entrepreneurs. We have always encouraged students to engage in professional activities from the moment they enroll in university, in order to gain experience, develop skills, and save time over time.

Several university-based methods can be employed to introduce students to the professional concept alongside their academic studies.

For example, we have suggested short-term work within the university, providing students with experience in the administrative field, working in university services and offices during their free time or creating dedicated hours for this type of work.

Also, from the moment students arrive at university, short-term internships within companies should be arranged, even if the university pays for these internships. This benefits both the student and the university, as ultimately, professional integration will be achieved for the student, the university, and the company. Gaining valuable training through an internship and securing a position within a company is a stepping stone from university to professional integration.

Another beneficial approach for students is to choose projects directly related to a company's concerns. This means addressing the economic, social, or environmental challenges faced by a public or private organization and developing solutions to secure employment while also contributing to academic and professional development. Agreements between companies should be designed with this in mind: the future of both the young student and the young entrepreneur.

Keywords: university, young student, professional integration, academic and professional work.

AUTOMATED MARKET BASKET ANALYSIS AND PERSONALIZED PRODUCT RECOMMENDATION USING ASSOCIATION RULE MINING

Dr. Khursheed Alam
Department of Mathematics & Data Science, and The A. H. Siddiqi Centre for Advanced Research in Applied Mathematics & Physics (CARAMP), Sharda School of Engineering & Science (SSES)
Sharda University, Greater Noida, Uttar Pradesh, India

Abstract

Retailers increasingly rely on transaction data to understand customer purchasing behaviour, optimize inventory, improve marketing decisions, and provide personalized shopping experiences. This paper presents an automated market basket analysis system designed to discover relationships among products purchased together and to use those relationships for product recommendation. The proposed system integrates a web-based retail platform with a database-driven architecture and association rule mining concepts based on frequent itemsets, support, confidence, and lift. The system supports customer registration and login, product search, shopping-cart management, checkout and payment, reviews, order tracking, and personalized product suggestions. An administrator module provides product and inventory management, order monitoring, price and stock updates, customer feedback management, and interaction with customers. The source project describes the use of PHP with a MySQL database in a WAMP environment and discusses Apriori-based and adaptive association-rule approaches for identifying useful product relationships. The resulting framework demonstrates how automated market basket analysis can connect transactional data with operational retail functions and recommendation services. The paper also identifies future opportunities involving real-time processing, advanced machine learning, multi-channel data, and more personalized recommendation strategies.

Keywords: Market Basket Analysis; Association Rule Mining; Apriori Algorithm; Product Recommendation; Retail Analytics; Customer Behaviour

1. Introduction

Modern retail systems generate large volumes of transactional information through customer orders, shopping carts, product searches, payments, and reviews. Converting these records into actionable knowledge can help retailers understand purchasing patterns and make better decisions concerning product placement, inventory, marketing, and customer engagement. Market basket analysis is an important data-mining approach for this purpose because it identifies relationships among items that occur together in customer transactions.

The source project focuses on an automated market-based analysis system intended to forecast purchasing patterns and generate product suggestions when customers return to an online

shopping platform. Its central idea is to identify useful associations in transaction data and integrate the resulting knowledge into a retail information system. Rather than treating data mining as an isolated analytical activity, the proposed framework connects association-rule discovery with customer and administrator functions.

The main contribution of the work is therefore a practical architecture in which transaction processing, inventory management, and recommendation generation are combined. The system is designed to support both customer-facing shopping activities and administrative decision-making. The original project also considers several association-rule mining approaches, including Apriori-based methods, adaptive association rules, dynamic adaptive support Apriori, and K-Apriori.

2. Objectives

To develop an automated system for analysing retail transaction data and identifying useful product associations.

To examine the applicability of association rule mining for understanding customer purchasing behaviour.

To integrate recommendation functionality into an online retail platform.

To support retailers in inventory, order, pricing, and marketing-related decision-making.

To provide customers with product suggestions derived from previously observed purchasing relationships.

To identify future directions for improving recommendation accuracy through real-time processing and advanced machine learning.

3. Related Work

Previous research cited in the source project establishes the relevance of market-based analysis and association rule mining to retail and data-mining applications. Chen et al. investigated market-based analysis in a multiple-store environment, emphasizing customer behaviour and marketing decisions. Trupti and Santosh surveyed association rule mining algorithms and discussed their strengths and limitations. Mittal, Aggarwal, and Mahajan compared association-rule mining techniques with predictive mining approaches for association classification.

Savi and Roopal presented a survey of association rule mining in market-based analysis, while Dhanabhakyam and Punithavalli proposed an adaptive association-rule mining approach. Kumar et al. examined computational time in K-means clustering, highlighting efficiency considerations in data analysis. Manisha et al. provided a comparative survey of association-rule mining algorithms. Lee and Lee investigated temporal association rules, demonstrating the

broader potential of discovering relationships that vary with time. Collectively, these studies provide the conceptual basis for using association mining to derive knowledge from transactional datasets.

4. System Methodology

4.1 Development Approach

The original project employed the spiral model of software development. This approach was selected because it allows iterative development, user feedback, modification, and the later addition of functionality. The system was implemented as a web-based retail application using a WAMP environment, with Apache as the web server and MySQL/PhpMyAdmin for database management. PHP was used to connect the front-end interface with the back-end database.

4.2 System Actors and Functional Modules

The system contains two principal actors: the customer and the administrator. Customers can register and log in, search for products, add products to a shopping cart, select recommended products, complete checkout and payment, review products, communicate with the administrator, and track previous orders.

The administrator is responsible for maintaining the operational side of the platform. Administrative functions include creating cashiers, monitoring customer orders, editing product and inventory information, updating prices, reviewing customer feedback, and monitoring payment-related approvals. These functions provide the operational data needed by the analysis and recommendation components.

4.3 Market Basket Analysis Framework

Each customer order can be represented as a transaction containing the items purchased by that customer. In a binary transaction representation, an item is assigned a value of 1 when it occurs in a transaction and 0 when it does not. This representation focuses on the presence or absence of an item rather than its quantity.

The recommendation process begins with transactional data. Frequent itemsets are identified, after which association rules are generated from itemsets that satisfy the selected support threshold. The original project further describes the use of confidence and lift to identify stronger relationships. High-support itemsets reduce the computational effort required for subsequent rule evaluation because confidence and lift can be calculated from the relevant support values.

4.4 Association Rule Measures

Support indicates how frequently an itemset occurs in the transaction database. Confidence measures the conditional likelihood of observing the consequent when the antecedent is present. Lift compares the observed co-occurrence of two items with the co-occurrence expected if they were independent. These measures provide complementary criteria for selecting association rules that may be useful for recommendation.

4.5 Algorithmic Approaches

The source project discusses several approaches. Apriori identifies frequent itemsets by progressively extending smaller frequent sets. K-Apriori is described as a modified Apriori approach for grocery-store analysis and frequent-itemset mining. Dynamic Adaptive Support Apriori adjusts support requirements to generate class association rules. The project also discusses adaptive association rules using an Adaptive Genetic Algorithm with crossover and mutation matrices for multi-measurement rules. These approaches illustrate the trade-off between computational efficiency, rule discovery, and adaptability.

5. System Architecture and Implementation

The proposed system combines a front-end web interface with a database-backed back end. Major interface components include the dashboard, administrator module, product page, stock-edit page, order page, and shopping-based page. The database stores product, inventory, customer, order, and related transactional information. The integration of PHP and MySQL enables the front end to retrieve and update operational information.

The dashboard provides navigation to the main services. The administrator module provides management functionality, while the product and stock-edit pages support product and inventory maintenance. The order page allows order details to be viewed, and the shopping interface provides the customer-facing purchasing environment.

6. Recommendation Workflow

The recommendation workflow is connected to order processing. Historical customer orders provide transaction records from which associations can be discovered. Once frequent itemsets and useful association rules have been identified, the rules can be applied to the products already selected by a customer to suggest additional items. Recommendations are therefore linked to observed purchasing relationships rather than being selected arbitrarily.

The source project also describes a training and evaluation concept in which a training set is supplied to the recommendation algorithm and a held-out test set can be used to evaluate predictions. For association-rule generation, rules with high confidence or lift are selected from

frequent itemsets. The recommendation output may vary across retailers because the distribution of products and customer purchasing patterns differs between stores.

7. Results and Discussion

The implemented framework demonstrates the feasibility of integrating market basket analysis with a functional online retail system. At the operational level, administrators can manage products, inventory, prices, and orders, while customers can purchase products and receive recommendations. At the analytical level, transaction records provide the basis for discovering frequent itemsets and association rules.

A key strength of the framework is its integration of analytics with the shopping workflow. Recommendations can be generated from customer order history and item associations, while inventory information can support practical retail decisions. The system can therefore contribute to improved customer experience and more informed merchandising and marketing decisions.

However, the source project does not report a quantitative experimental dataset, benchmark values, or numerical evaluation metrics for recommendation accuracy, precision, recall, coverage, execution time, or profit improvement. Consequently, the present paper treats the contribution primarily as a system-development and methodological framework rather than claiming specific numerical performance improvements. A rigorous comparative experiment would be required to establish the relative performance of the discussed algorithms.

8. Practical Implications

Product recommendations can be integrated directly into the customer shopping journey.

Transaction-derived associations can assist retailers in identifying complementary products.

Inventory and order information can support operational decisions alongside recommendation services.

Customer reviews and purchase history can provide additional information for future recommendation improvements.

Association-rule mining can serve as an interpretable analytical component because the resulting rules express explicit product relationships.

9. Limitations

The present study is constrained by the information and implementation details reported in the original capstone project. The source does not provide a detailed dataset description, sample size, parameter settings, rule counts, computational benchmarks, or a quantitative comparison of Apriori, K-Apriori, adaptive approaches, and alternative recommendation algorithms. The

absence of these measurements limits the extent to which algorithmic superiority or business impact can be empirically established.

10. Future Scope

Future work can extend the framework through advanced machine learning techniques, including deep learning and reinforcement learning, to capture more complex customer behaviour. Real-time processing of transaction streams could enable recommendations to adapt immediately to changing purchasing patterns. Multi-channel data from online platforms, social media, and in-store interactions could provide a more comprehensive representation of customer preferences.

Further research should also evaluate personalized recommendation strategies using standard information-retrieval and recommender-system metrics. Technology investment and skilled personnel will be important for deploying scalable analytics. Finally, transparency concerning data collection, use, and security should be incorporated into future systems to strengthen customer trust.

11. Conclusion

This paper presents an automated market basket analysis framework that integrates association rule mining with an online retail system for customer recommendation and retailer decision support. The framework combines customer shopping functions, administrator operations, transactional data, and association-rule-based recommendations within a single architecture. The underlying approach uses frequent itemsets and measures such as support, confidence, and lift to identify meaningful product relationships.

The work shows how data-mining methods can be transformed into practical retail functionality rather than being limited to offline analysis. Although quantitative evaluation is not provided in the source project, the architecture establishes a useful foundation for future experimentation with larger datasets, real-time analytics, and advanced recommendation algorithms.

References

[1] Chen, Y.-L., Tang, K., Shen, R.-J., & Hua, Y.-H. (2004). Market based analysis in a multiple store environment.
[2] Trupti, A. K., & Santosh, V. C. (2014). An overview of association rule mining algorithms.
[3] Mittal, K., Aggarwal, G., & Mahajan, P. (2017). A comparative study of association rule mining techniques and predictive mining approaches for association classification.
[4] Savi, G., & Roopal, M. (2014). A survey on association rule mining in market based analysis.
[5] Dhanabhakyam, M., & Punithavalli, M. (2012). A novel market based analysis using adaptive association rule mining algorithm.
[6] Kumar, D. A., Annie, M. C., & Begum, T. U. (2012). Computational time factor analysis of K-means algorithm on actual and transformed data clustering.
[7] Manisha, G., Kanika, N., Saloni, I., & Neha, S. (2013). Comparative survey on association rule mining algorithms.
[8] Lee, C. H., & Lee, C. L. (2001). On mining general temporal association rules in a publication database. Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Data Mining, 337–344.

HAP/CELLULOSE BIOFILMS DERIVED FROM MOROCCAN NATURAL RESOURCES: PREPARATION, CHARACTERIZATION, AND METHYLENE BLUE ADSORPTION

Soumia Berrahou, Souhayla Latifi, Sanaa Saoiabi,
Mohammed V University, Faculty of Sciences, Department of Chemistry, Laboratory of Applied Chemistry of Materials in Rabat, Morocco.

Abstract:

This work investigates the eco-friendly preparation and adsorption performance of hydroxyapatite/cellulose (HAp@Cell) bio-films developed from Moroccan natural phosphate and cotton-derived cellulose. The bio-films were prepared through a simple, solvent-free and low-temperature process, promoting the valorization of locally available natural resources. Structural and morphological characterizations by X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) confirmed the formation of nanocrystalline HAp dispersed within a semi-crystalline cellulose matrix, resulting in a rough and porous surface favorable for adsorption. The adsorption performance of the prepared bio-films was evaluated using methylene blue (MB) as a model cationic dye. Among the investigated formulations, the PC5 bio-film exhibited the highest adsorption performance, with a maximum adsorption capacity of approximately 85 mg g^{-1}. The adsorption kinetics were better described by the pseudo-second-order model, while the Freundlich isotherm provided the best fit to the equilibrium data, indicating adsorption on a heterogeneous surface with multilayer interactions. The enhanced adsorption performance of PC5 can be attributed to the synergistic contribution of the HAp and cellulose phases, providing accessible surface sites and functional groups capable of interacting with MB molecules through electrostatic attraction, hydrogen bonding and other surface interactions. Overall, the results demonstrate the potential of HAp/cellulose bio-films, particularly PC5, as sustainable and efficient adsorbent materials for the removal of methylene blue from aqueous solutions.

Keywords: Hydroxyapatite/Cellulose Composite, Wastewater treatment, MB adsorption, Eco-Designed Bio-Films, Moroccan Natural Phosphate.

ACTIVATED SLUDGE PROCESSES FOR SUSTAINABLE WASTEWATER TREATMENT: PRINCIPLES, CHALLENGES AND RECENT ADVANCES

Abderrazzak Ihouaten[1], Khadija El-Moustaqim[2], and Jamal Mabrouki[1]
[1] Laboratory of Spectroscopy, Molecular Modelling, Materials, Nanomaterials, Water and Environment, CERN2D, Mohammed V University in Rabat, Faculty of Science, AV Ibn Battouta,
[2] Improvement and Valuation of Plant Resources, Faculty of Sciences, Ibn Tofaïl University—KENITRA-University Campus, Kenitra 14000, Morocco

Abstract

Activated sludge processes remain among the most widely applied biological technologies for municipal and industrial wastewater treatment due to their effectiveness in removing organic matter and nutrients. However, conventional activated sludge systems are associated with significant energy consumption, sludge production, operational complexity, and sensitivity to variations in wastewater characteristics. These challenges have increased the need for more sustainable and efficient approaches to wastewater treatment. This contribution provides a literature-based overview of activated sludge processes, focusing on their fundamental principles, major operational challenges, and recent technological advances. The biological mechanisms involved in organic matter removal, nitrification, denitrification, and biological phosphorus removal are briefly discussed. Particular attention is given to key operational parameters, including dissolved oxygen, sludge retention time, hydraulic retention time, mixed liquor suspended solids, and the food-to-microorganism ratio, which strongly influence treatment performance and process stability. Recent advances aimed at improving sustainability are also examined, including energy-efficient aeration, enhanced nutrient removal, process monitoring and control, sludge minimization, resource recovery, and water reuse. The review highlights the transition from conventional pollutant removal toward integrated approaches based on energy efficiency, resource recovery, and circular water management. Finally, current challenges and future research directions are discussed to support the development of more resilient, efficient, and sustainable activated sludge wastewater treatment systems.

Keywords: Activated sludge; Wastewater treatment; Biological nutrient removal; Resource recovery; Sustainable wastewater treatment; Circular water management.

EVALUATION OF ALGAL PROPERTIES AND CHLOROPHYLL CONTENT FOR LIGHT REDUCTION IN THE BUILT ENVIRONMENT

Muhammad Hanafi Ismail[1], Rashidi Othman[2*] & Wan Syibrah Hanisah Wan Sulaiman[33]
[1,2]Department of Landscape Architecture, Kulliyyah of Architecture and Environmental Design, International Islamic University Malaysia, 53100 Kuala Lumpur, Malaysia
[3]International Institute for Halal Research & Training, International Islamic University Malaysia, 53100 Kuala Lumpur, Malaysia

Abstract

The increasing demand for sustainable building technologies has encouraged the development of biological systems that can simultaneously contribute to environmental performance and building envelope functions. Microalgae and cyanobacteria are increasingly investigated for building-integrated photobioreactors because their pigmentation, biomass density, and photosynthetic activity can influence light transmission and shading while providing additional environmental benefits. Previous studies have established that light availability, photoperiod, pH, and cultivation conditions strongly influence microalgal growth, pigmentation, and photosynthetic performance (Wang et al., 2014; Wágner et al., 2018). In building applications, these characteristics are particularly relevant because microalgal photobioreactors can act as dynamic shading elements and potentially modify solar radiation and visual conditions within buildings (Talaei et al., 2020; Talaei & Prieto, 2024). This study investigated the effects of optimized pH and photoperiod conditions on the optical properties and chlorophyll content of four algal species, namely *Pseudanabaena amphigramulata*, *Alkalinema* sp., *C. radiosa*, and *D. brasiliensis*, with emphasis on their potential application for light-intensity reduction in the built environment. The algae were cultivated using BG11 under different pH and photoperiod conditions, and the optimum condition for each species was determined based on its growth performance. Colour characteristics were subsequently evaluated using the CIELAB system, including lightness (L*) and colour coordinate a*, using a Mettler-Toledo UV7 spectrophotometer. Chlorophyll content was determined spectrophotometrically after extraction using ethyl acetate and chloroform, with absorbance measured at 480, 648, and 666 nm. The results demonstrated distinct species-specific optical responses under optimized cultivation conditions. *P. amphigramulata* achieved its optimum condition at pH 8 and a 12-hour photoperiod, recording a green-intensity value (a*) of 52.27, lightness (L*) of 65.43, and chlorophyll content of 4.02. *Alkalinema* sp. recorded a* of 47.05, L* of 77.23, and chlorophyll content of 4.01 at pH 8 and an 18-hour photoperiod. *C. radiosa* and *D. brasiliensis* achieved optimum conditions at pH 10 and pH 8, respectively, with 24-hour photoperiods and chlorophyll contents of 3.95 and 3.75. Among the tested species, *P. amphigramulata* exhibited

the lowest L* value and highest chlorophyll content, indicating a darker and more strongly pigmented biomass that may provide greater potential for solar-light attenuation. These findings suggest that species selection and optimization of cultivation conditions are important for developing algae-based shading components. The results provide an experimental basis for further investigation of microalgae photobioreactors as adaptive shading and light-management systems within sustainable building envelopes, particularly in tropical built environments.

Keywords: Microalgae; cyanobacteria; CIELAB; chlorophyll; light attenuation; photoperiod; pH; building-integrated photobioreactor; built environment.

A BLOCK HYBRID LINEAR MULTI-STEP METHOD FOR THE SOLUTIONS OF STIFF INITIAL VALUE PROBLEMS OF ORDINARY DIFFERENTIAL EQUATIONS

M. M. Maitala[1, *], J.P. Chollom[2,] C.Y. Ishola[3] and A. Adams[3]
[1]Department of Mathematics, National Open University of Nigeria
[2]Department of Mathematics, University of Jos, Nigeria,
[3]Department of Mathematics, National Open University of Nigeria.

Abstract

This paper is on the derivation of the block hybrid linear multi-step method for the solutions of stiff initial value problems (IVP) of Ordinary Differential Equations (ODEs). It is an extension of the work of Shokri where a new hybrid method is developed with free parameters. The values of these free parameters are obtained by solving simultaneously equations generated from the order conditions of a linear multi-step method. The interpolation, collocation and Taylor series expansion approach is used to obtain the classical scheme and its block form for implementation purposes. The procedure yielded a $k = 2$ discrete numerical method and its block form. The convergence analysis of the new method carried shows that the new method is of order 6 and A-stable making the method suitable for the solutions of stiff ODEs. The Zero stability, together with consistency, guarantees the convergence of the method. Numerical experiments conducted on stiff IVPs confirm that the method is accurate, efficient, and performs competitively when compared with existing methods in the literature

Keywords: Hybrid block, Zero- Stable, A-Stability, Consistent and Convergent

THE EFFECTS OF FINANCIAL AND NON-FINANCIAL REWARDS ON EMPLOYEE MOTIVATION: EVIDENCE FROM A BRANCH-LEVEL PANEL OF ASA BANGLADESH

Fatematuz Zohora, Graduate Research Student, Dept. of Finance and Banking, University of Barishal. Gmail: zohorafatematuz59@gmail.com
Nigar Sultana, Graduate Research Student, Dept. of Economics, University of Rajshahi , Gmail: nigarsultana.ru@gmail.com

ABSTRACT

In this present study, an attempt has been made to find out the effect of monetary incentives and non-monetary incentives on employee motivation with the special reference of one leading Microfinance Institution of Bangladesh namely ASA Bangladesh (ABBL), at the Branch level. Motivation among employees is among the factors that determine the performance of the organizations in relation to productivity, quality of service and sustainability particularly in the case of Microfinance Institutions (MFI) which is a labor intensive and field based organization (Guest, 2017; Armstrong, 2020). This study utilizes a balanced panel of 100 branch-year records from 10 branches, which are collected from human resource and financial administration records of the ASA Bangladesh over the time span 2015–2024, instead of depending only on cross-sectional survey evidence. The financial rewards and non-financial rewards are identified as key explanatory variables and the dependent variable is identified as employee motivation; branch size, average tenure and staff turnover are identified as controlled variables. Descriptive statistics, pairwise correlation, a series of panel diagnostic tests (unit root, normality, multicollinearity, heteroskedasticity, autocorrelation and endogeneity), and pooled OLS, fixed-effects and random-effects panel regression analyses were used to analyse the data, with the Hausman specification test leading to the selection of the model. The results indicate that both financial and non-financial rewards have positive and statistically significant influences on branch employee motivation, and that the coefficient on non-financial rewards ($\beta = 0.391$, $p < 0.01$) is slightly larger, than the coefficient on financial rewards ($\beta = 0.329$, $p < 0.01$), in the preferred random-effects specification. The longer the average tenure, the higher the motivation, the more the average turnover, the lower the motivation. The findings contribute to a literature that has been largely based on single-country cross-sectional survey designs, and build on a panel-econometric study approach in combination with a microfinance-sector context and a developing country context, providing ASA Bangladesh, and similar institutions, with a foundation for designing a balanced reward-management system that incorporates monetary incentives, recognition, professional development and supportive supervision.

Keywords: Financial rewards; Non-financial rewards; Employee motivation; Reward management; Panel data analysis; Human resource management; Microfinance; ASA Bangladesh

THE EFFECT OF CHOPPER BLADE PATTERNS ON THE PERFORMANCE OF A MULTIFUNCTIONAL CHOPPER MACHINE

Muhammad Zaky Rizqullah Nurrosidi
University of Jember

Abstract :

This organic waste has great potential as an alternative animal feed raw material that requires a chopping process. This study aims to determine the effects of blade-pattern variations and rotational speed on the maximum capacity and chopped size of a multifunctional chopper. The research method employs a Taguchi L9 orthogonal array, varying the blade pattern (2, 4, and 6) and rotational speed (350, 400, and 450 rpm). The results of the S/N Ratio and ANOVA analysis show that blade rotational speed significantly affects maximum capacity and chopped size. Blade pattern variation significantly affects maximum capacity but not chopped size. Optimal machine parameters were found to be a blade pattern of 6 and a rotational speed of 450 rpm. Modifying this blade pattern and rotation is an effective technical step in optimizing chopper machine performance.

.

AQUEOUS WASTEWATER TREATMENT: MODELİNG THE ADSORPTİON ISOTHERMS OF ORGANİC POLLUTANTS ON RED SPRUCE SAWDUST ACTİVATED CARBON

ELANZAOUI Said
University IBN ZOHR, Faculty of sciences, Department of chimistry, Agadir, Morocco.
ORCID ID: https://orcid.org/ 0009-0000-3412-0121

Abstract

Water pollution caused by industrial discharges particularly organic dyes such as Malachite Green poses a major environmental challenge due to their toxicity and low biodegradability. This study is part of a circular economy approach that recycles a lignocellulosic waste product red fir sawdust to produce high-performance activated carbon for the treatment of aqueous effluents.

The effectiveness of this bioadsorbent was evaluated during the removal of Malachite Green in a batch reactor. The study focused on modeling adsorption isotherms (Langmuir and Freundlich models) to understand the mechanisms of solid-liquid interaction at different temperatures (25 °C, 40 °C, and 60 °C).

Analysis of the experimental data reveals that the adsorption process is perfectly described by the Langmuir model ($R^2 > 0.99$), indicating monolayer adsorption at homogeneous sites. The intensity parameters of the Freundlich model ($n > 1$) confirm an excellent affinity between the dye and the activated carbon surface. The results also highlight the highly endothermic nature of the process: the maximum adsorption capacity, Qmax, increases from 451.25 mg/g at 25 °C to an exceptional value of 686.80 mg/g at 60 °C. These high adsorption capacities demonstrate that activated carbon derived from red spruce sawdust is an environmentally friendly, high-performance, and economically viable alternative for treating wastewater contaminated with persistent organic pollutants.

Keywords: Aqueous pollution control, adsorption, activated carbon, red spruce sawdust, malachite green, Langmuir and Freundlich isotherms.

HUMAN RIGHTS VIOLATIONS IN ARMED CONFLICTS: THE ROLE OF THE INTERNATIONAL CRIMINAL COURT

Dr. Tahir Qureshi
Assistant Professor of Law
Faculty of Law, Presidency University,
Bengaluru, India.
Tahirintl09@gmail.com

Abstract

Armed conflicts are still going on and are posing gross violations of human rights that are threatening the world peace and justice. To address this issue, the International Criminal Court (ICC) was established to make individuals responsible on the worst crimes and these included genocide, war crimes, crimes against humanity, and aggression. This study examines the effectiveness of the ICC in attaining this objective. It looks into the legal powers, jurisdiction and the operation of the Court in the moving conflict situations. The study is based on a combination of legal texts such as the Rome Statute, judicial rulings, and reports of the UN, as well as scholarly articles and reports of NGOs. The research discusses the achievements and challenges of the ICC through the analysis of key cases in such countries as Uganda, Democratic Republic of Congo, Darfur, Palestine-Israel, and Ukraine, including issues of decision enforcement and victim involvement. It also identifies certain obstacles that the ICC has encountered such as limited reach, dependency on countries to assist and political influence which may diminish its effectiveness. The study concludes that there is a necessity of closer collaboration between law, politics and practical solutions. It proposes changes to transform the ICC into a more efficient institution, enhance cooperation between countries and become more victim-centered. In general, ICC is an invaluable yet flawed instrument that can be used to combat impunity and defend human rights in the war zones, which requires constant enhancement and international backing.

Keywords: International Criminal Court (ICC), Human rights violations, Armed conflict, Rome Statute, Complementarity, State cooperation, War crimes, Crimes against humanity, Victim participation, Global justice.

Introduction:

The armed conflicts are some of the gravest contemporary risks of violation of human rights with their untold painful effects of violence, displacement and loss of lives. War victims remain subject to serious abuse, as it is with the case of Syria, Ukraine, Ethiopia, and Myanmar, and the world still ranks in millions, inhabited by people, who endured devastation and remain

trapped in a fatal loop. These are the illegal murder of people without trial, rape, forced settlement out of homes, torture and strapping of children to the military formations. One of the facts presented is that, as the United Nations statistics suggest, in 2021, more than 89 million individuals globally had fallen prey to the violent act of conflict and persecution, almost half of whom were children. Such continuing and systematic violations do not only shatter up multitudes of lives, it undermines the whole system of international law, halts any drive towards peace, and accelerates instability in most regions of the globe.

In most instances, the perpetrators of these offenses never face justice and this encourages them to do more similar offenses thereby subjecting the victims to a lack of hope of justice. The imperative response to this impunity should not only be through punishing the culprits but also re Sex Cinema underpins the respect of the rule of law through correcting the lives of the victims, restoring dignity to them, as well as reinforcing the respect of the rule of law. The global criminal court (ICC) was established to address this need. The ICC was first set up in 2002, as a result of years of international negotiations that began in 1992 based on the Rome Statute as a first move into creating a permanent international court.

This paper examines the nature of ICC and its approach to human rights abuses in armed conflicts. It also examines the effectiveness of the Court, its achievements, and the challenges it undergoes on its challenging route of dispensing justice, as well as guaranteeing accountability. Since, its goals are quite ambitious, the ICC has faced the following challenges; the lack of jurisdiction, lack of cooperation of states, political influence, as well as, the inability to enforce its decision. With different instances of cases around the globe, this study seeks to learn more about the ICCs mandate, and the way it can be enhanced to better combat crime, facilitate protection of rights and avenge victims of some of the worst forms of crimes that can ever occur to the minds of mankind.[234]

Research Problem:

The International Criminal Court (ICC) was established to hold those engaging in serious human rights offenses accountable when it comes to armed conflicts. Nevertheless, a great number of criminals escape justice because of the constraint of jurisdiction of the ICC, absence

[2] United Nations Office of the High Commissioner for Human Rights, Human Rights in Armed Conflict (2021).
[3] Rome Statute of the International Criminal Court art. 7–8, July 17, 1998, 2187 U.N.T.S. 90.
[4] nternational Criminal Court, "Establishment of an International Criminal Court – overview," https://legal.un.org/icc/general/overview.htm.

of cooperation by states and political influences. The ICC promotes the war crime, crimes against humanity, aggression and genocide but these laws are unable to be enforced nowadays because the wars involve non-state actors and irregular military forces. Lots of victims do not have a legal assistance or the courts cannot serve as deterrence. This questions the actual international commitment with justice as in the ICC. This paper examines the effectiveness of the ICC as a system of justice, the challenges to the effectiveness, and ways in which it inhibits the execution of the system in reducing impunity and safeguard the victim. These issues are critical because of the necessity to propose international reforms which enhance human rights and law safeguarding mechanisms in times of conflict.

Research Objective:

This research study seeks to analyze the ICC and how it is involved in addressing attacks on human rights in cases of armed conflicts. It examines the existing issue of how the ICC legal powers, jurisdiction as well as operations can result in actual accountability on issues of crimes such as genocide and war crimes. It puts highlight on the case-studies of Uganda, Democratic Republic of Congo, Darfur, Palestine-Israel as well as Ukraine to observe how the ICC cooperates with the national courts in the concept of complementarity. It also examines the impacts of political, lawful and pragmatic issues on judging capacity of the ICC to administer justice, reparations and deterrence. They are aimed at proposing that the ICC should work to enhance its role, promote a greater collaboration between the nations, and enhance a sense of justice in the face of the current complicated warfare.

Research Questions:

1. To what degree has the ICC been successful in addressing and prosecuting the violation of human rights in the contemporary armed conflicts?
2. What are the key legal, political, and practical issues preventing the ICC to issue justice in conflict regions?
3. What impact does the principle of complementarity of the ICC have on the willingness and capability of the national courts to prosecute international crimes?
4. How can ICC cases in Uganda, in the Democratic Republic of Congo, in Palestine, and in Ukraine determine future enhancement of global justice endeavors?
5. What can be done to reform the ICC systems, international cooperation, and approaches uses, to have more effective and fairer outcomes of justice?

Literature Review:

Considering that the Rome Statute was prepared, numerous researches have been performed related to the functioning of the ICC, its effect on the worldwide justice. The initial study explicates the special status of the ICC in the mission of all other international courts and its links to national courts under the principle of complementarity. The case of ICC in Africa and specifically in Uganda, Democratic Republic of Congo and Sudan, which study the patterns of prosecution, political concerns, victim rights and allegations of bias are numerous. A more contemporary study deals with ICC intervention in Palestine and Ukraine demonstrating difficulties in law and politics that the Court encounters. Other areas of study among the scholars include victim participation and reparations and the ICC efficiency. There has been a suggestion that impartiality in trials, expedious procedures, and severe penalties might be used in enhancing the legitimacy of the Court but might not suffice to harm the rule of law. Nevertheless, there are still gaps in research on the measurement of the ICC deterrent sensitivity of crimes as well as on its functioning in various countries and regions.

Research Methodology:

The research has a case study and comparative method in the qualitative, doctrinal approach. It examines such primary documents as the Rome Statute, Rulings of ICC, UN decisions, and published Court reports. Academic articles, NGO reports and possibilities of experts are all used as a secondary material in order to have a deeper understanding of how the ICC should work and where it fails to limit itself. The authors use studies on Uganda, Democratic Republic of Congo, Darfur, Palestine-Israel, and Ukraine cases to determine how effective ICC can be at other locations. It pays attention to such aspects as the principle of complementarity, difficulties in cooperation between states, and problems of enforcement. Comparing theory with reality, the study unveils the issue with functioning of the ICC and suggests how these recommendations can facilitate its practices. It will provide a clear and balanced view of how the ICC has been so helpful in enhancing justice during conflict situations as well as how it can be fortified in the future in order to ensure greater responsibility and to offer security to the whole world over the victims.

Conceptual Framework Human rights in armed conflicts.

Breach of human rights in the cases of armed conflicts are extreme mistreatment that frequently occur during a warfare and internal conflicts. The greatest casualties are the innocent civilian

population, which endures lawless murders, torture, rape, forced displacement and kidnappings as well as humanitarian denial. Per these acts, human dignity and justice as they are formulated in the international law is violated. Conflict makes it even difficult to survive in the face of a fragile society as it destroys institutions that are supposed to safeguard and have no mercy on those involved civilians such as women and children. Suplanted abuse is systematically conducted by governments as well as by the non-state armed groups so that some military or political benefit is realized. Such measures result in instant pain and even in the prolonged turmoil such as revenge waves. Protection against such abuses are provided under international laws, primarily, the International Humanitarian Law (IHL) as well as the human rights law. Nevertheless, most nations find it difficult to implement these laws due to a presence of a weak government, bias, or absence of resources. The international organizations, such as the International Criminal Court (ICC), are therefore necessary in ensuring the offenders are brought to book and the victims of war provided with justice, in addition to preserving human rights in times of war.[56]

Armed Conflicts: Definitions and Typology.

There are broadly two types of armed conflicts namely international armed conflicts (IACs) and non-international armed conflicts (NIACs). IACs occur between two or more countries and typically occurs through declaration of wars or conducted armed invasions. NIACs are intra-country conflicts between the recruit and organized armed forces of a government and organized armed groups of a government or between groups among themselves. The difference is very significant as it may influence the application of International Humanitarian Law (IHL) to the fighting. To be considered a NIAC, armed groups are to be well organized and a certain amount of armed violence which are not ordinary riots or isolated battles. Most of the modern conflicts are complex and hybrid ones with both international and domestic factors such as foreign military assistance or transnational activities. Such cross-conflicts complicate it to enforce the law and to hold the war groups accountable. Learning these classifications helps to

[5] International Criminal Court, Elements of Crimes, https://www.icc-cpi.int/sites/default/files/ElementsOfCrimesEng.pdf.
[6] Geneva Convention Relative to the Protection of Civilian Persons in Time of War art. 3, Aug. 12, 1949, 75 U.N.T.S. 287.

be aware of rights of civilians, who are the war fighters, and the legal obligations of the government and military formations in the case of a war.[7]

Theatrics of the key Human Rights Violations in Armed Wars.

Armed conflicts are renowned in widespread and systematic human rights abuses and civilians bear the greater share. They frequently become targets of attacks which do not respect the provisions of the war, forced expulsion out of their houses, summary executions, torture, and sexual abuse. Children have to go out to fight as soldiers and humanitarian workers risk life in an attempt to provide humanitarian services. This is referred to as war crimes and with a large-scale or intentional approach, it can emerge to crimes against humanity, or even genocide. Such atrocities bring tremendous human sufferings and ruin societies. The survivors are the ones who carry around with them a lifetime trauma, loss of family and breakdown of the social as well as cultural life. Impact is usually long term due to lasting effects following fighting hence recovery and rebuilding is not an easy task. It is, through law and courts such as ICC that the international community strives to bring the perpetrators to justice. Prosecuting this kind of crime does not just put guilty persons in their place, but also prevents repetitions of abuses and restores the faith in justice.

Inapplicable Normative Framework: International Human Rights Law and International Humanitarian Law.

Regulates International Humanitarian Law (IHL) which is primarily established in the 1949 Geneva Conventions and thereafter protocols; provides clear regulations to safeguard individuals who are not targets of fighting including civilians, injured soldiers as well as prisoners of war. It has been extended to international and non-international armed conflicts despite some differences that exist with the type of war. The primary principles are distinction (between militants and civilians), proportionality, and necessity, which propose to minimize suffering and human decency in the military actions. International Human Rights Law (IHRL) plays a same role as IHL in that they protect rights in times of peace and wars. Conventions such as the International Covenant on Civil and Political Rights (ICCPR) provide such entitlements as right to life and ban on torture. Although certain rights can be curtailed in times of emergency, absolute are others such as the prohibition against torture. Combined, IHL and

[7] Statute of the International Criminal Court (2018 update), https://www.icrc.org/en/download/file/84039/final_-icc_statute-_2018_update_edited_final_en.pdf.

IHRL create a framework that guarantees protection of the law as well as accountability of states and armed forces in case of conflict.[8]

Separation and Intersection of the IHL and the Human Rights Law.

One of the methods in which the people are endowed with protection by two systems of law, which are called International Humanitarian Law (IHL) and International Human Rights Law (IHRL). IHL is particular in armed conflicts and how wars are waged, and its merits are to safeguard the civilians and other individuals who do not engage in the war. However, the human rights Law is applicable at all times, whether it is during peace or war where fundamental rights are considered applicable, but some may be curtailed in case of emergency. The two laws sometimes have overlapping provisions by existing in conflictual conditions and providing protection at the same time. An example of this is that they both forbade killings and torture but IHL considers regulations regarding behavior of soldiers and the conduct in a battlefield. Courts and other litigative departments have tried to define these matters by establishing that these laws can be taken as compliments to one another. The two combine in giving a solid legal basis to ensure that human life, human dignity is safeguarded, and that perpetrators be brought to bring who violate it in the hardest of times in war.

In many of the modern conflicts both IHL and IHRL apply together and provide overlapped measures of protection. For example, tortures, arbitrary killing, and cruel treatments are forbidden in them. The main difference is that IHL prescribes special rules for combatants and operations of the army, IHRL prescription confines broader limits on the state action. Very often, opportunities will arise where governments have attempted to justify breach when they claim that they are in conflict situation only then the debate evolves as to what law should apply. The international courts over the years have established that the frameworks are not contradictory, but work in tandem. When applied together, they provide a more solid basis for the protection of human dignity and lay limitations on the application of force in the event of war, and ensure accountability in times of war.[9][10]

History Background Arguments and Creation of the ICC (Rome Statute)

[8] International Covenant on Civil and Political Rights art. 6–7, Dec. 16, 1966, 999 U.N.T.S. 171.
[9] Rome Statute, supra, arts. 7–8.
[10] International Covenant on Civil and Political Rights art. 6–7, Dec. 16, 1966, 999 U.N.T.S. 171.

The International criminal court (ICC) was established to ensure that the first permanent international court existed that would prosecute individuals who had committed major crimes such as genocide, war crimes, crimes against humanity and aggression. This notion began with the Nuremberg and Tokyo trials following the world war, which established the reality of the fact that not only states were a somewhat guilty party in these heinous acts. Nevertheless, the disagreements between the parties in the political domain at least in the Cold War period at least discouraged the creation of the permanent court by decades. A step forward came in 1998 when the Romans Statute was signed by the representatives of 120 countries in the conference on the Rome Statute, hosted by the UN. It was officially adopted as a Statute on July 1, 2002 when 60 countries ratified it. The ICC has 125 countries today. The Court is merely a court of last resort, which intervenes in cases where national courts are not able or unwilling to prosecute the great crimes. The ICC was one of the significant actions taken in combating impunity and even tough guys can be taken to be tried according to the international law.[11]

ICC Jurisdiction: Ratio Materiae, Temporis and Loci.

The power or jurisdiction of the ICC is limited with a lot of care by three boundaries that are stipulated in the Rome Statute, namely type of crime (ratione materiae), the moment the crime was perpetrated (ratione temporis), and the location where the crime took place (ratione loci). The Court is capable of only investigating four severe violations including; genocide, war meticulously, any crime against humane and aggression. On time, crimes perpetrated after July 2002 when the Statute was established are the only ones that ICC has a jurisdiction. The location is also crucial to the jurisdiction of the Court: it may take action on the basis of such crimes, when they occur in the country that is a signatory of the ICC or in case the individual, with whom the case concerns, is a nationals citizen. Also, the UN security council has the potential to refer the non-member state to the ICC to widen its jurisdiction. These are vivid legal parameters that offset the role of the Court in administering justice to the sovereignty of the countries, permitting the ICC to be accountable and fair as the last resort Court.[12][13]

Complementarity and Admissibility.

[11] Genocide Convention (arts. II–IV)
[12] Statute of the International Criminal Court (2018 update), https://www.icrc.org/en/download/file/84039/final_-icc_statute-_2018_update_edited_final_en.pdf.
[13] Rome Statute, supra, arts. 5–12

The ICC has been based on the principle of complement. It implies that the ICC only intervenes when national courts are unable or unwilling to adequately pursue or prosecute grave offences. This is in conformity with national sovereignty whereby countries are allowed to administer their justice initially. When one nation is working in the sincere efforts, then the ICC will not come in. The issue of admissibility is concerned with whether the ICC is to take a case. In case a just national trial is being already done, ICC might refer to the case as inadmissible. ICC as well examines the severity of the crimes concerned and whether the national actions are compulsory in order to stem out unnecessary action or prosecution. The system motivates countries to have good justice systems and aids the ICC aim at targeting the worst criminals in that the international criminal justice remains just and efficient as well as a supplement to the national courts.[14]

Procedural Organisation of the ICC

The ICC has well understood structure so as to have fairness, independence, and transparency. It is divided into four major sections, namely the Presidency, Judicial Divisions, the Office of the Prosecutor and the Registry. The Court and its relations are run by Presidency. Judicial Divisions will consist of trial, pre-trial, and appeals chambers, in which judges will be dealing with cases and decisions. The Office of the Prosecutor is autonomous and criminal investigation takes place through referrals as well as self-directed manner. Registry facilitates the validity of legal and administrative operations and champion the rights of victims and defendants. The ICC procedure entails pre-tests, investigations, trials and appeals. The accused can give evidence, and the victims have their rights to the law such as presumption of innocence. The independence of the Court and the cooperation of the state such as to assist in evidencing suspects and arresting persons plays a critical role in credibility of the Court. A combination of all these elements makes the ICC a reliable global justice body.[15][16]

Core Categories of Crimes under the Pris jurisdiction of ICC: Genocide.

One of the most serious crimes in the international law is genocide: genocide is defined in the Rome Statute and in the document Genocide Convention of 1948. It implies the working to produce the destruction in a bare entirety or partially of a people group basing on the range of

[14] "Cooperation – Rome Statute of the ICC"
[15] International Criminal Court, "Structure of the ICC," ABA ICC Project, https://www.aba-icc.org/about-the-icc/structure-of-the-icc/
[16] Rome Statute, supra, arts. 34–49

nationality, ethnicity, race, or faith. Such acts are that they kill the group members, cause severe physical or mental injuries, intentionally give conditions with the aim of ruining the group, and make the births impossible or link kids to a different group against their own will. ICC tries leaders who intend or execute genocide and intend is one of the reasons why they are found guilty. They include conflict incidents such as Darfur whereby thousands were displaced or killed. The pursuit of viable and indicative leading officials would bring to halt the impunity culture and would send a strong message that perpetrators of such criminals will not go unpunished. Genocide can be referred to as the crime of crimes in that it is a crime that destroys out of those forms of crimes.[17]

Main Groups types of Crimes under Thresholds of ICC Management: Crimes against humanity.

Crimes against humanity entail large-scale assault on civil groups or attack that is systematic and can occur in either war or peace. These are murder, extermination, slavery, torture, forced movement, sexual violence, disappearances, persecution, apartheid and cruel treatment. Such crimes do not require an armed conflict to take place as is the case with war crimes, instead they need to be coordinated or large scale. ICC tries people who orchestrate or perpetuate such crime. The example of the Lord Resistance Army in Uganda and militias in the Central African Republic demonstrates the effectiveness of ICC in bringing to justice heads of state committing such atrocious actions. This jurisdiction extends to the crimes outside combat that could be political oppression, or government violence. Charging such crimes is also a way of enhancing the international law in ensuring that no human being is beyond the law, despite his status or rank.[18]

War Crimes, other Major Categories of Crimes of the ICC Jurisdiction.

Crimes against humanity The offenses of the laws of war constitute a grave form of war crimes including the international non international conflict. These crimes include the willful killing, torture, attacks against civilians, illegal forced displacement, taking of hostages, the use of child soldiers, sexual slavery, and the looting. These acts breach the Geneva Conventions which safeguard civilians, inmates as well as injured soldiers. The ICC prosecutes criminals

[17] Convention on the Prevention and Punishment of the Crime of Genocide arts. II–IV, Dec. 9, 1948, 78 U.N.T.S. 277.
[18] Rome Statute, supra, arts. 7–8.

involved in or commanding such deeds regardless of whether they are the heads of state or hired soldiers. Such examples include enquires in the Democratic Republic of Congo and Darfur whereby there were mass atrocities. Through prosecution of war crimes, the ICC focuses on respect of the war laws and renders justice to the victims. They are primarily aimed at punishing the perpetrators and deterring new crimes and demonstrates that even in the time of conflict; there are certain limits that should not be passed to maintain human dignity.

Significant Crowds of Crimes within the scope of the jurisdiction of the ICC: Crime of Aggression.

Crime of aggression refers to the employment of armed forces by one state on another against the provisions of the United Nations Charter. This can be an invasion, occupation, bombing, blockading or annexation of other country. In 2018, with Kampala Amendments, the power to try this crime was attained by the ICC. It does not however prosecute the lower level fighters but only those military leader who arrange or orchestrate such military deeds. Aggression is called the most senior international crime because it is likely to deliver the war crimes and other severe breaches. Its inclusion in the Rome Statute enhances the aim at maintaining peace and justice across the world. The ICC put leaders responsible to eliminate illegal wars by ensuring that the international rules are upheld and a country is not encouraged to defy the peace.[19]

Mileage of Investigation and Prosecution.

Particularly, the ICC initiates shortages of investigation in various three forms: the cases are referred by a member state or the United Nations Security Council, or the ICC Prosecutor initiates an inquiry (and is authorized by the judges). The Prosecutor examines first whether the case is serious and sufficient. In case yes, an in-depth investigation commences that includes gathering of evidence, talking with witnesses as well as making visits to areas affected. Once sufficient evidence has been collected, the ICC can command the arrest warrants or summon of those who are suspected. The Court attacks those who are most responsible, often leaders or commanders, to make an actual difference and reinforce crimes that are going to happen. Liberation rights of the accused and victims are guarded during the trials. As there is no police force within the ICC, countries are used to assist in arrests, evidence and protection

[19] Kampala Amendments to the Rome Statute, on the Crime of Aggression, June 11, 2010, https://www.icc-cpi.int/sites/default/files/asp_docs/Resolutions/ICC-ASP-2010-Res.6-ENG.pdf.

of witnesses. One can make trials, appeal and reparations are possible to the victims. Each step is treated in special chambers, which is also fair and transparent. This arrangement will assist the ICC in assisting the national courts as well as enforcing justice on the most heinous offenses in every corner of the world.[2021]

Remarkable cases and precedence (Uganda, DRC, Darfur, and Ukraine).

The popular cases of the ICC project its successes and troubles. One of the first rebels to have cases at the ICC was the Lord's Resistance Army (LRA) when Uganda requested the commission to investigate these atrocities against the security group in the country such as child kidnapping and mass murders (ICC 2004). The ICC brought Thomas Lubanga of Democratic Republic of Congo to justice on the accusations of child soldiers and Jean Pierre Bemba on the accusations of war crimes which enhanced witness protection and fair trials. In Darfur, Sudan, the United Nations Security Council put the conflict on its agenda and Sudanese leaders were indicted, including a warrant against the then-President Omar al-Bashir the first such case in the history of a head of state. Investigations have also been more recently launched by the ICC into the 2022 Russian invasion of Ukraine, on an unprecedented scale of the ICC investigating an ongoing war in which a powerful state is involved. Although there have been successes, these cases have notable obstacles such as pressure to politics, lack of cooperation and never ending violence.

Restrictions in ICC Jurisdiction and Enforcement.

A center of a certain limitation exists with regard to what and where ICC can do. It cannot adjudicate on old crimes because its authority only applies to crimes that happened after July 1, 2002 when Rome statute took effect. It may act only when the member countries have committed the crimes, or when the suspects are their nationals, except where the intervening of the UN Security Council. This has gaps because such important nations are not members as the U.S., China, India, and Russia. The ICC does not has a police force but can rely on the nations to arrest the suspects and assist in the investigation. Lots of states are either unwilling or imminent to collaborate, allowing murderers to go free. Actual arrests are achieved on few arrest warrants. Other factors causing slow trials include poor funds and personnel. Such

[20] Rome Statute, supra, arts. 13–15.
[21] International Criminal Court, "Power of the Prosecutor: Initiating an Investigation," https://icclr.org/wp-content/uploads/2019/06/PoweroftheProsecutor.pdf

restrictions hinder the effective functioning of the ICC and make it less powerful to control crimes that would happen later.

Barriers of State Cooperation and Non-State Party.

The ICC has made nations overly reliant thus creating great issues. Political reasons cause some member states to either refuse or delay cooperation and prevent arrests and investigations. At least, non-member countries, such as the U.S., Russia, and China, are not obliged to assist and suspects found in these countries find it straightforward to escape the justice system. The governments can also reject ICC officials access to conflict zones or witnesses. Others allege that the ICC is biased or that the ICC is meddling into domestic matters. Since ICC comes into limelight when national courts cannot succeed, politics also serve to asthma its operations. The strength of the Court is based upon cooperation at the world level. In the absence of it, even the most effective laws prove to be rather weak, and crime catalysts might get away with crimes.[22]

Political Alliances and Bias towards a culture.

The ICC has also been accused of psyching bias, this is primarily due to several litigations being centered on African states and leaders. Opponents believe this resembles the appearance of unfair targeting or neo-colonialism. At the same time, executives of strong nations are barely ever charged when there is evidence. This brings up doubts as to whether the ICC regards all people equally. The involvement in UN Security Council further complicates the situation because permanent members (the five states carrying permanent internationalisation in the UN) can veto or submit a case envisioning political interests. These nations have also boycotted or threatened officials of ICC which harms the image of the Court. Nevertheless, many efforts to make the ICC more fair do not make the body appear that it is really fair and independent which is why the ICC finds it challenging to be able to convince many countries. Political crises continue as one of the heinous challenges of the Court in terms of world reputation and international justice implementation capacity.

Experts have issues with Victim Participation and Reparations.

The peculiarity of ICC is that, the victim can take part in court and claim reparations. The survival can tell his story, become a part of the investigation, and claim compensation. This

[22] International Criminal Court, "Cooperation – Rome Statute of the ICC," PGA, https://www.pgaction.org/ilhr/rome-statute/cooperation.html.

assist in the administration of justice other than merely convicting criminals. Most victims are however very distant in ICC in the Hague and hence participation is difficult. Reparations usually become long processes and victims feel that they are unheard especially when the countries or donors have to finance such reparations. The ICC attempts to strike a balance between individual and community restitution yet resources do not frequently match the extent of harm. Others would prefer that particular attention should be paid to local rapists, not only the high officials. Nevertheless, the approach by ICC is a commendable move of understanding the victims and restoring their dignity.[23][24]

Case Studies: Palestine-Israel Conflict.

In 2019, the ICC started to look into the Palestinian-Israel conflict, regarding the allegation of war crimes and crimes against humanity by both parties since 2014. Among the problems which were identified by the Court, the Israeli settlements on West Bank, the losses of civilian lives during the 2014 war in Gaza, and the attack of rockets being thrown by Hamas against Israel were listed. The ICC declared that it has authority over the crimes committed in occupied Palestinian lands, contrary to non member state Israel that has disagreed. In 2024, the ICC also placed arrest warrants against the top leaders of Israel and Hamas, a historic move. But continued violence, political influences, and cooperation of Israel are cumbersome to gather evidence and conduct investigations. It can be observed that this case illustrates some challenges that the ICC encounters in politicized wars that are characterized by powerful military nations. The involvement of the ICC is in spite of its extensive critique, but the move exemplifies attempts to impose the international law and hold offenders responsible to end the sufferings of victims.

ICC in Africa (Darfur, DRC, Uganda).

ICC has been based on Africa. Uganda referred Lord Resistance Army (LRA) termination of its actions to the ICC to determine the incident involving child soldiers and killings. Even despite it being a giant stride, peace negotiations impeded it. In the Democratic Republic of Congo (DRC), the ICC was called in to take international crime leaders (such as Thomas Lubanga) into justice, international laws on command responsibility and witness protection

[23] Rome Statute, supra, arts. 13(b), 16.
[24] Saki Ruth Dockrill, “The ICC’s Dilemma: Balancing Justice and Perceived Bias in Africa,” Modern Diplomacy (June 23, 2024), https://moderndiplomacy.eu/2024/06/24/the-iccs-dilemma-balancing-justice-and-perceived-bias-in-africa/.

were enhanced. The conflict in Darfur was referred to the UN Security Council, accusing leaders of Sudan of genocide and crime against humanity even though the country did not have any intention of cooperating. All these incidences reveal strengths and weaknesses of the ICC; it is struggling to arrest and bring suspects to book, it is not fully backed by the states, and does not conduct mention hard core trials. Although critics by some African nations perceive the ICC as overdoing its work in the continent; many regard it as an obligatory source of justice. These incidences show how delicate justice, politics and peace processes are in Africa.[25]

Partisan affiliations and Cultural bias.

ICC has received numerous accusations of biasing politics as many of its cases revolve around the African countries. The critics believe that this indicates unfair targeting and neo-colonial attitudes. In the meantime, world leaders usually go scot-free even where there are charges. This poses a question that the ICC is not fair across the globe. This is augmented by the fact that the United Nations Security Council has five permanent members who can veto or give cases depending on political interests. There are countries that have declined ICC investigations or even threatened the ICC officials. The ICC is facing a challenge in the perception by most nations that it is adjacent as it tries to create a sense of fairness and transparency. Any political pressure is detrimental to its image and makes collaboration not easy thus affects successful delivery of justice by the Court.[26][27][28][29][30]

The problems of Victim Reparations and Victim Participation.

The peculiarity of the ICC is that the victims have an opportunity to be at trial and demand the reparations. Those who survived can narrate their stories and apply the law and justice goes beyond taking the life of the criminals. But there are thousands of victims who are not living near Hague, and it becomes difficult to be involved. Reparations are usually not fast and require financing by countries and donors thus, resources are scarce. The ICC weighs between

[25] International Criminal Court, "Cooperation – Rome Statute of the ICC," PGA, https://www.pgaction.org/ilhr/rome-statute/cooperation.html
[26] Prosecutor v. Thomas Lubanga Dyilo, ICC-01/04-01/06 (Trial Chamber II, Mar. 14, 2012)
[27] Human Rights Watch, "ICC in Sudan and Democratic Republic of Congo," https://www.hrw.org/news/2025/06/02/human-rights-watch-comments-international-criminal-court-office-prosecutor
[28] UN Security Council Res. 1593, U.N. Doc. S/RES/1593 (Mar. 31, 2005)
[29] International Criminal Court, "Statement of ICC Prosecutor on Situation in Ukraine," ICC Press Release (Feb. 28, 2022), https://www.icc-cpi.int/Pages/item.aspx?name=pr1620.
[30] International Criminal Court, "Statement of ICC Prosecutor, Fatou Bensouda, on the Situation in Palestine," ICC Press Release (Jan. 16, 2015), https://www.icc-cpi.int/Pages/item.aspx?name=pr1084.

compensation to the individual and society but in most cases, it is incapable to adequately satisfy the demands. Certain victims feel neglected particularly when cases pay more attention to the higher-rank figures than the local ones. In spite of these issues, victim-centered focus of ICC is a good move towards replacing dignity and injustices to victims.[31]

Case Study Palestine-Israel Conflict.

In 2019, the ICC started an inquiry of war crimes that have taken place since 2014 in Palestine-Israel to make investigations of the war-related crimes committed by both Israeli and Palestinian authorities. Among the points are the settlement growth of the Israelis in the West Bank, Israeli death of civilians during the 2014 Gaza War, and Hamas shooting rockets to Israel. The Court contended that it can address crimes committed in occupied Palestinian lands but Israel which is not a signatory of the ICC does not agree. In 2024, the ICC gave arrest warrants on the senior Israeli and Hamas leaders. Violence, political tensions, and unwillingness of the Jewish nation of Israel to cooperate make investigations challenging. The case demonstrates that ICC faces problems when dealing with politically sensitive conflicts of a stressed military capacity. Nevertheless, ICC has the intention of following international laws and bringing those involved to justice in order to save lives of civilians.

ICC Africa (Uganda, DRC, Darfur).

Numerous initial cases of ICC were undertaken in Africa. The ICC was requested by Uganda to probe the Lord order of the Resistance Army (LRA), which was accused of using child soldiers in its activities and killing a great number of persons. Proceedings were occasionally stalled through peace talks. Good leaders such as Thomas Lubanga were prosecuted in the Democratic Republic of Congo and thus aid in enhancing and strengthening legislation on command accountability and witness defense. UN Security Council referred the Darfur crisis in which the government of Sudan had been accused of genocide and crimes against humanity, even though it did not cooperate. The cases demonstrate the weaknesses and challenges facing the ICC: resignation in arresting suspects, lack of the aid of states, and impossibility of a powerful trial. Even though there are certain criticisms by Africa countries on how the ICC pays more attention to the continent, there are high claims by many countries who appreciate

[31] International Criminal Court, Policy Paper on Victims' Participation and Reparations, https://www.icc-cpi.int/sites/default/files/PolicyOnVictimsParticipationReparations.pdf.

the move by the ICC as one of those trying to administer justice. Such situations indicate the complicated combination of justice, politics, and peace in Africa.

The international affairs of Ukraine have been hit hard by recent events in the country.

The ICC began immediately pursuing the alleged war crimes, acts of aggression, and humane atrocities started being examined as a result of the 2022 invasion of Ukraine by Russia. The Prosecutor emphasized that there is no person above the law and perpetrators of attacks on civilians, torture, and deportations will be punished. ICC investigators were dispatched to Ukraine and they opened an office there to cooperate with local law enforcement. Ukraine did enter into the Rome Statute formality in 2024 providing the ICC with more control over crimes in Ukrainian territory. Nonetheless, Ukraine has imposed boundaries to ICC jurisdiction over a few of its nationals making it difficult to prosecute. This case is very political and challenging since it is continuously going on. Russia is a non-member of the ICC and is not cooperative and thus very difficult to enforce. Nevertheless, the investigation demonstrates the dedication of the ICC to the realm of the justice in the complicated wars nowadays.[32]

Jurisdiction of Nation and Principle of Complementarity.

The ICC has a philosophy of complementarity in that it will only intervene when the national courts are unable to inquire or prosecute international crimes of grave character. The states have the utmost role to address any of these cases through their legal system. The ICC is a fall-back mechanism that only interferes when a nation is not willing or capable to become involved. This gives due to national sovereignty, and promotes stronger local justice. Article 17 of the Rome Statute clarifies that the ICC is not going to intervene and eliminate the role of national courts but supplement where needed. Victims are usually more likely to get access to local trials as well as find them relevant to the culture. Fairness and efficiency-Complementarity also makes the world accountable by collaborating with national courts to prevent occurrence of serious crimes.

The Collaboration of International criminal court and domestic courts.

ICC relies greatly on national courts to operate. The Rome Statute indicated that states were first only supposed to deal with crimes themselves but that as soon as they are unable or unwilling to do so, ICC takes their place. The aspects of cooperation involve the exchange of

[32] International Criminal Court, “Statement of ICC Prosecutor on Situation in Ukraine,” ICC Press Release (Feb. 28, 2022), https://www.icc-cpi.int/Pages/item.aspx?name=pr1620.

evidence, arresting, witness protection, and information. In numerous states, ICC investigators get along well and enable fair trials. The ICC also contributes to the enhancement of the national systems as it provides training and technical assistance in order to cope with serious crimes alone. Nevertheless, the cooperation is rather diverse; there is no complete support of the ICC by all the states, most of them remain skeptical, particularly when political leaders are possible victims. This lack of consistency causes delay in the delivery of justice and undermines the activities of the ICC. In cases whereby cooperation works well, justice is brought back and respect to the Court is obtained. Close collaboration between the ICC and national courts is appropriate to international justice and responsibility.[33]

The Willingness to Prosecute/ National Capacity.

The action of ICC depends on the capacity and the readiness of the country to prosecute crimes by itself. Capacity implies the existence of just courts, competent judges and resources needed to adequately prosecute cases. States are in post-conflict recovery that do not have these. Willingness Can be translated to mean actual desire to prosecute the offenders. There are those governments that protect influential individuals or conduct untrue investigations to prevent the ICC intervention. In cases where the ICC deems that states are unable or unwilling to do the right things then the ICC assumes such cases immediately they provide justice. The ICC also strives to enable nations to develop robust systems in order to leave behind serious crimes alone. Complementarity is not just a principle, it is a collective responsibility to bring to book the most heinous of crimes at the local or at the international levels and to stop impunity in all places.[34]

Principle of Complementarity and Role of National Jurisdictions.

Complementarity characterizes the ICC in relationship with the national courts. It is the primary duty of countries to investigate and punish crimes involving serious offence such as genocide and war crimes. The ICC merely intervenes when a nation cannot or lacks the willingness to conduct ample investigations or trial. It is a principle that acknowledges the sovereignty of states but it does not disadvantage justice. The ICC is an established court of last resort in article 17 of the Rome Statute. The complementability will motivate the nation

[33] Statute of the International Criminal Court (2018 update), https://www.icrc.org/en/download/file/84039/final_-icc_statute-_2018_update_edited_final_en.pdf
[34] "Structure of the ICC" (ABA ICC Project)

states to empower the law against the close victims, and enhance access to legal and cultural relevancy. The ICC does not establish the national courts but rather complements them and helps fill the gaps. Finally under such relationship, national independence balances with global responsibility in bringing harsh criminals to justice so that impunity over serious crimes is not perpetuated.

How ICC Cooperates with Domestic Courts.

The ICC and nationals should cooperate to achieve the rule of law. The Rome Statute encourages states to initiate inquiries and prosecute suspects prior to ICC intervening in any of the cases. Cooperation involves provision of evidence, conducting arrest warrant, witness protection, and assistance to the fair trial. In other occasions the same case may be tried by both courts indicating that they are supposedly meant to work together. In an effort to make countries better in their justice systems, the ICC provides training and advice as well. Nonetheless there is a wide range of cooperation. There are states with full encouragement, some which resist or delay which results into setbacks. The ICC keeps track of any form of action like national investigation to be real or to evade international justice. Collectively, the national courts and the ICC make a partnership to establish a global network to offer victims of crime fair justice in an transparent and effective manner.

Ability and Will to Prosecute on a National Scale.

The ICC only interferes when a country can and also willing to deal with the major crimes. Capacity refers to presence of adequate resources, laws and other qualified personnel, and reliable witnesses to make fair trials. Most of the conflict or corruption infested nations of the world are deficient in these necessities. Willingness- it is the actual desire of the government to seek justice without political influence. In some cases, governments also fake that they are active, but in fact defend those who are on protection. These are the aspects that the ICC pays close attention to when assuming the control of a case. Powerful and independent national courts will allow the ICC to work on the gross areas of relevancy, facilitating faster justice.

The ICC comes in as a final resort when the states are weak or failed, as a result of pressures, respecting the cause of justice and accountability across the global arena.[35][36]

Development of Reform and Strengthening of ICC Building Prospects.

The further evolution of the ICC is dependent on better processes and aspects of adaptability to the emerging challenges. There is a need to reduce the delays associated with trial since the victims and the populace will be irritated by slow justice. ICC ought to be empowered more to investigate and to provide means and moderate means of bringing the suspects to be enforced in the Court. Giving it the mandate to deal with other crimes such as electromagnetic warfare and destruction of the environment would make it remain relevant. By encouraging more countries to be signatories to the Rome Statute, one will increase its legitimacy. To reinforce autonomy of prosecutors and judges would contribute to the fairness. It is critical to enhance the collaboration of states by using diplomacy and local cooperation, as well as provide training to support the national courts. This will restore dignity and trust by retaining victim-centered justice at the center of the focus through participation of the trust children and ad-hoc payments. These measures can assist the ICC to offer deeper accountability and justice on the global scale[37].[38][39]

Conclusion

One of the greatest in the world is the International Criminal Court (ICC) in ensuring that there is no impunity against serious crimes committed in case of an armed conflict. The primary aim of it is to make the individual people accountable of gruesome actions such as genocide, crimes against humanity, war crimes and aggression. ICC abides by the norm of complementarity i.e. it only intervenes when the national courts in countries fail or reject to give those cases due attention. As this balance makes all citizens feel accountable to their nations, justice will still

[35] The Role of the ICC, Council on Foreign Relations (May 29, 2019), https://www.cfr.org/backgrounder/role-icc
[36] International Criminal Court, "Cooperation – Rome Statute of the International Criminal Court," Parliamentarians for Global Action (May 29, 2014), https://www.pgaction.org/ilhr/rome-statute/cooperation.html
[37] European Parliament Think Tank, "International Criminal Court: Achievements and Challenges 20 Years After the Rome Statute," EPRS Briefing 625127 (July 12, 2018), https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2018)625127.
[38] Max Planck Institute, "The International Criminal Court: A Brief Introduction," https://www.mpil.de/files/pdf3/mpunyb_philipp_7.pdf
[39] European Parliament Think Tank, "International Criminal Court: Achievements and Challenges 20 Years After the Rome Statute," EPRS Briefing 625127 (July 12, 2018), https://www.europarl.europa.eu/thinktank/en/document/EPRS_BRI(2018)625127

be served in the event that worst crimes go unpunished by the local mechanisms. A comparison between Palestine-Israel, African, and Ukraine reveals various conceptualizations of the ICC office in various political and legal contexts. These instances outline its accomplishments as well as its restrictions. Through the work of the Court most violations would otherwise go unnoticed all over the world. Nonetheless, the ICC continues to endure giant problems such as political influence of some nations, ineffective collaboration among some states and mishandling the apprehension of suspects. All higher courts tend to waste time and resources on trials seemingly reduce speed of delivery of justice. Irrespective of these obstacles ICC has served to advance the standards of global justice and make an impact on most countries to strengthen the mutual systems in the effort to combat impunity. Among the most significant accomplishments is letting the victims to be held to the course of justice so as to have a say and demand compensation. This trend of victim involvement indicates that the trend resides in the dignity to punish not only criminals.

Some criticism has still left it regarding the ICC particularly touching on the fact that it focuses on Africa with some questioning the fairness. The ICC should be receptive with the rest of the world to build trust and enhance legitimacy by having consistency uniformity to all regions. It should be more open and just. Concisely, ICC is important due to the fact that most of the national courts cannot or choose not to prosecute strong perpetrators. The Court represents a strong message to serious crimes against humanity saying that such justice will not be supported internationally. Since the nature of wars and violence evolves, ICC also needs to continuously adapt and become better. In the event of success, justice has the potential to establish peace, a healing process and human dignity across the world. Enhancing its autonomy, the collaboration with states, and effectiveness will make it possible to have the ICC standing as a landmark of international justice in century after century.

ENGINEERING INTERFACIAL CONDUCTION IN TIO_2 NANOSTRUCTURES FOR ENHANCEMENT THE PERFORMANCE OF CDS QUANTUM DOT-SENSITIZED SOLAR CELLS

Hussam Musleh [1,2,*], Abdelylah Daoudi[1], Samy Mansy[3], Naji AlDahoudi[2,4], Abdelilah Lahmar[4],Yahia Boussoualem[1], Khaoula Ferchichi[1], Hadjer soufi[1]

[1] Université Littoral Côte d'Opale, UR 4476, UDSMM, Unité de Dynamique et Structure des Matériaux Moléculaires, F-59140 Dunkerque, France.

[2] Physics Department, Al-Azhar University-Gaza, Gaza, Palestine.

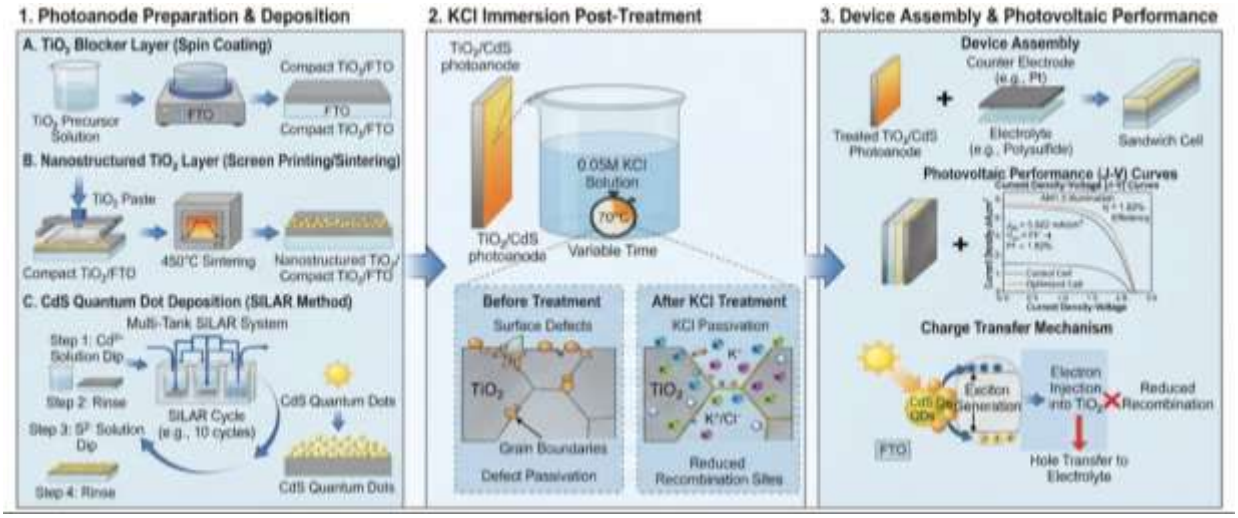
[3]University College of Science and Technology, Khan Younis, Department of Engineering Sciences and Applied Arts, Gaza, Palestine.

[4] Condensed Matter Physics Laboratory, Université de Picardie Jules Verne, 33 Rue Saint-Leu, 80000 Amiens, France.

Abstract

Quantum dot-sensitized solar cells (QDSSCs) represent a cost-effective alternative to traditional silicon-based photovoltaics, with II-VI semiconductor compounds widely utilized as quantum dot absorbers. In this study, a cadmium sulfide (CdS) quantum dot-sensitized solar cell based on TiO2 nanostructures was fabricated. A thin TiO2 blocking layer was deposited onto fluorine-doped tin oxide (FTO) substrates to suppress charge recombination and enhance device efficiency. Subsequently, the TiO2 films were deposited using the doctor blade technique. After that, the TiO2 films were submerged in a 0.05 M KCl solution at 70 °C for varying durations of 0, 5, and 10 minutes (designated as A0, A1, and A2, respectively) to minimize interfacial charge recombination. The successive ionic layer adsorption and reaction (SILAR) method was then used to deposit the CdS absorber layer. The photovoltaic performance of the fabricated devices was evaluated using current-voltage characterization under AM1.5 illumination. The optimized CdS quantum dot-sensitized solar cells achieved a power conversion efficiency ranging from 1.51% to 1.82% by treating the TiO2 film with KCl for 5 minutes.

Keywords: Cadmium sulfide quantum dot; SILAR technique, Quantum Dot-Sensitized Solar Cell



Graphical abstract

TECHNOLOGY-ENHANCED PRESERVATION OF INDIGENOUS CULTURE FOR INCLUSIVE AND RESILIENT EARLY CHILDHOOD EDUCATION

Shaima'u Aliyu YUNUSA, Ph.D
yshaimau9@gmail.com
Oladiran Amidu, OKUNLOLA
okunlolaamidu@gmail.com
Department of Early Childhood Education,
Faculty of Specialized Education,
Federal University of Education, Kontagora, Niger State

Abstract

Early Childhood Care and Education (ECCE) provides a significant foundation for children's overall development. Areas such as cognition, language, identity, social participation, creativity, and lifelong learning are affected by ECCE. Yet the everyday transmission of cultural heritage such as indigenous languages, folktales, songs, games, oral histories, environmental knowledge, and communal values is fading as young children encounter increasingly uniform curricula and commercially produced digital content. This paper, an opinion paper, argues digital technology should be deliberately repositioned as a community governed bridge for preserving and renewing the indigenous cultural heritage of communities within inclusive and resilient ECCE. Digital storytelling, audio-visual documentation, offline mobile resources, interactive learning materials, and community-controlled digital archives can extend intergenerational cultural transmission when they are locally validated, developmentally appropriate, accessible, and integrated with face-to-face storytelling, play, songs, movement, and social interaction. However, technology must complement rather than replace elders, families, teachers, and lived cultural practice. The paper maintains that responsible implementation necessitates participatory cultural mapping, community consent, teacher preparation, offline-first design, inclusive access, ethical data stewardship, public investment, and continuous local review. It further proposes a five-stage implementation pathway involving cultural mapping and governance, collaborative resource design, capacity building, low-cost pilot deployment, and participatory evaluation. The central position is that the success of technology-enhanced cultural preservation should be judged not by the sophistication of the devices used, but by whether children develop stronger cultural recognition, language participation, creativity, belonging, and continuity of learning.

Keywords: digital transformation; early childhood care and education; indigenous culture; inclusive education; community; resilient education

AI POWERED SMART DRUG DELIVERY SYSTEM

V Keerthana, Ameerah, Avinash
Dr. R Saravanan

Abstract:

AI-powered smart drug delivery systems represent an emerging approach in pharmaceutical technology that combines artificial intelligence, nanotechnology, biosensors, and advanced drug delivery platforms to achieve precise and personalized therapy. Conventional drug delivery systems may suffer from poor bioavailability, non-specific distribution, uncontrolled drug release, and dose-related adverse effects. The integration of artificial intelligence can address these limitations by analyzing patient-specific and formulation-related data to predict drug behavior, optimize formulation parameters, and regulate drug release. Machine learning and deep learning algorithms can assist in the design and optimization of nanocarriers such as liposomes, polymeric nanoparticles, micelles, and dendrimers. Smart delivery systems can also incorporate sensors and stimuli-responsive materials to detect physiological changes and provide controlled or targeted drug release. AI-based predictive models can support dose optimization, pharmacokinetic prediction, real-time monitoring, and personalized treatment strategies. Such systems have potential applications in cancer therapy, diabetes, cardiovascular diseases, neurological disorders, and other chronic conditions. The combination of AI with targeted and stimuli-responsive drug delivery may improve therapeutic efficacy while reducing systemic toxicity and improving patient adherence. However, challenges including data quality, biological variability, model interpretability, regulatory requirements, safety, and clinical validation must be addressed before widespread clinical implementation. Overall, AI-powered smart drug delivery systems offer a promising pathway toward precision medicine and patient-centered pharmacotherapy.

Keywords: Artificial Intelligence, Smart Drug Delivery System, Machine Learning, Deep Learning, Nanotechnology, Targeted Drug Delivery, Controlled Drug Release, Nanocarriers, Personalized Medicine, Precision Medicine.

FECAL MICROBIOTA TRANSPLANTATION FOR DECOLONIZATION OF MULTIDRUG-RESISTANT ORGANISMS:AN EMERGING STRATEGY AGAINST ANTIMICROBIAL RESISTANCE

SWETHA J PHARM D-V YEAR
Under the guidance of Dr. K. Bharathi Priya

ABSTRACT:

Antimicrobial resistance has traditionally been confronted with escalating pharmacologic force, yet the gut, which is a primary ecological reservoir of multidrug-resistant organisms (MDROs) has remained an underexploited therapeutic target. Conventional decolonization strategies largely antibiotic-driven often provide transient benefits while reinforcing resistance. This review explores the evolving role of Fecal Microbiota Transplant (FMT) as a therapeutic strategy for MDRO decolonization, synthesizing evidence from clinical trials, observational studies and mechanistic microbiome research. Comparative analyses highlight the limitations of traditional decolonization approaches and position FMT as a potentially paradigm-shifting alternative.

FMT, long established for recurrent Clostridioides difficile infection, is now being explored for its ability to restore colonization resistance and disrupt intestinal dominance of MDROs such as Carbapenem-resistant Enterobacteriaceae, extended-spectrum β-lactamase- producing organisms and Vancomycin-resistant Enterococcus. Emerging clinical evidence suggests that FMT can reduce MDRO carriage, lower resistome burden and potentially decrease infection recurrence by reconstituting microbial diversity and metabolic functionality. However, questions surrounding durability, safety, optimal patient selection and standardization continue to challenge widespread implementation.

This review synthesized current mechanistic insights and clinical evidence supporting FMT for MDRO decolonization, critically compares it with conventional strategies and examines key safety and durability considerations. This further explore future directions, including precision microbiome therapeutics, defined microbial consortia and integration with antimicrobial stewardship programs. By reframing MDRO decolonization through an ecological system, this article highlights how microbiome restoration may shift the paradigm from pathogen eradication to ecosystem rehabilitation. Understanding whether FMT represents a transitional solution or a cornerstone in the fight against antimicrobial resistance remains a pressing and provocative question for modern medicine.

Key Words: Fecal microbiota transplantation, multidrug-resistant organism, antimicrobial resistance, colonization resistance, antimicrobial stewardship.

CALCIUM AND MAGNESIUM STATUS OF PERIPARTUM DAIRY COWS: A COMPARATIVE ASSESSMENT OF SETIF AND MILA, EASTERN ALGERIA

Mohamed Sif Islam Cherif [1*,2], Soumeya Kaouche [2,3]

[1] Laboratoire de Technologies Douces, Valorisation, Physico-chimique des matériaux Biologiques et Biodiversité (Boumerdes, Algérie).

[2] Department of Agronomy, Faculty of Sciences, University M'Hamed Bougara (Boumerdes, Algérie).

[3] Laboratoire de Biologie et de physiologie Animales (Ecole Normale Supérieure, ENS, Kouba, Alger, Algérie).

Abstract

The peripartum period is characterized by important changes in mineral metabolism in dairy cows, particularly those involving calcium and magnesium. Disturbances in the homeostasis of these minerals may occur during the postpartum period and represent important metabolic concerns in dairy production. This study aimed to assess the calcium and magnesium status of peripartum dairy cows and to compare the occurrence of mineral imbalances between Sétif and Mila, Eastern Algeria.

A total of 42 postpartum dairy cows were investigated in Sétif and Mila. Blood samples were collected for the determination of serum calcium and magnesium concentrations. Calcium was measured using a colorimetric method, whereas magnesium was determined according to the conventional method described by Gindler and Heth (1971). Statistical analysis consisted of comparing serum calcium and magnesium concentrations between Sétif and Mila using Welch's t-test, and assessing the relationship between these two minerals using Pearson's correlation coefficient.

Serum calcium and magnesium concentrations showed a normal distribution in both Sétif and Mila (Shapiro–Wilk, $p > 0.05$). No significant differences were observed between the two regions for calcium (0.405 ± 0.044 vs. 0.395 ± 0.053 ; $p = 0.479$) or magnesium (0.155 ± 0.0515 vs. 0.168 ± 0.036 ; $p = 0.355$). However, a significant positive correlation was found between calcium and magnesium concentrations in both Sétif ($r = 0.446$, $p = 0.043$) and Mila ($r = 0.730$, $p < 0.001$), with a stronger association observed in Mila.

Although calcium and magnesium concentrations did not differ significantly between Sétif and Mila, significant positive correlations between these two minerals were observed in both regions, with a stronger association in Mila. These results highlight the potential value of considering calcium and magnesium status jointly when assessing mineral balance in dairy cows.

Keywords: Dairy cows; postpartum period; calcium; magnesium; Eastern Algeria.

GLOBAL PERSPECTIVES ON TERRORISM AND ITS IMPLICATIONS TO INTERNATIONAL RELATIONS

Danyaya Muhammad Shehu, PhD
Department of History and International Studies
Federal University Birni Kebbi, Kebbi State
danyayashehu8@gmail.com
Adamu Aminu
Department of History and International Studies
Federal University Birnin Kebbi, Kebbi State

Abstract

This paper examines the global phenomenon of terrorism and it far- reaching implications for international relations. It analyzes the complex factors driving terrorism, including political, economic, and social grievances, and explores the impact of terrorist activities on global security, diplomacy and cooperation. The paper also discusses the challenges and opportunities for international cooperation in combating terrorism, and argues that a comprehensive and collaborative approach is essential for addressing this persistent threat to global peace and stability. Using a qualitative research approach, this study reveals that despite efforts to combat terrorism, the global war on terror has had mixed results, with successes in disrupting terrorist networks but failures in addressing the root causes of terrorism. Ultimately, the paper highlights the need for a comprehensive approach that addresses the root causes of terrorism, promotes dialogue and understanding, and fosters international cooperation to mitigate the threat of terrorism globally.

Keywords: Terrorism, Global Security, International Relations, Diplomacy, International Cooperation, National Security

Introduction

Terrorism has a long-standing and persistent history that spans human existence, with its roots traceable to ancient civilizations. From the zealots of first-century Judea to modern extremist groups, terrorism has evolved in both its methods and motivations. In recent decades, it has become a complex and widespread threat to global peace and security, significantly influencing international relations and destabilizing nations. Transformative shifts from the 19th to the 21st century marked by societal changes, political upheavals, social revolutions, and technological advancements have fostered the rise of transnational terrorism. These developments are shaped by a confluence of ideological, economic, social, and cultural factors. Today, terrorism presents a formidable challenge to global governance, international cooperation, and security. This

paper argues that a comprehensive understanding of terrorism its evolution, causes, consequences, and responses is essential for the development of effective counter-terrorism strategies. By analyzing the intricate relationships between terrorism, global perspectives, and international relations, this paper seeks to offer a detailed view of the issue.

Conceptualizing Terrorism

The term terrorism is notoriously difficult to define and lacks a universally accepted definition. The variation in definitions arises from differing cultural, political, and regional contexts. For instance, the understanding of terrorism can vary significantly between Europe, the Arab world, and Asia. Terrorism is an anxiety-inspiring method of repeated violent action, employed by (semi-) clandestine individual, group or state actors, for idiosyncratic, criminal or political reasons (Alex, 2011). The United Nations characterizes terrorism as acts intended to cause death or serious harm to civilians or non-combatants, aimed at provoking fear in the public or compelling a government or organization to act or refrain from acting (UN,1999). The U.S. Department of State defines terrorism as politically motivated violence against non-combatants by sub-national groups intended to influence an audience (US, 2022). The European Union describes terrorism as acts committed intentionally by individuals or groups against persons or property to intimidate or coerce populations (EU, 2002). The FBI defines it as the unlawful use of force or violence against persons or property to intimidate or coerce for political or social objectives. Similarly, Bruce, (2006), sees terrorism as the ‘deliberate creation and exploitation of fear through violence or the threat of violence in the pursuit of political change.

Common themes across these definitions include the use of violence or threats, intimidation or coercion, and political, ideological, or religious motivations. Asia's definition of terrorism is diverse, shaped by the continent’s vast cultural, political, and legal differences. However, most definitions aligned with global standards, focusing on the use of violence for political purposes. The Middle East's definitions are influenced by the region's complex political and ideological struggles, often involving both international terrorism and regional conflicts. The Arab Convention on the Suppression of Terrorism, for example, defines terrorism as acts of violence targeting civilians or government functions with the aim of destabilizing the region or coercing governments into political change (Gerald, 2007).

Saudi Arabia defines terrorism as any act intended to disturb public order, harm public security, or damage the state's reputation, infrastructure, or economy, particularly targeting Islamic

extremist groups. Iran defines terrorism in terms of "foreign-backed" terrorism and separatist groups threatening national security. The U.S. also differentiates between domestic terrorism (e.g., white supremacist violence) and international terrorism (e.g., Al-Qaeda, and ISIS).

The European definition emphasizes violent acts meant to influence governments or intimidate civilians, often with a focus on organized extremism. The Asian definition varies widely but frequently highlights the protection of national integrity and sovereignty, often dealing with separatism or religious extremism. In the Middle East, terrorism is defined by geopolitical concerns, frequently framed as a means of destabilizing governments. In the Americas, terrorism is understood as politically motivated violence targeting civilians or governments, with particular attention to both domestic and international actors.

One prominent debate in the study of terrorism is the absence of a universally accepted definition. Scholars struggle to create a clear-cut definition that applies across contexts, cultures, legal systems, and political regimes. This subjectivity is central to the debate. Scholars disagree over which elements should be included in the definition of terrorism, with some emphasizing the role of violence, others focusing on motivation or intent. New forms of terrorism, such as cyber terrorism, bioterrorism, and lone-wolf terrorism, challenge traditional definitions and require scholars to reconsider how to define the phenomenon in light of evolving security threats.

Causes of Terrorism in International Relations

Terrorism is a multifaceted phenomenon, and its causes varied depending on historical, cultural, political, and socio-economic contexts. While there may be common underlying factors such as political grievances, ideological motivations, and social inequalities the specific causes and manifestations of terrorism differ significantly across regions. Below are several key factors contributing to terrorism, with a focus on their significance in different parts of the world?

Political Oppression and Authoritarianism

In regions like the Middle East and North Africa, terrorism is often linked to political oppression, authoritarian rule, and state repression. Groups such as ISIS, Al-Qaeda, and local insurgents often emerge in response to corrupt, authoritarian governments, the lack of political freedoms, and foreign interventions (Martha, 1995). The Arab Spring uprisings, for example,

were partly a reaction to state oppression. In some instances, the resulting power vacuum—such as in Libya and Syria—facilitated the rise of extremist groups.

Social Exclusion and Poverty

In Sub-Saharan Africa, terrorism is frequently fueled by poverty, weak state structures, ethnic divisions, and inadequate governance. Groups like Boko Haram in Nigeria and Al-Shabaab in Somalia exploit these conditions, recruiting from marginalized communities and targeting vulnerable populations. In such environments, terrorist organizations can thrive by offering ideological narratives that resonate with those suffering from economic disenfranchisement and social exclusion (Ganor, 2005).

Radicalization and Identity Crises

In Western countries, terrorism may emerge from social alienation, identity crises, and radicalization, often facilitated by online networks. Young people who feel disconnected from society may be drawn to extremist ideologies that offer a sense of purpose, belonging, and identity. This phenomenon is a particularly significant driver of homegrown terrorism in Europe and North America (Ganor, 2005).

Types of Terrorism

Terrorism manifests in various forms, each with distinct characteristics:

- **Domestic Terrorism:** Perpetrated by individuals or groups within a country against their own population, often motivated by political, social, or ideological beliefs.
- **International Terrorism:** Involves acts of terrorism carried out by groups operating across national borders, typically aimed at foreign governments, organizations, or citizens.
- **Religious Terrorism:** Driven by religious ideologies, where groups commit violent acts to promote or defend their faith, such as Islamist extremist groups like ISIS and Al-Qaeda.
- **Political Terrorism:** Aimed at achieving political goals through violence, involving both state and non-state actors.
- **Eco-Terrorism:** Focused on environmental issues, with groups using violence to protect the environment or advocate for animal rights.
- **Nationalist or Separatist Terrorism:** Driven by a desire for national independence or self-determination, often using violence to achieve autonomy or independence.

Global Perspectives on Terrorism

Global perspectives on terrorism varied widely, reflecting diverse cultural, regional, and political contexts. Understanding terrorism from a global perspective requires knowledge of its varied manifestations. Motivations for terrorism differ significantly across regions, influenced by local histories, cultures, and political environments. For example, the rise of ISIS in the Middle East can be attributed to a complex interplay of state failure, sectarian divisions, and foreign interventions related to the Israeli-Palestinian conflict (Russell, 2003). Conversely, in Western nations, homegrown terrorism often emerges from socio-economic disparities and radicalization processes linked to identity crises.

The advent of globalization has facilitated the spread of extremist ideologies, enabling transnational terrorist organizations to recruit and operate across borders. Social media platforms have become powerful tools for propaganda, allowing groups to reach potential recruits worldwide (David, 2005). As such, a global perspective on terrorism emphasizes the need for international cooperation to combat this borderless threat.

Implications of Terrorism for International Relations

Terrorism has profound implications for international relations, often undermining state authority and social cohesion, leading to regional instability. The conflict in Syria, for example, has resulted in a humanitarian crisis and the rise of extremist groups threatening global security. Terrorism also influences foreign policy, often leading to military interventions and a focus on security over diplomacy. The post-9/11 U.S. military campaigns exemplify this shift in priorities.

The global nature of terrorism has prompted nations to reevaluate their security frameworks, enhancing surveillance, intelligence gathering, and international cooperation. However, these measures raise concerns about civil liberties and human rights, creating tensions between security and democratic values.

Response to Terrorism in International Relations

Responses to terrorism have evolved over time, encompassing military interventions, intelligence sharing, and community-based initiatives. While traditional military responses aim to dismantle terrorist organizations, they often fail to address underlying causes. A more comprehensive approach includes community-based initiatives that address socio-economic grievances and promote social cohesion. Programs aimed at countering extremist narratives through education have proven effective in some contexts.

International cooperation is crucial in addressing the transnational nature of terrorism. Intelligence sharing, joint operations and diplomatic efforts are vital components of an effective counter-terrorism strategy.

Conclusion

This paper has demonstrated that terrorism poses a significant threat to global peace and stability, and that a coordinated international response is essential to combat it. The complex nature of terrorism requires a comprehensive approach that addresses its root causes, promotes global security, and fosters international cooperation. This paper concludes that terrorism is a complex and evolving phenomenon that requires a sustained and collective effort from the international community to address and mitigate its impacts. Through a comprehensive and collaborative approach, it is possible to reduce the threat of terrorism and promote a more peaceful and stable world.

Recommendations

i. **Enhanced International Cooperation**: Strengthen international cooperation and collaboration to share intelligence, best practices, and resources to combat terrorism. This can be achieved through existing frameworks such as the United Nations Counter-Terrorism Centre.

ii. **Addressing the Root Causes:** Addressing the root causes of terrorism, including poverty, inequality, and social injustice, through sustainable development programs and policies that promote economic growth, education, and social inclusion.

iii. **Improved Counter-Terrorism Strategies**: Develop and implement effective counter-terrorism strategies that combine military, law enforcement, and diplomatic efforts, while also respect human rights and the rule of law

iv. **Promoting Dialogue and Understanding:** promote dialogue and understanding between different cultures, religions, and communities to prevent the spread of extremist ideologies and to foster a culture of peace and tolerance.

v. **Capacity Building and Training:** provide capacity- building and training programs for law enforcement agencies, military personnel, and other stakeholders to enhance their skills and knowledge in preventing and responding to terrorist threats .

References

Alex, Schmid, P., (ed), (2011)‘’The Definition of Terrorism’’, *The Routledge Handbook of Terrorism Research* London, Routledge,

BBC News, (2023), "Hamas'', accessed October 15, 2023, https://www.bbc.com.
BBC News, (2023), "Tamil Tigers accessed October 15, 2023, https://www.bbc.com
Bruce, Hoffman, (2006), *Inside Terrorism,* New York, Columbia University Press
CNN, (2023), "U.S. Military Campaigns Post-9/11," accessed October 15, 2023, https://www.cnn.com.
Council on Foreign Relations, "Sunni-Shi'a Divide," accessed October 15, 2023, https://www.cfr.org.
Council on Foreign Relations, (2023), "Boko Haram," accessed October 15, 2023, https://www.cfr.org.
David, J. W. (2001), *The Terrorism Reader,* London, Routledge
ETA," BBC News, (2023), accessed October 15, 2023, https://www.bbc.com
Encyclopedia Britannica, (2023), "Irish Republican Army," accessed October 15, 2023, https://www.britannica.com.
European Union, (2002) "Framework Decision on Combating Terrorism," 2002, https://eur-lex.europa.eu.
FBI, "Homegrown Terrorism," (2023), accessed October 15, 2023, https://www.fbi.gov.
FBI, (2023), "Terrorism," accessed October 15, 2023, https://www.fbi.gov/investigate/terrorism.
Ganor, Boaz, (2005), *The Counterterrorism Puzzle : A Guide for Decision Makers,* New Brunswick, N.J. Transaction Publishers
Gerald, C. & Amoud Blin, (2007), *The History of Terrorism : From Antiquity to Al-Qaeda,* Bekeley University of California Press
International Crisis Group (2023) "Radicalization of Diaspora Communities,", accessed October 15, 2023, https://www.crisisgroup.org.
Martha, Crenshaw, (1995), *Terrorism In Context,* University Park, R.A. Pennsylvania State University Press
New York Times, "Rise of ISIS," accessed October 15, 2023, https://www.nytimes.com.
Russell, D. H., & Reid, L.S. (2003), *Terrorism and Counterterrorism: Understanding the New Security Environment,* Guilford, CT: McGraw-Hill
U.S. Department of State, "Al-Qaeda," accessed October 15, 2023, https://www.state.gov.
U.S. Department of State, (2022), "Country Reports on Terrorism," 2022, https://www.state.gov.
United Nations Development Programme, (2023) "Community-Based Initiatives,", accessed October 15, 2023, https://www.undp.org.
United Nations, (1999), "International Convention for the Suppression of the Financing of Terrorism," 1999, https://www.un.org.

SUSTAINABLE DESALINATION AND INNOVATIVE TECHNOLOGICAL SOLUTIONS TO CLIMATE CHANGE

Ayoub Ghailane, , Khadija El-Moustaqim, Jamal Mabrouki, and Younes Abrouki
Laboratory of Spectroscopy, Molecular Modelling, Materials, Nanomaterials, Water and Environment, CERN2D, Mohammed V University in Rabat, Faculty of Science, AV Ibn Battouta, Agdal, Rabat 10106, Morocco
Improvement and Valuation of Plant Resources, Faculty of Sciences, Ibn Tofaïl University-KENITRA-University Campus, Kenitra 14000, Morocco

Abstract :

Increased water stress, exacerbated by climate change, rainfall variability, and population growth, is putting increasing pressure on conventional water resources. In this context, desalination is emerging as a complementary solution to ensure water security, particularly in arid and semi-arid regions. However, traditional desalination processes remain associated with high energy consumption, significant operating costs, and notable environmental impacts, particularly in relation to greenhouse gas emissions and brine disposal management. Sustainable desalination concepts are based on the integration of innovative technological solutions that reduce these constraints while improving the overall efficiency of the systems. Recent advances include the hybridization of desalination units with renewable energy sources, process optimization using new-generation membranes, improved energy recovery devices, and the development of strategies for valorizing by-products in a circular economy approach. The adoption of these technologies contributes to a significant reduction in the environmental footprint of desalination plants, while strengthening their economic viability and resilience to the effects of climate change. Sustainable desalination thus appears to be an essential lever for integrated, efficient, and long-term water resource management.

Keywords: water resources, Sustainable desalination, climate change, renewable energy sources.

IMPACT OF TEACHERS' MOTIVATION ON THE JOB PERFORMANCE OF PRIMARY SCHOOL TEACHERS IN CHANCHAGA LOCAL GOVERNMENT AREA OF NIGER STATE, NIGERIA

AMINU GARBA (Ph.D)
ORCID ID: 0009-0005-6126-4928
kwalakota@gmail.com
DEPARTMENT OF COUNSELLING PSYCHOLOGY
FACULTY OF EDUCATION AND ARTS
IBRAHIM BADAMASI BABANGIDA UNIVERSITY, LAPAI, NIGER STATE, NIGERIA
MOHAMMED MUSA
ORCID- ID 000-0003-0127-6308
musanadaya@gmail.com
UMARU SANDA AHMADU COLLEGE OF EDUCATION, MINNA
SCHOOL OF EDUCATION
DEPARTMENT OF EDUCATIONAL PSYCHOLOGY
AHMED ABDULLAHI BARKUTA
ORCID ID: 0009-0001-0758-8279
barkuta01@gmail.com
UMARU SANDA AHMADU COLLEGE OF EDUCATION, MINNA NIGER STATE, NIGERIA
SCHOOL OF EDUCATION
DEPARTMENT OF EDUCATIONAL PSYCHOLOGY
ABDULRAHMAN JIMADA
Jimadaabdulrahman016@gmail.com
UMARU SANDA AHMADU COLLEGE OF EDUCATION, MINNA
SCHOOL OF EDUCATION
DEPARTMENT OF EDUCATIONAL PSYCHOLOGY

Abstract

This study investigated the impact of teachers' motivation on the job performance of primary school teachers in Chanchaga Local Government Area of Niger State. The study was guided by two objectives, and two corresponding hypotheses. A Correlation research design was adopted for the study. The population comprised 5,084 public primary school teachers in Chanchaga Local Government Area, as documented by the Chanchaga Local Government Education Authority (2026). A sample size of 220 teachers was determined using the Krejcie and Morgan (1970) sample size determination table and selected through a multi-stage sampling technique involving simple random and proportionate sampling procedures. Data were collected using a researcher-developed instrument titled Teachers' Motivation and Job Performance Questionnaire (TMJPQ). The instrument was subjected to face and content validity by experts in Educational Psychology, Measurement and Evaluation, and Guidance and Counselling, while its reliability was established through a pilot study using Cronbach's Alpha, yielding a reliability coefficient that met the acceptable benchmark of 0.70. Data

collected were analyzed using Mean and Standard Deviation to answer the research questions, while Pearson Product Moment Correlation (PPMC) was used to test the hypotheses at the 0.05 level of significance. The findings revealed that salary and financial incentives, promotion opportunities, professional development opportunities, and job security each had a significant positive influence on the job performance of primary school teachers. The study concluded that teachers' motivation is a major determinant of effective job performance in public primary schools. It was therefore recommended that government and educational stakeholders should improve teachers' welfare through adequate remuneration, regular promotion, continuous professional development programmes, and policies that guarantee job security in order to enhance teachers' productivity and improve the quality of primary education.

Keywords: Teachers' motivation, job performance, primary school teachers, Chanchaga Local Government

COUNSELLING FOR SKILLS ACQUISITION, ENTREPRENEURSHIP AND SELF-RELIANCE AMONG NIGERIAN YOUTHS: A CONCEPTUAL AND THEORETICAL ANALYSIS

MOHAMMED MUSA
ORCID- ID 000-0003-0127-6308
musanadaya@gmail.com
UMARU SANDA AHMADU COLLEGE OF EDUCATION, MINNA
SCHOOL OF EDUCATION
DEPARTMENT OF EDUCATIONAL PSYCHOLOGY
AMINU GARBA (Ph.D)
ORCID ID: 0009-0005-6126-4928
kwalakota@gmail.com
DEPARTMENT OF COUNSELLING PSYCHOLOGY FACULTY OF EDUCATION AND ARTS
IBRAHIM BADAMASI BABANGIDA UNIVERSITY, LAPAI, NIGER STATE,
NIGERIA
AHMED ABDULLAHI BARKUTA
ORCID ID: 0009-0001-0758-8279
barkuta01@gmail.com
UMARU SANDA AHMADU COLLEGE OF EDUCATION, MINNA NIGER STATE, NIGERIA
SCHOOL OF EDUCATION DEPARTMENT OF EDUCATIONAL PSYCHOLOGY
ABDULRAHMAN JIMADA
Jimadaabdulrahman016@gmail.com
UMARU SANDA AHMADU COLLEGE OF EDUCATION, MINNA
SCHOOL OF EDUCATION
DEPARTMENT OF EDUCATIONAL PSYCHOLOGY

Abstract

Youth unemployment in Nigeria is not just a statistic; it is a daily struggle for millions of young people trying to build a future. Official figures show that over half of those aged 15 to 34 are jobless, and many more are stuck in work that barely pays the bills. Despite government programmes like N-Power and NDE, the problem persists. Young graduates leave school with certificates that do not match what employers want, and most have never been encouraged to think of starting their own businesses. This paper argues that professional counselling, often overlooked, can make a real difference. Drawing on established theories of career choice, self-belief, and human potential, the paper explores how career guidance, group support, mentoring, and online counselling can help young Nigerians overcome fear, build confidence, and develop practical skills. Counselling can break the cycle of hopelessness by addressing both the inner fears, like the terror of failing, and the practical gaps, such as not knowing where to get funding or how to write a business plan. However, progress is blocked by a severe shortage of counsellors, weak funding, and the deep-seated belief that vocational work is inferior. This paper concludes that counselling must be woven into the fabric of youth policy, not treated as

an afterthought. It calls for more trained counsellors, better-funded skills centres, and a shift in how we educate young people from job-seekers to job-creators.

Keywords: Counselling, Skills Acquisition, Entrepreneurship, Self-Reliance, Youth Unemployment, Self-Efficacy

BINARY LOGISTIC ANALYSIS OF QUALITY OF LIFE AMONG SINGLE PARENTS IN LAGOS MAINLAND LOCAL GOVERNMENT AREA, YABA, LAGOS, NIGERIA

***Ayodeji, A. A[1].; Adesanya, C. O[1].; Oriloye, E. M[1].**
[1]Department of Statistics, Yaba College of Technology, Yaba Lagos, Nigeria
*Correspondence: kunle.ayodeji@yabatech.edu.ng Orcid ID: 0000-0001-7503-7674

ABSTRACT

Quality of Life (QoL) is a multidimensional concept that reflects the general well-being of individuals and communities. It goes beyond physical health to include emotional well-being, mental stability, social inclusion, economic security, access to essential services, and one's perception of their living environment. This study examined the predictors of quality of life among single parents in Lagos Mainland, using binary logistic regression analysis. The study adopted a cross-sectional survey design, and data were collected from 387 single parents using a standard questionnaire. Quality of life was assessed across physical, psychological, social, and environmental domains, and respondents were classified into good and poor quality of life categories. Descriptive statistics were used to assess quality of life levels, chi-square tests were applied to examine associations between socio-demographic variables and quality of life, while binary logistic regression was used to identify significant predictors. Findings showed that 63.3% of the respondents had good overall quality of life. The physical and social domains recorded higher levels of good quality of life compared to the psychological and environmental domains. Chi-square analysis revealed that monthly income and number of children were significantly associated with quality of life, while other socio-demographic variables showed no significant associations. Binary logistic regression results further identified income, and number of children as significant predictors of quality of life among single parents. The study concludes that economic capacity and family size are key determinants of quality of life among single parents. It therefore recommends targeted economic empowerment programmes, income support interventions, and family welfare services to improve the wellbeing of single parent households in Lagos Mainland Local Government Area, Yaba, Lagos.

Keywords: Quality of Life, Single Parent, Binary Logistic Regression, Socio-economic Status, Mental Health, Social Support, Urban Setting.

WHEN THE NIGHT NEVER GETS DARK: ARTIFICIAL LIGHT AND NOCTURNAL ANIMAL BEHAVIOR

Khansa Atique
Department of zoology, Government College University Faisalabad (GCUF), 38000, Faisalabad, Punjab, Pakistan

ABSTRACT

Natural darkness is an important component of the ecological environment, regulating the activity, feeding, reproduction, and predator-prey interactions of many nocturnal animals. However, increasing urbanization has introduced artificial light at night (ALAN) into environments that historically followed natural light-dark cycles. Although lighting provides important benefits for human societies, its ecological consequences are increasingly recognized as an environmental concern. This study reviews the effects of artificial light at night on nocturnal animal behavior, with particular attention to changes in activity patterns, foraging movements, reproduction, and interactions between species. Evidence from recent studies indicates that exposure to artificial light can alter the timing and intensity of animal activity and may modify ecological relationships within nocturnal communities. However, research remains unevenly distributed among animal groups, with several taxa and ecological settings receiving considerably less attention. The effects of different light intensities, spectral characteristics and lighting durations also remain insufficiently understood. Particular attention is therefore needed for less studied terrestrial fauna and for regions experiencing rapid urban development. Understanding these behavioral responses are important because changes in nocturnal activity may extend beyond individual animals and influence ecological interactions and biodiversity. The study highlights the need for further research on specific-specific responses and emphasizes the importance of wildlife-sensitive lighting strategies in urban environmental management.

Keywords: Artificial light at night (ALAN); Nocturnal animal behavior; Urbanization; Wildlife ecology; Behavioral ecology

ST. PETERSBURG STATE ELECTROTECHNICAL UNIVERSITY“LETI” NAMED AFTER V.I. ULYANOV (LENINE)

Akighirga Luter Richard
Department of Electrical Technology and Converter Engineering Master's Thesis
On Investigation of the Influence of High-Frequency Power Supply onto Power Quality

Abstract

This paper investigates the influence of various HFPS topologies — including switch-mode power supplies (SMPS), resonant converters, variable-frequency drives (VFDs), induction heating supplies, plasma power supplies, high-frequency uninterruptible power supplies (UPS), and electric vehicle (EV) charging systems — on the key parameters that define power quality at the point of common coupling (PCC). Operating at switching frequencies ranging from 2 kHz to several megahertz, these devices exhibit inherently non-linear current characteristics that generate a broad spectrum of electrical disturbances on the supply network.

The study systematically examines all major power quality parameters as defined by IEC 61000-4-30, IEEE 519-2014, and IEEE 1159-2019. Current and voltage harmonic distortion — particularly the injection of 3rd, 5th, and 7th harmonic components by single-phase SMPS rectifiers and the 5th and 7th harmonics from six-pulse VFD front-ends — are identified as the most pervasive effect, with total harmonic distortion (THD) levels reaching 30–80% without mitigation measures. Beyond the classical harmonic domain, HFPS switching noise populates the 2 kHz to 150 kHz supra-harmonic band, a growing concern addressed in IEC 61000-4-30 Annex D. Inter-harmonics generated by VFDs and induction heating supplies are shown to cause voltage flicker through beat-frequency amplitude modulation of the supply voltage in the 0.5–25 Hz perceptible range.

The paper further analyses the contribution of HFPS to voltage dips, arising from high inrush currents during simultaneous load energisation; voltage swells resulting from sudden HFPS load rejection; and transient overvoltages generated by the high dv/dt switching transitions of modern silicon carbide (SiC) and gallium nitride (GaN) semiconductor devices, with voltage edge rise times as short as 1–10 ns. Supply voltage unbalance caused by asymmetric single-phase HFPS distribution across three-phase networks, power factor degradation in SMPS without active power factor correction (APFC), and conducted electromagnetic interference (EMI) in the 150 kHz to 30 MHz range regulated by CISPR 32 are also characterised. Power frequency stability implications arising from the displacement of synchronous generation by power-electronic-interfaced loads are discussed.

Results show these mechanisms are interdependent: harmonic distortion excites capacitor-bank resonances; supra-harmonic beat frequencies produce flicker; and conducted EMI corrupts protection circuits. HFPS devices collectively represent a growing source of multi-parameter power quality degradation on distribution networks, requiring regulatory frameworks that address the full frequency spectrum of their emissions.

THE SCHOLARLY DISCOURSE ON MONOCLONAL ANTIBODY-BASED IMMUNOTHERAPY: GLOBAL SCIENTIFIC PERSPECTIVES, MOLECULAR MECHANISMS, THERAPEUTIC APPLICATIONS, CLINICAL INNOVATIONS, PRECISION MEDICINE, BIOENGINEERING, BIOMARKER DISCOVERY, IMMUNOLOGICAL TARGETING AND FUTURE DIRECTIONS

Nodar Sulashvili [1], Nana Gorgaslidze [2], Nato Alavidze [3], Marika Sulashvili [4], Lasha Tchelidze [5], Marina Giorgobiani [6], Ada (Adel) Tadevosyan [7], Lali Patsia [8], Igor Seniuk [9], Giorgi Pkhakadze [10], Vira Kravchenko [11], Magda Davitashvili [12], Olga Shapoval [13], Nino Abuladze [14], Ketevani Gabunia [15], David Aphkhazava [16]

1. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical and Pharmacological Sciences In Medicine, Professor of Faculty of Medicine at Georgian International University GIU; Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of Faculty of Medicine at BAU International University Batumi, Invited Professor/Lecturer of Scientific Research-Skills Center at Tbilisi State Medical University; Invited Lecturer of Clinical Pharmacology Department at Tbilisi State Medical University; Scientific Researcher, Best, Top Academic Scientist, Georgia, Europe, Worldwide; Associate Professor of Biochemistry and Pharmacology Direction of School of Health Sciences at The University of Georgia; Tbilisi, Georgia; Former Clinical Pharmacologist of London Lewisham University Hospital, London, England, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland; https://orcid.org/0000-0002-9005-8577 E-mail: n.sulashvili@ug.edu.ge
2. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Academician, Professor of Tbilisi State Medical University, Head of The Department of Social and Clinical Pharmacy, Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0002-4563-5224
3. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor of Akaki Tsereteli State University, Faculty of Medicine, Department of Pharmacy, Kutaisi, Georgia; Professor, Head of The Medical Doctor Degree Program of Faculty of Healthcare Sciences at East European University, Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0001-6695-5924
4. MD, Doctor of Family Medicine, Invited Lecturer of Tbilisi State Medical University, Lecturer of Department of Molecular and Medical Genetics, Invited Professor of Biochemistry and Molecular and Medical Genetics at The University of Georgia. Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0002-6338-4262
5. MD, PhD Candidate, Tbilisi State Medical University, Director of the Georgian Association of Allergology and Clinical Immunology, Tbilisi, Georgia.
6. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Academician, Professor of Tbilisi State Medical University, Faculty of Public Health; Department of Hygiene and Medical Ecology, Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0003-0686-5227
7. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Academician, Professor of Yerevan State Medical University, Academician and Full Member of the International Academy of Sciences of Ecology and Life Safety (MANEB), Academician of the Republic Armenia Law Academy, Member of the Association of Psychiatrists of Armenia, World Association of Psychiatrists, International Association for Traumatic Stress, World Association for Biological Psychiatry, International Association "Stress and Behavior", Licensed Psychiatrist, Psychotherapist, Public Health Organizer; Tbilisi-Georgia, Yerevan-Armenia, Los Angeles-USA;
8. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Doctor Cardiologist at Republican Hospital, Invited Professor of Tbilisi State Medical University, Professor of Ken Walker international University, Professor of International School of Medicine at Alte University, Professor of Faculty of Medicine at Sulkhan-Saba Orbeliani University, Tbilisi, Georgia.

9. PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Dean of faculty of Pharmacy at National University of Pharmacy of Ukraine, Associate Professor of Biological Chemistry Department at National University of Pharmacy, Kharkiv, Ukraine. https://orcid.org/0000-0003-3819-7333
10. MD, MPH, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the School of Public Health at David Tvildiani Medical University, Chair of Public Health Institute of Georgia (PHIG), Tbilisi, Georgia; Member of the United Nations Secretary General's Independent Accountability Panel, Geneva, Switzerland; President, Accreditation San Frontières, Paris, France, Lviv Ukraine. https://orcid.org/0000-0001-7609-4515
11. MD, PhD, Doctor of Biological Sciences, Academician, Professor, Head of The Biological Chemistry Department at National University of Pharmacy of Ukraine, Kharkiv, Ukraine. https://orcid.org/0000-0001-6335-2490
12. PhD, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician, Georgian Academy of Ecological Sciences, Program Coordinator of Quality Assurance Office at Iakob Gogebashvili Telavi State University (TeSaU), Telavi, Georgia. https://orcid.org/0009-0005-4213-6533
13. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor of Department of Pharmacology and Medical Prescription at Kharkiv State Medical University, Kharkiv, Ukraine; https://orcid.org/0000-0002-1971-2863
14. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Academician, Professor of Akaki Tsereteli State University, Faculty of Medicine, Department of Pharmacy, Kutaisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0003-2189-7470
15. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor of Akaki Tsereteli State University, Faculty of Medicine, Department of Pharmacy, Kutaisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0002-5857-6593;
16. PhD, Doctor of Biological Science, Professor of Biochemistry at The University of Georgia, Tbilisi, Georgia. Orcid: https://orcid.org/0000-0001-6216-6477

ABSTRACT

Monoclonal antibody-based immunotherapy has emerged as one of the most transformative paradigms in contemporary biomedical science, fundamentally reshaping the prevention, diagnosis, and treatment of numerous complex diseases. The progressive elucidation of immune-regulatory networks, molecular signaling pathways, disease-associated antigens, and tumor–host interactions has enabled the development of highly specific antibody therapeutics capable of modulating pathological processes with unprecedented precision. This scientific discourse provides a comprehensive perspective on the molecular mechanisms, therapeutic applications, clinical innovations, precision medicine approaches, bioengineering strategies, biomarker discovery, immunological targeting, and future directions associated with monoclonal antibody-based immunotherapy. Particular emphasis is placed on the evolution of antibody engineering from conventional murine and chimeric antibodies toward humanized, fully human, bispecific, multispecific, antibody–drug conjugate, Fc-engineered, and next-generation immune-modulating platforms. At the molecular level, monoclonal antibodies exert therapeutic effects through diverse mechanisms, including receptor blockade, ligand neutralization, agonistic stimulation, antibody-dependent cellular cytotoxicity, complement-dependent cytotoxicity, phagocytic activation, immune checkpoint inhibition, receptor internalization, and selective delivery of cytotoxic or immunomodulatory payloads. These mechanisms have expanded the therapeutic potential of monoclonal antibodies beyond oncology into autoimmune, inflammatory, infectious, hematological, cardiovascular, neurological, metabolic, and ophthalmological disorders. In cancer immunotherapy, antibodies directed against immune checkpoints and tumor-associated targets have substantially altered

therapeutic strategies by restoring antitumor immune surveillance, modifying the tumor microenvironment, and promoting durable immune-mediated responses. The integration of monoclonal antibody therapy with precision medicine represents a major advancement in individualized healthcare. Genomic profiling, transcriptomic analysis, proteomic characterization, molecular phenotyping, and biomarker-guided patient stratification increasingly facilitate the identification of individuals most likely to achieve therapeutic benefit. Predictive biomarkers, pharmacodynamic indicators, and immune signatures can support treatment selection, therapeutic monitoring, and optimization of clinical outcomes while reducing unnecessary exposure to ineffective interventions. Nevertheless, biomarker heterogeneity, acquired resistance, antigenic variation, immunological escape, and insufficient predictive accuracy remain significant challenges requiring continued translational investigation. Bioengineering has further accelerated the development of antibody therapeutics by enabling systematic modification of affinity, specificity, valency, half-life, tissue penetration, immunogenicity, and Fc-mediated effector functions. Advanced protein-engineering technologies, computational antibody design, structural biology, artificial intelligence-assisted discovery, and novel conjugation methodologies are contributing to increasingly sophisticated therapeutic platforms. Bispecific and multispecific antibodies, in particular, provide opportunities to simultaneously engage multiple molecular targets or redirect immune effector cells toward pathological tissues. Antibody–drug conjugates similarly demonstrate the potential of combining molecular specificity with potent pharmacological activity through selective intracellular delivery. Despite remarkable progress, monoclonal antibody-based immunotherapy remains associated with important clinical, biological, technological, and economic limitations. Infusion-related reactions, immunogenicity, cytokine-mediated toxicities, autoimmune complications, off-target effects, heterogeneous treatment responses, manufacturing complexity, high development costs, and unequal global access may restrict therapeutic implementation. Addressing these limitations requires multidisciplinary integration of immunology, molecular biology, pharmacology, biotechnology, bioinformatics, clinical medicine, regulatory science, and health economics.Future developments are expected to emphasize increasingly personalized, biomarker-driven, combination-based, and dynamically adaptive immunotherapeutic strategies. Artificial intelligence, systems immunology, single-cell technologies, spatial profiling, synthetic biology, and advanced antibody engineering may facilitate the identification of previously inaccessible therapeutic targets and accelerate the discovery of next-generation antibody modalities. Overall, monoclonal antibody-based immunotherapy represents a rapidly evolving cornerstone of precision medicine, with substantial potential to improve therapeutic efficacy, minimize toxicity, and expand disease-specific treatment options. Continued evidence-based translational research and multidisciplinary innovation will be essential for converting emerging molecular discoveries into safe, effective, accessible, and clinically sustainable immunotherapeutic interventions.

Keywords: Monoclonal Antibodies; Immunotherapy; Precision Medicine; Biomarker Discovery; Bioengineering.

INTRODUCTION

Monoclonal antibody-based immunotherapy has become one of the most consequential developments in modern biomedical science, representing a fundamental transition from

broadly acting pharmacological interventions toward molecularly targeted and immunologically informed therapeutics. The capacity to generate antibodies with defined antigen specificity has transformed the understanding and management of numerous pathological conditions, particularly malignant, autoimmune, inflammatory, hematological, infectious, and selected neurological diseases. Unlike conventional small-molecule medicines, which frequently influence multiple molecular pathways, monoclonal antibodies can be designed to recognize highly specific extracellular antigens, receptors, soluble mediators, or disease-associated molecular structures. This selectivity provides an important pharmacological foundation for precision medicine and has enabled the development of therapeutic interventions that directly manipulate disease-associated biological pathways while simultaneously engaging endogenous immune mechanisms.

The conceptual foundations of monoclonal antibody therapy emerged from advances in immunology, cellular biology, hybridoma technology, molecular genetics, and protein engineering. The development of hybridoma-based antibody production established the possibility of generating highly specific antibodies with consistent biological characteristics, subsequently enabling their investigation as diagnostic and therapeutic agents. Early therapeutic antibodies demonstrated both the potential and limitations of this approach, particularly regarding immunogenicity, inadequate pharmacokinetic properties, and restricted clinical utility. Progressive molecular engineering subsequently produced chimeric, humanized, and fully human antibodies with substantially improved tolerability and therapeutic applicability. These technological developments established antibody therapeutics as a major component of contemporary pharmacotherapy and created the scientific infrastructure for increasingly sophisticated immunotherapeutic platforms.

The pharmacological activity of monoclonal antibodies is determined by the molecular characteristics of their target, antibody structure, antigen-binding affinity, Fc-region interactions, tissue distribution, pharmacokinetic behavior, and capacity to influence immune effector mechanisms. Therapeutic antibodies may function through several complementary mechanisms, including receptor antagonism, ligand neutralization, receptor agonism, immune checkpoint inhibition, receptor internalization, antibody-dependent cellular cytotoxicity, antibody-dependent cellular phagocytosis, complement-dependent cytotoxicity, and targeted delivery of pharmacologically active molecules. The diversity of these mechanisms explains why monoclonal antibodies have become relevant across multiple therapeutic domains. Their activity may be directed toward pathological signaling pathways, inflammatory mediators, tumor-associated antigens, immune-regulatory receptors, infectious agents, or cellular populations responsible for disease progression.

Oncology has been particularly transformed by monoclonal antibody-based immunotherapy. Malignant cells interact dynamically with immune cells and the surrounding tumor microenvironment, frequently exploiting immune-regulatory pathways to evade immune surveillance. Therapeutic antibodies directed against immune checkpoints can interfere with inhibitory signaling and restore antitumor T-cell activity. Other antibodies directly recognize tumor-associated antigens or growth factor receptors, thereby inhibiting proliferative signaling, promoting immune-mediated elimination, or delivering cytotoxic payloads. Antibody–drug conjugates have further expanded this concept by coupling antigen recognition with highly potent pharmacological agents, permitting preferential delivery to antigen-expressing cells. Bispecific and multispecific antibodies represent another important development because they

can simultaneously recognize distinct molecular targets or facilitate interactions between immune effector cells and pathological cells.

Beyond oncology, monoclonal antibodies have become increasingly important in immune-mediated and inflammatory disorders. Selective inhibition of cytokines, cytokine receptors, cellular adhesion molecules, complement components, and other immunological mediators has produced major therapeutic advances in several chronic diseases. These approaches demonstrate the value of mechanistic immunology in identifying pathological pathways that can be therapeutically interrupted. The expansion of antibody therapeutics into different disease categories also illustrates the broader transition from symptom-oriented treatment toward mechanism-based pharmacotherapy. Nevertheless, therapeutic success depends upon appropriate target validation, patient selection, dosing strategies, pharmacokinetic characteristics, and continuous assessment of benefit–risk relationships.

The emergence of precision medicine has further strengthened the scientific rationale for monoclonal antibody therapy. Disease classification based solely on clinical phenotype is increasingly supplemented by molecular, genetic, immunological, and cellular information. Genomic sequencing, transcriptomics, proteomics, metabolomics, immunophenotyping, and advanced imaging can contribute to the identification of molecular subgroups with distinct therapeutic vulnerabilities. Biomarker discovery is therefore becoming an essential component of antibody development and clinical implementation. Predictive biomarkers may identify patients who are more likely to respond, whereas pharmacodynamic biomarkers can provide information regarding target engagement and biological activity. Conversely, biomarkers associated with treatment resistance may assist clinicians in modifying treatment strategies or selecting alternative therapeutic approaches.

However, the relationship between biomarkers and therapeutic response remains complex. Biological heterogeneity within and between patients can substantially influence antibody efficacy. Target expression may vary spatially and temporally, while tumor evolution, immune-cell composition, compensatory signaling, antigen loss, and alterations in the tumor microenvironment may contribute to primary or acquired resistance. Similar challenges occur in autoimmune and inflammatory diseases, where immune dysregulation is multifactorial rather than dependent on a single molecular pathway. Consequently, precision immunotherapy requires multidimensional characterization of disease biology rather than reliance on a single biomarker whenever possible.

Bioengineering has become an indispensable component of modern monoclonal antibody research. Contemporary antibody development increasingly incorporates structural biology, recombinant DNA technology, computational modeling, directed evolution, high-throughput screening, and artificial intelligence-assisted molecular design. These approaches allow investigators to modify antigen-binding affinity, specificity, valency, Fc-receptor interactions, serum half-life, tissue penetration, stability, and immunogenicity. Fc engineering can modify interactions with immune effector cells and complement proteins, thereby tailoring antibody-dependent mechanisms to specific therapeutic objectives. Modifications of antibody architecture can also influence pharmacokinetics and tissue distribution, creating opportunities to improve therapeutic exposure while limiting systemic toxicity.

The development of bispecific and multispecific antibodies represents a particularly important consequence of bioengineering innovation. Conventional monoclonal antibodies generally recognize one principal antigenic target, whereas multispecific formats can simultaneously interact with two or more molecular structures. This architecture may facilitate immune-cell

recruitment, simultaneous pathway inhibition, or coordinated modulation of multiple disease mechanisms. Such strategies are especially relevant in diseases characterized by complex molecular networks and adaptive therapeutic resistance. Similarly, antibody–drug conjugates combine the targeting specificity of antibodies with potent pharmacological payloads, creating a hybrid therapeutic modality that integrates principles of immunology, pharmacology, medicinal chemistry, and molecular engineering.

Despite substantial therapeutic progress, monoclonal antibody-based immunotherapy presents significant limitations. Treatment-related adverse effects may include infusion reactions, hypersensitivity phenomena, immunogenic responses, cytokine-mediated toxicities, immune-related adverse events, and organ-specific inflammatory complications. The pharmacological consequences of immune activation can differ considerably from those associated with conventional cytotoxic or small-molecule drugs, requiring specialized monitoring and clinical management. Furthermore, antibody pharmacokinetics may be influenced by target-mediated drug disposition, proteolytic catabolism, Fc-receptor interactions, disease-associated changes in protein metabolism, and antigen abundance. These factors complicate dose optimization and emphasize the importance of pharmacokinetic and pharmacodynamic integration during therapeutic development.

Economic and technological considerations are equally important. Monoclonal antibodies are structurally complex biological medicines requiring sophisticated manufacturing systems, stringent quality control, formulation development, and regulatory oversight. Production costs may remain high, potentially limiting accessibility in healthcare systems with constrained resources. Biosimilars provide an important strategy for expanding access and reducing healthcare expenditure, but their development requires rigorous analytical, pharmacological, and clinical comparability assessment. Consequently, the future development of antibody therapeutics must consider not only molecular efficacy but also manufacturing scalability, affordability, regulatory harmonization, and equitable access.

The integration of monoclonal antibodies with other therapeutic modalities is another rapidly expanding field. Combination strategies involving chemotherapy, targeted therapies, radiotherapy, cellular immunotherapy, vaccines, small-molecule inhibitors, and other immunomodulators may produce synergistic effects by simultaneously targeting complementary disease mechanisms. However, combination treatment can also increase toxicity and pharmacological complexity. Rational combination design therefore requires mechanistic understanding, biomarker-guided patient selection, appropriate sequencing, and rigorous evidence-based evaluation.

The contemporary antibody-development landscape is additionally being influenced by artificial intelligence, single-cell sequencing, spatial transcriptomics, systems immunology, and computational drug discovery. These technologies provide increasingly detailed information concerning cellular states, molecular interactions, immune landscapes, and disease evolution. Their integration with antibody engineering may accelerate target identification and enable the development of therapeutics tailored to specific molecular phenotypes. Artificial intelligence-assisted prediction of antigen–antibody interactions, protein structure, developability characteristics, and potential immunogenicity may further improve the efficiency of antibody discovery. Nevertheless, computational predictions require experimental validation and clinical translation before they can be incorporated into evidence-based therapeutic practice.

From a translational perspective, the continued advancement of monoclonal antibody immunotherapy requires close interaction among fundamental immunology, molecular medicine, pharmacology, biotechnology, bioinformatics, clinical research, regulatory science, and health economics. The discovery of a biologically relevant target does not automatically establish clinical therapeutic value. Target validation must be followed by antibody generation, optimization, preclinical characterization, toxicological evaluation, pharmacokinetic and pharmacodynamic assessment, clinical investigation, biomarker validation, and post-marketing pharmacovigilance. This multidisciplinary development pathway is essential for ensuring that molecular innovation translates into clinically meaningful improvements in patient outcomes.

Accordingly, monoclonal antibody-based immunotherapy should be regarded not simply as a class of biological medicines but as a dynamic technological and therapeutic platform. Its evolution reflects the convergence of molecular immunology, precision pharmacotherapy, bioengineering, biomarker science, computational biology, and clinical medicine. The continuing diversification of antibody formats and mechanisms is progressively expanding the range of diseases potentially amenable to targeted immunological intervention. At the same time, unresolved questions concerning resistance, safety, heterogeneity, cost, accessibility, and long-term therapeutic optimization remain central scientific priorities.

This scientific discourse therefore examines monoclonal antibody-based immunotherapy from an integrated contemporary perspective, emphasizing molecular mechanisms, therapeutic applications, clinical innovations, precision medicine, bioengineering, biomarker discovery, and immunological targeting. Particular attention is directed toward the translation of molecular discoveries into clinically applicable therapeutic strategies, the identification of determinants of treatment response and resistance, and the technological innovations shaping next-generation antibody medicines. Understanding these interconnected dimensions is essential for defining the future trajectory of monoclonal antibody therapeutics and for developing increasingly selective, effective, safe, and individualized immunotherapeutic interventions.

Monoclonal antibodies (mAbs) are an important therapeutic class with complex pharmacology and interdependent pharmacokinetic (PK) and pharmacodynamics (PD) properties. Understanding the PK and PD of mAbs and their biological and mechanistic underpinnings are crucial in enabling their design and selection, designing appropriate efficacy and toxicity studies, translating PK/PD parameters to humans, and optimizing dose and regimen to maximize success in the clinic. Significant progress has been made in this field however many critical questions still remain. This article gives a brief overview of the PK and PD of mAbs, factors that influence them, and areas of ongoing inquiry.

Aim of the research was to study and analyze the key issue aspects related of action and outlook of use monoclonal antibodies in miscellaneous immunotherapeutic directions. Monoclonal antibodies are increasingly becoming a standard part of clinical cancer treatment. Monoclonal antibodies are approved by the Food and Drug Administration for the treatment of cancer in the United States. Oncology nurses are expected to be familiar with these agents, their indications, and their adverse effects, to provide appropriate care and symptom management to patients receiving these agents, and to adequately educate patients and families about these treatments and their specific and overlapping side effects. Most monoclonal antibodies by themselves have little antitumor activity, even after binding to the target antigen. Some notable exceptions include monoclonal antibodies to HER2, EGFR, and CD20, which have remarkable activity against tumors expressing these antigens. However, despite scant antitumor activity of

monoclonal antibodies, their specificity for the target antigen makes them useful cancer therapeutic agents. Antitumor activity has been accomplished by conjugating antibodies with different effector molecules that accomplish cell death after antibody binding and internalization. Such effector molecules include cytotoxic agents, bacterial or plant protein toxins (immunotoxins), and radiopharmaceutical agents. Monoclonal antibodies targeting specific inflammatory cytokines are undoubtedly revolutionary drugs in many fields of medicine and have begun a new chapter in the treatment of severe and complex cases of immunological diseases. This is also the case in severe asthma, where have moved from demanding and aggravating oral steroid therapy to a targeted and personalized immunological approach. In asthma, the use of monoclonal antibodies has given many patients the chance to control their disease and significantly improve their quality of life. However, there is still a need to develop new therapies that will be effective in more complex and unusual cases, or where existing treatment has not been successful.

Monoclonal antibody (mAb) therapeutics are an important and rapidly growing class of therapeutic agents with over 470 molecules in the clinical pipeline and many more in earlier stages of drug development. Selecting the right mAb is a key determinant of its clinical success and depends on early understanding of its PK/PD and successfully translating it to humans. Compared to small molecules, biologics such as mAbs have unique characteristics that make their pharmaco- kinetics (PK) and pharmacodynamics (PD) quite complex. An integrated understanding of its PK/PD characteristics including exposure at the site of action, target occupancy and expression of functional pharmacological activity are important in improving its clinical success. The utility of translational PK/PD spans different phases of drug development and can contribute to target evaluation, design and selection of candidate molecule with optimal properties, and dose and regimen selection in preclinical and clinical studies Understanding PK/PD of mAbs and factors that impact them, are essential to achieve these translational goals. This review describes the PK and PD characteristics of mAbs, and translational PK/PD approaches to predict human PK/PD.

Monoclonal antibodies (mAb) are revolutionising the treatment of many different diseases. Given their differing mode of action compared to most conventional chemotherapeutics and small molecule inhibitors, they possess the potential to be independent of common modes of treatment resistance and can typically be combined readily with existing treatments without dose-limiting toxicity. However, treatments with mAb rarely result in cure and so a full understanding of how these reagents work and can be optimised is key for their subsequent improvement. Here we review how an understanding of the biology of the inhibitory Fc receptor, FcγRIIB (CD32B), is leading to the development of improved mAb treatments.

Molecular Targeting and Immunological Specificity

The therapeutic rationale for monoclonal antibodies is fundamentally dependent upon the identification and validation of molecular targets that participate directly in disease pathogenesis. Target selection requires comprehensive characterization of antigen expression, cellular localization, biological function, disease specificity, accessibility, and potential consequences of therapeutic modulation. An ideal target should demonstrate a clinically meaningful relationship with disease progression while providing sufficient selectivity to permit therapeutic intervention without unacceptable disruption of physiological processes. Advances in molecular pathology have considerably expanded the repertoire of potential

targets by revealing previously unrecognized receptors, signaling proteins, soluble mediators, differentiation antigens, and immune-regulatory molecules.

Antibody specificity is determined primarily by the interaction between the antigen-binding region and its cognate epitope. Epitope selection can substantially influence therapeutic activity because antibodies recognizing different regions of the same antigen may produce distinct biological effects. Binding may obstruct receptor–ligand interactions, induce conformational changes, promote receptor internalization, or facilitate immune effector functions. Consequently, antibody discovery is not merely a process of identifying antigen recognition but also of optimizing the functional consequences of molecular binding. Structural biology and computational modeling increasingly facilitate rational evaluation of epitope accessibility, affinity, conformational dynamics, and potential cross-reactivity.

The Fc region constitutes another critical determinant of antibody pharmacology. Interaction between Fc domains and Fc receptors expressed on natural killer cells, macrophages, neutrophils, and other immune populations can initiate cellular effector mechanisms. Complement activation may provide an additional pathway for target-cell elimination. Engineering of Fc domains therefore enables investigators to enhance or attenuate specific effector functions according to therapeutic objectives. In some clinical contexts, strong immune-cell recruitment is desirable, whereas in others excessive immune activation could increase toxicity. This functional adaptability illustrates how antibody engineering can transform naturally occurring immunological mechanisms into controllable pharmacotherapeutic processes.

Clinical Translation and Therapeutic Diversification

The clinical development of monoclonal antibodies has progressively moved from single-target interventions toward integrated therapeutic architectures. Conventional antibody therapy remains important, but contemporary development increasingly incorporates antibody–drug conjugates, bispecific antibodies, multispecific constructs, immunocytokines, radioimmunotherapeutic approaches, and other engineered formats. These modalities seek to overcome limitations associated with target heterogeneity, inadequate tissue penetration, therapeutic resistance, and insufficient intracellular activity. Their development reflects a broader trend toward combining biological recognition with precisely controlled pharmacological functions.

In hematological malignancies, antibody therapeutics have demonstrated the clinical value of targeting lineage-associated surface antigens and immune-regulatory structures. In solid tumors, however, the therapeutic environment is more complex because antibodies must operate within heterogeneous tissues characterized by variable vascularization, stromal barriers, immunosuppressive populations, and evolving antigen expression. Consequently, therapeutic efficacy may depend not only on target affinity but also on tissue penetration, receptor density, internalization kinetics, and the characteristics of the tumor microenvironment. These considerations have stimulated research into antibody formats and delivery strategies capable of improving intratumoral distribution and functional activity.

The application of monoclonal antibodies to non-malignant diseases further demonstrates the breadth of immunotherapeutic pharmacology. Targeted modulation of cytokine pathways, complement activation, cellular migration, and immune-cell differentiation has created new treatment possibilities for chronic inflammatory and autoimmune disorders. In infectious diseases, monoclonal antibodies can provide immediate passive immune protection or

neutralize specific pathogen-derived molecules. Their use in neurological and ophthalmological disorders has also expanded as researchers develop strategies for overcoming tissue barriers and targeting disease-associated proteins. Such diversification underscores the importance of disease-specific pharmacology in determining the optimal antibody architecture, dosing regimen, route of administration, and monitoring strategy.

Biomarker-Driven Precision Immunotherapy

Precision immunotherapy requires a continuous analytical relationship between molecular characterization and clinical decision-making. Biomarkers can assist with patient selection, prognosis, target identification, treatment monitoring, and prediction of resistance. Their utility depends upon analytical validity, clinical validity, reproducibility, and demonstrated capacity to improve therapeutic decision-making. A biomarker that merely correlates with disease status may have limited value unless it can meaningfully distinguish patients according to expected treatment benefit or risk.

The increasing use of multidimensional profiling has revealed that treatment response is often determined by interacting biological variables rather than by a single molecular feature. Immune-cell composition, antigen abundance, receptor signaling, genomic alterations, inflammatory signatures, metabolic characteristics, and tissue architecture may collectively influence therapeutic outcomes. Single-cell and spatial technologies are particularly valuable because they can resolve cellular heterogeneity that is obscured by conventional bulk analyses. Such approaches may ultimately support more refined patient stratification and facilitate the development of combination therapies designed around specific immune phenotypes.

Resistance remains one of the central obstacles to durable antibody-mediated therapeutic benefit. Mechanisms may include loss or downregulation of the target antigen, structural alteration of the target, activation of compensatory pathways, impaired immune-cell recruitment, immunosuppressive microenvironmental changes, and clonal selection under therapeutic pressure. Understanding resistance as an evolving biological process rather than a static clinical phenomenon is essential for developing adaptive treatment strategies. Serial biomarker assessment, longitudinal molecular profiling, and integration of pharmacodynamic information may therefore become increasingly important components of precision immunotherapy.

Pharmacological Optimization and Safety

Optimization of monoclonal antibody therapy requires integration of pharmacokinetic, pharmacodynamic, immunological, and clinical information. Unlike many small molecules, antibodies undergo complex disposition processes involving proteolytic degradation, Fc receptor-mediated recycling, target-mediated clearance, and disease-dependent alterations in distribution. Target abundance and accessibility may substantially influence systemic exposure and clearance. These characteristics require individualized consideration during dose selection and therapeutic development, particularly for antibodies with narrow therapeutic windows or highly variable target expression.

Safety assessment is similarly multidimensional. The biological mechanism responsible for therapeutic efficacy may also generate adverse immune effects if immune activation becomes excessive or is directed toward physiological tissues. Hypersensitivity reactions, infusion-associated events, cytokine-mediated toxicities, immune dysregulation, and organ-specific inflammatory complications require appropriate clinical recognition and pharmacovigilance.

Long-term surveillance is particularly important because some biological consequences may become evident only after prolonged exposure. Comprehensive safety monitoring should therefore extend from early clinical development through post-marketing use.

The increasing availability of biosimilars represents an important development in the pharmacoeconomics of antibody therapy. Biosimilar competition can potentially improve affordability and broaden access while maintaining rigorous standards of quality, efficacy, and safety. Nevertheless, the implementation of biosimilars requires careful regulatory evaluation, appropriate pharmacovigilance, and clear communication among clinicians, patients, pharmacists, and healthcare institutions. Equitable access to advanced biological medicines should remain an integral component of contemporary therapeutic innovation rather than a secondary consideration.

Future Scientific Trajectory

The future of monoclonal antibody-based immunotherapy is likely to be characterized by increasing convergence between immunology, protein engineering, artificial intelligence, systems biology, and precision pharmacology. Machine-learning approaches may accelerate the identification of novel targets, optimize antibody sequences, predict developability characteristics, and support the design of molecules with selected pharmacological properties. Integration of computational predictions with experimental validation could shorten development timelines while improving the efficiency of candidate selection.

Next-generation antibody therapeutics are also likely to emphasize conditional activation, tissue-selective activity, improved penetration of difficult anatomical compartments, and controlled engagement of immune effector mechanisms. Such strategies may reduce systemic toxicity while increasing pharmacological activity at the disease site. Combination approaches will probably become increasingly biomarker-guided, with treatment regimens selected according to the molecular and immunological architecture of individual diseases. Ultimately, the objective is to move beyond generalized immunomodulation toward highly selective, adaptive, and biologically informed therapeutic interventions.

The continuing development of monoclonal antibody-based immunotherapy represents a multidisciplinary scientific enterprise extending from molecular target discovery to global clinical implementation. Its long-term success will depend upon the ability to integrate mechanistic knowledge with robust clinical evidence, advanced manufacturing, predictive biomarkers, pharmacovigilance, health-economic evaluation, and equitable access. The convergence of these domains offers substantial potential for transforming antibody therapeutics from increasingly sophisticated biological medicines into genuinely individualized immunotherapeutic platforms capable of addressing complex and heterogeneous diseases.

Background

Monoclonal antibody (mAb)-based immunotherapy has emerged as one of the most consequential therapeutic developments in modern biomedical science, fundamentally transforming the management of malignancies, autoimmune disorders, inflammatory diseases, infectious diseases, hematological conditions, and selected neurological and metabolic disorders. Unlike conventional pharmacological agents that frequently exert broad and nonspecific biological effects, monoclonal antibodies are engineered to recognize defined molecular targets with high affinity and selectivity. This target-oriented characteristic has

enabled the development of therapies capable of modifying highly specific pathological pathways, eliminating selected cellular populations, restoring impaired immune functions, neutralizing soluble mediators, delivering cytotoxic payloads, and reshaping interactions between malignant or diseased cells and the immune system. The progressive evolution of antibody science from hybridoma technology to recombinant engineering, antibody-drug conjugates, bispecific antibodies, Fc-engineered molecules, immunocytokines, and other sophisticated biologics has established monoclonal antibody therapy as a central component of precision medicine.

The conceptual foundations of therapeutic antibody development can be traced to the recognition that the immune system possesses remarkable molecular specificity. Antibodies generated by B lymphocytes recognize antigens through variable regions containing complementary-determining regions that establish highly selective molecular interactions. The development of hybridoma technology provided a landmark methodological breakthrough by enabling the production of monoclonal populations of antibody-producing cells capable of generating antibodies with uniform specificity. Subsequent advances in recombinant DNA technology permitted the production of chimeric, humanized, and fully human antibodies, substantially reducing immunogenicity and improving their clinical applicability. Modern antibody discovery platforms now incorporate phage display, yeast display, transgenic animal systems, single-B-cell technologies, computational structural biology, artificial intelligence-assisted sequence optimization, and high-throughput screening. These developments have expanded the molecular diversity and therapeutic precision of antibody-based interventions.

The biological mechanisms underlying monoclonal antibody activity are highly diverse. Therapeutic antibodies may function by directly blocking receptor-ligand interactions, preventing activation of pathogenic signaling pathways, neutralizing circulating cytokines or growth factors, inducing apoptosis, activating complement-dependent cytotoxicity, or promoting antibody-dependent cellular cytotoxicity. Other antibodies act through antibody-dependent cellular phagocytosis, receptor internalization, immune-cell depletion, or modulation of immune-cell signaling. Consequently, the pharmacological activity of a monoclonal antibody cannot be understood solely in terms of target binding. Its therapeutic profile is determined by an integrated interaction between antigen recognition, epitope characteristics, antibody isotype, Fc-region structure, glycosylation, receptor engagement, tissue distribution, cellular context, and the functional state of the host immune system.

Cancer immunotherapy has been among the most influential areas of monoclonal antibody development. Malignant cells frequently exploit inhibitory immune pathways to evade immune surveillance, creating an immunosuppressive microenvironment that facilitates tumor progression. Immune checkpoint inhibitors targeting programmed cell death protein 1 (PD-1), programmed death-ligand 1 (PD-L1), and cytotoxic T-lymphocyte-associated antigen 4 (CTLA-4) demonstrated that therapeutic manipulation of immune regulatory pathways can restore antitumor immune activity. These therapies have altered treatment paradigms across multiple solid tumors and hematological malignancies. Their clinical efficacy, however, is heterogeneous, highlighting the importance of tumor biology, immune-cell composition, checkpoint expression, genomic characteristics, tumor mutational burden, microsatellite instability, and other biomarkers in predicting therapeutic response.

Monoclonal antibodies directed against tumor-associated antigens represent another major therapeutic strategy. Antibodies targeting molecules expressed on malignant cells can induce direct receptor blockade, cellular depletion, or immune-mediated destruction. In hematological

malignancies, antibodies directed against lineage-associated antigens have demonstrated the ability to selectively eliminate pathological B-cell or other immune-cell populations. In solid tumors, antibodies directed against receptor tyrosine kinases and growth factor receptors can interfere with proliferative and survival signaling. Such interventions demonstrate the pharmacological principle that pathological molecular dependencies can be converted into therapeutic vulnerabilities through selective antibody targeting.

The development of antibody-drug conjugates (ADCs) has further expanded the therapeutic potential of monoclonal antibodies. ADCs combine the molecular specificity of antibodies with highly potent cytotoxic payloads. The antibody component recognizes a disease-associated antigen, while the conjugated payload is delivered preferentially to target cells. Successful ADC development depends on multiple variables, including antigen density, internalization kinetics, linker stability, payload potency, drug-to-antibody ratio, intracellular trafficking, and bystander effects. Advances in linker chemistry and payload design have improved therapeutic indices and expanded the range of diseases potentially amenable to antibody-mediated drug delivery. ADCs therefore represent an important convergence of immunology, medicinal chemistry, molecular oncology, pharmacology, and bioengineering.

Bispecific antibodies have introduced another major dimension to antibody therapeutics. Conventional monoclonal antibodies generally recognize one antigenic target, whereas bispecific molecules can simultaneously engage two different antigens or epitopes. One particularly important strategy involves simultaneous binding of a tumor-associated antigen and an immune effector-cell receptor, thereby creating a molecular bridge between malignant cells and immune cells. This approach can facilitate T-cell activation and target-cell destruction independently of conventional antigen presentation mechanisms. Other bispecific formats simultaneously inhibit two signaling pathways or combine receptor blockade with immune modulation. The increasing structural diversity of bispecific antibodies reflects the expanding capacity of bioengineering to construct therapeutic molecules according to specific mechanistic objectives.

Fc engineering has similarly contributed to the evolution of antibody pharmacology. The Fc region mediates interactions with Fc receptors and complement proteins, thereby influencing antibody-dependent cellular cytotoxicity, phagocytosis, complement activation, pharmacokinetics, and tissue distribution. Modification of Fc glycosylation or amino-acid composition can enhance or diminish interactions with particular immune effector mechanisms. Such engineering allows therapeutic antibodies to be optimized according to their intended pharmacodynamic function. For example, antibodies designed to deplete pathogenic cells may benefit from enhanced engagement of immune effector mechanisms, whereas antibodies intended primarily to block signaling may require different Fc characteristics.

Monoclonal antibodies have also become central to the treatment of autoimmune and chronic inflammatory disorders. Dysregulated cytokine signaling, autoreactive lymphocytes, aberrant costimulatory pathways, and excessive inflammatory responses contribute to the pathophysiology of numerous immune-mediated diseases. Therapeutic antibodies targeting tumor necrosis factor, interleukin pathways, B-cell-associated molecules, T-cell activation pathways, and other inflammatory mediators have demonstrated substantial clinical benefits in appropriately selected patients. These treatments have contributed to a transition from nonspecific immunosuppression toward pathway-specific immunomodulation. Nevertheless, targeted immune inhibition can increase susceptibility to infection, alter immune surveillance,

and produce organ-specific or systemic adverse events, necessitating careful pharmacovigilance and patient monitoring.

The clinical development of monoclonal antibodies has consequently required an increasingly sophisticated understanding of pharmacokinetics and pharmacodynamics. Unlike many small-molecule drugs, monoclonal antibodies are large protein therapeutics whose absorption, distribution, metabolism, and elimination are strongly influenced by molecular size, target-mediated drug disposition, Fc receptor interactions, proteolytic catabolism, immunogenicity, and tissue permeability. The neonatal Fc receptor (FcRn), for example, contributes substantially to IgG recycling and systemic persistence. Target-mediated drug disposition may produce nonlinear pharmacokinetics when antibody binding to its target significantly influences clearance. These characteristics complicate dose optimization and require pharmacometric approaches capable of integrating concentration-response relationships, target engagement, and disease-specific biological parameters.

Immunogenicity represents another critical consideration in monoclonal antibody therapy. Although humanized and fully human antibodies can substantially reduce immune recognition compared with earlier murine molecules, anti-drug antibodies may still develop. Immunogenic responses can alter pharmacokinetics, reduce therapeutic exposure, interfere with target binding, or contribute to hypersensitivity reactions. The magnitude and clinical significance of immunogenicity depend on antibody sequence, aggregation, post-translational modifications, formulation, route of administration, treatment duration, patient-specific immune factors, and concomitant therapies. Consequently, contemporary antibody development incorporates extensive analytical characterization and immunogenicity assessment throughout preclinical and clinical development.

Precision medicine has increasingly become inseparable from monoclonal antibody therapeutics. The identification of molecular biomarkers allows clinicians to distinguish patients who are more likely to benefit from a particular targeted intervention from those in whom treatment is unlikely to produce meaningful effects. Biomarker strategies may involve protein expression, genomic alterations, immune-cell phenotypes, circulating biomarkers, soluble mediators, or composite molecular signatures. In oncology, companion diagnostic approaches have become particularly important for identifying target expression or pathway activation. However, biomarker interpretation remains complex because biological systems evolve during treatment, tumors develop clonal heterogeneity, and immune responses vary dynamically over time.

The emergence of resistance represents a major limitation of monoclonal antibody-based therapy. Primary resistance may occur when a target is absent, inadequately expressed, inaccessible, or biologically irrelevant to disease maintenance. Acquired resistance may develop through target mutation, antigen loss, pathway substitution, altered receptor trafficking, immune exhaustion, changes in the tumor microenvironment, or expansion of resistant cellular clones. In immune checkpoint therapy, resistance can additionally involve defects in antigen presentation, impaired interferon signaling, immune exclusion, suppressive myeloid populations, or alternative inhibitory pathways. Understanding resistance mechanisms has therefore become a major research priority and has stimulated combination strategies designed to target multiple biological vulnerabilities simultaneously.

The tumor microenvironment is particularly important in determining the efficacy of antibody-based cancer immunotherapy. Malignant tissues are complex ecosystems comprising cancer cells, T lymphocytes, B lymphocytes, natural killer cells, macrophages, dendritic cells,

fibroblasts, endothelial cells, extracellular matrix components, and soluble mediators. These components can either support or suppress immune-mediated tumor destruction. Antibody therapy may modify this ecosystem by changing immune-cell recruitment, cytokine production, antigen presentation, or cellular activation. Consequently, therapeutic efficacy increasingly depends not only on the molecular characteristics of the target cell but also on the spatial and functional organization of the surrounding microenvironment.

Biomarker discovery has therefore become an interdisciplinary field incorporating genomics, transcriptomics, proteomics, metabolomics, immunophenotyping, digital pathology, radiomics, and single-cell technologies. Single-cell sequencing has enabled detailed characterization of immune and malignant cell populations that would previously have been obscured by bulk tissue analysis. Spatial transcriptomics and multiplex imaging provide additional information regarding the anatomical organization of immune cells and molecular interactions within diseased tissues. These technologies may help identify predictive biomarkers, resistance mechanisms, and novel therapeutic targets. Integration of multidimensional datasets through computational biology and artificial intelligence may further accelerate the identification of clinically meaningful signatures.

Bioengineering has transformed antibody design beyond conventional target recognition. Modern protein engineering can modify affinity, specificity, valency, half-life, stability, tissue penetration, Fc receptor interactions, and immunological effector functions. Antibody fragments, single-chain variable fragments, nanobodies, engineered Fc domains, multispecific constructs, and conditionally active antibodies provide additional molecular architectures. Protease-activated antibodies, for example, may be designed to remain relatively inactive systemically but become activated within disease-associated microenvironments. Such approaches seek to improve therapeutic selectivity while reducing systemic toxicity.

The integration of antibody therapy with other treatment modalities has become another important area of investigation. Combination strategies may incorporate chemotherapy, radiotherapy, targeted kinase inhibitors, cellular therapies, vaccines, cytokine-based treatments, or other immunotherapeutic agents. Rational combination therapy seeks to exploit complementary mechanisms while overcoming biological resistance. However, combining immune-active agents can also increase toxicity, and therefore therapeutic development requires rigorous characterization of pharmacological interactions, dose relationships, patient selection, and treatment sequencing.

Beyond oncology and inflammatory diseases, monoclonal antibodies have increasingly demonstrated therapeutic relevance in infectious diseases, neurological disorders, cardiovascular conditions, and other areas. Antibodies may neutralize pathogens or toxins, prevent receptor engagement, modulate pathological protein aggregation, or influence specific disease-associated signaling pathways. The increasing diversification of indications demonstrates that antibody therapeutics are not confined to a single therapeutic domain but constitute a broad technological platform for targeted biological intervention.

Safety remains a central determinant of the clinical utility of monoclonal antibodies. Infusion-related reactions, hypersensitivity, cytokine-mediated toxicities, immune-mediated adverse events, infections, hematological abnormalities, organ-specific inflammatory reactions, and target-related physiological disturbances may occur depending on the molecular target and mechanism of action. Immune checkpoint inhibitors, for example, can cause immune-related adverse events involving endocrine, gastrointestinal, hepatic, dermatological, pulmonary, renal, neurological, or cardiovascular systems. Recognition of these toxicities requires

multidisciplinary clinical expertise, standardized monitoring, appropriate diagnostic assessment, and timely intervention.

Pharmacovigilance is therefore particularly important for biological medicines. Rare or delayed adverse events may not become evident during preauthorization clinical trials because of limited sample sizes and restricted treatment durations. Real-world evidence, post-marketing surveillance, electronic health records, patient registries, spontaneous reporting systems, and comparative effectiveness research can provide additional information concerning long-term safety and treatment effectiveness. Biosimilar monoclonal antibodies have further increased the importance of pharmacovigilance because systematic monitoring is necessary to maintain confidence in therapeutic equivalence, immunogenicity, and clinical performance.

The economic and health-system dimensions of monoclonal antibody therapy also require consideration. Biological medicines may involve substantial development, manufacturing, storage, administration, and monitoring costs. High treatment prices can create disparities in access, particularly in healthcare systems with constrained resources. Biosimilars offer opportunities to reduce expenditure and expand access while maintaining stringent quality, efficacy, and safety standards. Sustainable implementation of antibody-based therapies therefore requires not only scientific innovation but also health-economic evaluation, regulatory coordination, reimbursement strategies, and equitable healthcare policy.

Manufacturing complexity represents another important dimension of antibody therapeutics. Monoclonal antibodies are generally produced through mammalian cell culture systems and require highly controlled bioprocessing, purification, viral safety measures, formulation, and analytical characterization. Product quality depends on critical quality attributes such as aggregation, glycosylation patterns, charge variants, structural integrity, and biological activity. Advances in cell-line engineering, continuous manufacturing, process analytical technologies, and computational process optimization are improving production efficiency and consistency. These developments are particularly important as increasingly complex antibody formats enter clinical development.

Regulatory science has consequently become integral to antibody innovation. Regulatory authorities must evaluate structural characterization, manufacturing consistency, pharmacological activity, toxicology, immunogenicity, clinical efficacy, safety, and benefit-risk relationships. Novel antibody formats can create regulatory challenges because traditional analytical and clinical frameworks may not fully capture their biological complexity. Harmonization of international standards and development of advanced analytical methodologies are therefore important for facilitating safe and efficient translation of antibody innovations from laboratory research into clinical practice.

The future trajectory of monoclonal antibody-based immunotherapy is likely to be defined by increasingly precise integration of molecular targeting, systems immunology, bioengineering, computational science, and clinical medicine. Artificial intelligence may contribute to antibody sequence generation, structure prediction, epitope identification, affinity optimization, developability assessment, and patient-response prediction. Multi-omics technologies may enable increasingly sophisticated molecular classification of disease. Advances in protein engineering may generate antibodies capable of recognizing multiple targets, responding selectively to disease-associated environmental conditions, or delivering therapeutic payloads with unprecedented precision.

Monoclonal antibody-based immunotherapy should be regarded not simply as a class of biological medicines but as a continuously evolving technological and scientific platform. Its

development reflects the convergence of immunology, molecular biology, pharmacology, oncology, genetics, bioinformatics, structural biology, protein engineering, clinical medicine, and regulatory science. The central scientific challenge is increasingly shifting from whether antibodies can target disease-associated molecules toward how antibody architectures, biological mechanisms, patient characteristics, biomarkers, and treatment combinations can be optimized to achieve durable clinical benefit with maximal precision and minimal toxicity.
Within this broader scientific context, comprehensive evaluation of monoclonal antibody-based immunotherapy requires examination across multiple interconnected dimensions: molecular mechanisms of action, target and epitope biology, immune effector functions, pharmacokinetic and pharmacodynamic properties, therapeutic applications, bioengineering strategies, biomarker discovery, precision-medicine frameworks, mechanisms of resistance, clinical safety, pharmacovigilance, manufacturing, regulatory science, health economics, and future technological innovation. Such an integrated perspective is essential for understanding the current position of monoclonal antibodies in contemporary medicine and for identifying the scientific priorities that will determine the next generation of targeted immunotherapeutic interventions.

GOAL

The goal of this scientific review is to provide a comprehensive and critically integrated evaluation of monoclonal antibody-based immunotherapy, with particular emphasis on its molecular mechanisms, immunological targeting strategies, therapeutic applications, clinical innovations, precision-medicine approaches, bioengineering advances, biomarker discovery, pharmacological optimization, safety and pharmacovigilance, mechanisms of therapeutic resistance, and emerging future directions.

METHODOLOGY

The material of the article was the revised data from scientific publications, which were processed, analyzed, overviewed and reviewed by generalization and systematization. Research studies are based on a review/overview assessment of the development of critical visibility and overlook of the modern scientific literature. Use the following databases: (for extensive literature searches to identify the key issue aspects related of action and outlook of monoclonal antibody-based immunotherapy: molecular mechanisms, therapeutic applications, clinical innovations, precision medicine, bioengineering, biomarker discovery, immunological targeting, and future directions.) PubMed, Web of Science, Clinical key, Tomson Reuters, Google Scholar, Cochrane Library, and Elsevier Foundations.

RESULTS AND DISCUSSION

The synthesis of contemporary scientific evidence demonstrates that monoclonal antibody (mAb)-based immunotherapy has evolved from a relatively narrow strategy of selective antigen recognition into a sophisticated therapeutic platform encompassing immune modulation, molecular signaling interference, targeted cellular elimination, intracellular drug delivery, multispecific immune engagement, and precision-guided treatment. The major finding emerging from the literature is that the therapeutic value of monoclonal antibodies is determined not simply by their ability to bind a molecular target but by the coordinated interaction between target biology, antibody structure, immune effector mechanisms,

pharmacokinetic behavior, tissue distribution, patient-specific molecular characteristics, and the dynamic disease microenvironment. This multidimensional pharmacological framework explains both the remarkable clinical successes of antibody therapeutics and the substantial variability observed among individual patients.

The development trajectory of monoclonal antibodies illustrates a progressive transition from conventional target blockade toward increasingly programmable biological intervention. Early therapeutic antibodies were primarily designed to recognize a single antigen and inhibit or eliminate target cells. Contemporary molecules, in contrast, may incorporate modified Fc regions, multiple antigen-binding domains, cleavable linkers, cytotoxic payloads, conditional activation mechanisms, or engineered pharmacokinetic properties. This progression indicates that antibody therapeutics are increasingly functioning as bioengineered molecular systems rather than conventional biological drugs.

A particularly important result of this evolution is the convergence of immunology and precision pharmacology. Therapeutic antibodies can now be designed according to the biological function of their targets and the desired immune response. Molecules intended to eliminate malignant or pathogenic cells can be optimized for immune effector recruitment, whereas molecules intended to neutralize cytokines or block receptors may be engineered to minimize unnecessary immune activation. Therefore, antibody engineering increasingly represents a mechanism-driven discipline in which molecular structure is deliberately matched to therapeutic objective.

The analysis demonstrates that monoclonal antibodies exert their therapeutic effects through several major mechanisms: receptor or ligand neutralization, signaling inhibition, immune-cell depletion, Fc-mediated effector-cell activation, complement activation, receptor internalization, immune checkpoint modulation, and targeted delivery of therapeutic payloads. These mechanisms may occur independently or simultaneously, depending on the molecular architecture of the antibody and biological characteristics of the target.

Neutralization remains one of the fundamental mechanisms. An antibody can bind a ligand, receptor, toxin, viral protein, or other pathogenic mediator and prevent its interaction with a biological partner. In inflammatory diseases, blockade of cytokines or cytokine receptors can suppress pathological signaling cascades. In infectious diseases, neutralizing antibodies may prevent pathogen attachment or entry into host cells. In oncology, receptor blockade may interfere with proliferative signaling and reduce malignant-cell survival. The efficacy of neutralization therefore depends heavily on target accessibility, binding affinity, epitope location, target concentration, and the biological importance of the targeted pathway.

Receptor occupancy alone, however, does not necessarily predict clinical efficacy. A highly expressed receptor may not be a dominant driver of disease, while a less abundant target may represent a critical biological dependency. This distinction reinforces the importance of functional target validation. The most clinically successful antibodies generally target molecular pathways with demonstrated causal or therapeutically actionable relationships to disease biology.

Antibody-dependent cellular cytotoxicity (ADCC) and antibody-dependent cellular phagocytosis represent additional mechanisms by which antibodies transform antigen recognition into cellular immune activity. The Fab region provides antigen specificity, whereas the Fc region interacts with Fc receptors expressed on natural killer cells, macrophages, neutrophils, and other immune cells. This dual-function architecture enables therapeutic antibodies to act as molecular bridges between pathological cells and immune effector cells.

Consequently, antibody efficacy may depend on both antigen expression and the functional competence of the host immune system.

Complement-dependent cytotoxicity (CDC) represents another Fc-mediated mechanism. Antibody binding can facilitate complement activation and subsequent target-cell injury or lysis. The relative importance of CDC varies according to antibody subclass, epitope characteristics, antigen density, complement availability, and cellular context. This variability emphasizes that antibody mechanisms cannot be generalized across therapeutic products, even when their targets are biologically related.

The results further indicate that antibody activity should be conceptualized as a pharmacodynamic continuum rather than a single molecular event. Target binding initiates a sequence of molecular and cellular processes involving receptor occupancy, intracellular signaling, immune-cell recruitment, cytokine production, target-cell apoptosis or elimination, and tissue-level responses. Consequently, pharmacodynamic biomarkers that capture downstream biological activity may be more informative than measurements of circulating antibody concentration alone.

Immune checkpoint inhibitors have produced one of the most significant changes in contemporary cancer treatment. Their central principle differs from traditional cytotoxic therapy: rather than directly destroying malignant cells, checkpoint blockade can restore or amplify endogenous antitumor immune responses. Antibodies directed against CTLA-4, PD-1, and PD-L1 interfere with inhibitory pathways that regulate T-cell activation and exhaustion.

The scientific results indicate that checkpoint inhibition is particularly important because malignant cells can exploit physiological immune-regulatory mechanisms to avoid immune destruction. PD-1 signaling, for example, can suppress T-cell function following interaction with PD-L1 or PD-L2. Blocking this pathway may restore effector-cell activity within appropriate biological contexts. CTLA-4 inhibition acts at a different stage of immune regulation and can enhance T-cell priming and activation.

Clinical outcomes associated with checkpoint inhibition have demonstrated that durable responses are possible in a subset of patients. Nevertheless, response rates are highly heterogeneous. This heterogeneity constitutes an important finding because it demonstrates that immune checkpoint expression alone is insufficient to explain therapeutic benefit. The immune contexture of the tumor, antigenicity, genomic instability, T-cell infiltration, antigen presentation, interferon signaling, tumor heterogeneity, and immunosuppressive cellular populations all contribute to treatment response.

The results consequently support a transition from simplistic biomarker models toward multidimensional immunological profiling. A tumor should not be characterized merely as "checkpoint positive" or "checkpoint negative"; rather, its immune phenotype should be considered in relation to target expression, immune-cell infiltration, spatial organization, antigenicity, molecular alterations, and mechanisms of immune suppression.

Antibodies directed against tumor-associated antigens have established a distinct therapeutic paradigm in oncology. In hematological malignancies, the accessibility and relatively restricted distribution of lineage-associated antigens provide favorable conditions for antibody-mediated cellular depletion. Therapeutic antibodies can recruit natural killer cells and macrophages or activate complement to eliminate malignant populations.

The effectiveness of antigen-directed therapy depends on antigen density, accessibility, internalization, cellular expression patterns, and the capacity of the immune system to execute antibody-mediated killing. Antigen heterogeneity remains an important obstacle because

subpopulations of tumor cells with low or absent target expression may survive treatment and contribute to relapse.

In solid tumors, the situation is more complex. Physical barriers within the tumor microenvironment, heterogeneous antigen expression, abnormal vasculature, interstitial pressure, extracellular matrix density, and immunosuppressive immune populations can restrict antibody penetration and activity. Thus, the favorable pharmacology of systemic antibody exposure does not necessarily translate into homogeneous intratumoral distribution.

The discussion therefore supports the concept that successful antibody therapy requires integration of molecular targeting with tissue pharmacology. Antibody penetration, retention, internalization, and

Antibody-drug conjugates represent a major technological development because they combine selective antigen recognition with potent cytotoxic pharmacology. The analysis indicates that ADC efficacy depends on a series of interconnected steps: systemic stability, tumor accumulation, antigen recognition, internalization, intracellular processing, linker cleavage, payload release, and interaction with intracellular molecular targets.

The antibody component determines selectivity, whereas the payload determines much of the cytotoxic potential. The linker functions as a molecular control mechanism determining when and where the payload is released. Consequently, ADC development requires simultaneous optimization of antibody engineering, medicinal chemistry, pharmacokinetics, and cellular biology.

The drug-to-antibody ratio is particularly important. Increasing payload loading can enhance cytotoxic potency but may also influence aggregation, pharmacokinetics, stability, and tolerability. Therefore, maximum payload loading does not necessarily produce the optimal therapeutic index.

Another important finding is the significance of bystander effects. Some ADC payloads can diffuse from targeted cells into neighboring cells, potentially improving efficacy against heterogeneous tumors. However, this mechanism may also increase toxicity when target expression is present in nonmalignant tissues. ADC development therefore requires careful balancing of intracellular potency, membrane permeability, antigen specificity, and tissue distribution.

Bispecific antibodies have expanded the conceptual boundaries of monoclonal antibody therapy by enabling simultaneous recognition of two molecular targets. The most prominent therapeutic strategy involves redirecting immune effector cells toward malignant cells. By binding an antigen on the tumor cell and an activating receptor on an immune cell, a bispecific antibody can establish a functional immune synapse and promote target-cell destruction.

This mechanism represents a significant pharmacological innovation because it can partially overcome limitations associated with endogenous immune recognition. The therapeutic molecule itself provides physical proximity between effector and target cells. However, this enhanced immune activation may also increase the risk of cytokine-mediated toxicities.

The clinical development of bispecific antibodies therefore highlights a central principle of immunotherapy: increasing biological potency must be accompanied by improved control of immune activation. Dose escalation, step-up dosing, pharmacokinetic optimization, route of administration, and careful patient monitoring have become essential components of clinical development.

Multispecific formats may additionally inhibit multiple disease pathways or integrate immune activation with receptor blockade. Such molecules could theoretically reduce the need for

combination therapy by incorporating several mechanisms into a single therapeutic construct. Nevertheless, increased structural complexity can complicate manufacturing, analytical characterization, stability assessment, pharmacokinetic prediction, and regulatory evaluation.

The findings emphasize the importance of Fc engineering in determining the functional phenotype of therapeutic antibodies. The Fc region is not merely a structural component; it represents a pharmacological interface between the therapeutic molecule and the immune system. Modifying Fc glycosylation or amino-acid residues can alter interactions with Fcγ receptors and complement proteins.

Enhanced Fc receptor engagement may improve ADCC or phagocytosis for antibodies intended to eliminate target cells. Conversely, Fc functions may be attenuated when immune-cell activation is undesirable. This capacity enables therapeutic antibodies to be designed according to specific pharmacological requirements.

Fc engineering also influences antibody half-life through interactions involving FcRn. Optimization of these interactions can prolong systemic exposure and potentially reduce dosing frequency. However, extended half-life may not always be beneficial if prolonged exposure increases toxicity. Therefore, pharmacokinetic optimization must be evaluated within the context of the therapeutic window rather than as an independent objective.

One of the most significant findings across contemporary antibody research is that therapeutic success increasingly depends on patient selection. Precision medicine seeks to identify molecular and immunological characteristics associated with treatment response, resistance, or toxicity.

Predictive biomarkers may include target expression, genomic alterations, mutational signatures, immune-cell phenotypes, circulating proteins, cytokine profiles, and composite molecular signatures. In oncology, biomarkers can identify tumors with specific molecular vulnerabilities or immunological characteristics. In inflammatory disease, biomarkers may distinguish dominant cytokine pathways or immune-cell populations.

However, biomarker development remains challenging because biological systems are dynamic. Target expression may change during treatment, immune-cell populations may evolve, and tumors may undergo clonal selection. A biomarker measured at baseline may therefore become less informative during later treatment stages.

This observation supports longitudinal biomarker monitoring. Serial tissue analysis, circulating tumor DNA, circulating immune-cell profiling, proteomic measurements, and other minimally invasive approaches may allow clinicians to monitor biological changes during treatment. Such strategies could enable adaptive therapeutic decision-making and earlier detection of resistance.

The integration of genomics, transcriptomics, proteomics, metabolomics, epigenomics, and immunophenotyping has substantially expanded understanding of antibody response. Conventional bulk measurements can obscure cellular heterogeneity because molecular signals from distinct cell populations are averaged. Single-cell technologies address this limitation by resolving individual cellular states.

Single-cell analysis can identify tumor subpopulations, exhausted T-cell states, suppressive macrophage populations, regulatory immune cells, and resistant malignant clones. These findings are highly relevant to antibody therapy because therapeutic response may depend on interactions between multiple cellular compartments rather than a single target.

Spatial technologies add another dimension by determining where specific cell populations and molecular signals are located. Two tumors with similar cellular composition may exhibit

substantially different spatial organization, resulting in different immune interactions and therapeutic responses. Therefore, future biomarker development is likely to require both molecular identity and spatial context.

Resistance remains one of the principal limitations of antibody-based immunotherapy. The results indicate that resistance can occur through target-related, cellular, molecular, immunological, pharmacological, and microenvironmental mechanisms.

Target loss or mutation represents a direct mechanism. If malignant cells eliminate or modify the target recognized by the antibody, therapeutic effectiveness can decline. This is particularly relevant to antigen-directed therapies and ADCs.

Pathway redundancy represents another mechanism. Blocking one signaling pathway may create selective pressure favoring cells that rely on alternative survival mechanisms. Combination therapy can theoretically address this problem, but simultaneous inhibition of multiple pathways can increase toxicity.

Immune resistance may arise from inadequate antigen presentation, defects in interferon signaling, impaired T-cell recruitment, immune exhaustion, or expansion of immunosuppressive myeloid populations. Consequently, overcoming resistance may require strategies that modify the tumor microenvironment rather than simply increasing antibody dose.

The findings therefore support rational combination approaches. Combining checkpoint inhibitors with targeted antibodies, ADCs, chemotherapy, radiotherapy, cellular therapy, or other immune-modulating strategies may produce complementary effects. However, successful combination therapy requires mechanistic justification rather than indiscriminate accumulation of treatments.

Monoclonal antibodies possess distinctive pharmacokinetic characteristics. Their large molecular size limits passive diffusion across biological barriers and contributes to prolonged systemic persistence. Catabolism generally occurs through proteolytic pathways rather than conventional hepatic metabolism or renal filtration.

Target-mediated drug disposition can generate nonlinear pharmacokinetics when target binding significantly influences clearance. At low concentrations, high-affinity target binding may accelerate elimination, whereas saturation can result in more prolonged exposure. This phenomenon complicates dose prediction.

Pharmacodynamic assessment should therefore incorporate target engagement and biological response. Circulating antibody concentrations alone may not accurately represent tissue-level activity. Biomarkers of pathway inhibition, receptor occupancy, immune activation, or target-cell depletion may provide more meaningful information.

The results support model-informed drug development as an important strategy. Population pharmacokinetic modeling, exposure-response analysis, physiologically based modeling, and pharmacometric simulation can facilitate dose selection and treatment optimization. Such approaches may reduce unnecessary exposure and support individualized dosing.

Although modern antibodies are frequently humanized or fully human, immunogenicity remains clinically relevant. Patients may develop anti-drug antibodies that alter therapeutic exposure or interfere with biological activity.

The risk of immunogenicity depends on multiple variables, including molecular sequence, aggregation, impurities, post-translational modifications, formulation, route of administration, treatment duration, and patient immune status. The clinical consequences are similarly heterogeneous.

An important result is that immunogenicity should not be interpreted solely according to whether anti-drug antibodies are detected. The critical question is whether these antibodies are clinically consequential. Neutralizing antibodies may directly reduce efficacy, whereas non-neutralizing antibodies may have limited clinical effects. Persistent or high-titer responses may influence pharmacokinetics and safety more substantially than transient low-level responses.
Improved analytical assays and longitudinal monitoring are therefore necessary to distinguish clinically meaningful immunogenicity from immunological signals without major therapeutic consequences.
The therapeutic manipulation of the immune system inevitably introduces risks associated with excessive or inappropriate immune activation. The safety profile of each antibody depends strongly on its target and mechanism.
Checkpoint inhibitors illustrate this principle particularly clearly. By removing inhibitory immune signals, these agents may produce immune-related adverse events affecting multiple organ systems. Such events differ fundamentally from many conventional chemotherapy toxicities because they reflect immune-mediated tissue injury and may occur after treatment initiation or even following treatment discontinuation.
Bispecific antibodies can produce cytokine-mediated toxicities resulting from rapid immune-cell activation. These reactions demonstrate the need for controlled immune engagement and appropriate clinical monitoring.
Target-specific toxicities may also occur when the therapeutic target has physiological functions in healthy tissues. Thus, high target specificity does not necessarily guarantee absence of toxicity. A target may be disease-associated but still expressed in normal tissues or participate in essential physiological processes.
The results therefore reinforce the importance of integrated pharmacovigilance. Safety assessment must extend beyond conventional adverse-event frequencies to include mechanism-based toxicity surveillance, long-term follow-up, patient-reported outcomes, and real-world evidence.
Clinical trials provide essential evidence regarding efficacy and safety, but their populations may not fully represent routine clinical practice. Patients with multiple comorbidities, advanced age, concomitant medications, organ dysfunction, or unusual disease characteristics may be underrepresented.
Real-world evidence can therefore complement clinical trial findings by evaluating antibody effectiveness and safety across broader populations. Pharmacovigilance systems can identify rare adverse events, delayed toxicities, unexpected drug interactions, and population-specific safety signals.
The increasing use of biosimilars further emphasizes the need for effective surveillance. Biosimilars must demonstrate high similarity to reference products with no clinically meaningful differences in relevant parameters. Continuous monitoring remains important because broader clinical exposure may reveal uncommon immunogenicity or safety patterns.
The results demonstrate that bioengineering is becoming a principal driver of antibody innovation. Modern antibody development increasingly begins with a defined therapeutic function and then uses protein engineering to construct a molecule capable of performing that function.
Affinity optimization can improve target recognition, but excessively high affinity may sometimes reduce tissue penetration or alter target-mediated clearance. Therefore, optimal

antibody design involves balancing affinity, specificity, stability, pharmacokinetics, and tissue distribution.

Conditional antibodies represent an especially promising strategy. These molecules can be engineered to become activated preferentially within diseased tissues, potentially reducing systemic toxicity. Protease-sensitive activation, pH-dependent binding, and tumor-microenvironment-responsive designs represent examples of this broader concept.

Nanobodies and other small antibody-derived formats may provide improved tissue penetration and access to structurally restricted targets. Their smaller size can also facilitate certain delivery approaches, although reduced systemic half-life may require additional engineering.

Monoclonal antibodies are essential tools for many molecular immunology investigations. In particular, when used in combination with techniques such as epitope mapping and molecular modelling, monoclonal antibodies enable the antigenic profiling and visualization of macromolecular surfaces. In addition, monoclonal antibodies have become key components in a vast array of clinical laboratory diagnostic tests. Their wide application in detecting and identifying serum analytes, cell markers, and pathogenic agents has largely arisen through the exquisite specificity of these unique reagents. Furthermore, the continuous culture of hybridoma cells that produce these antibodies offers the potential of an unlimited supply of reagent. In essence, when compared with the rather limited supply of polyclonal antibody reagents, the feature of a continuous supply enables the standardization of both the reagent and the assay technique. Clearly, polyclonal and monoclonal antibodies have their advantages and disadvantages in terms of generation, cost, and overall applications. Ultimately, monoclonal antibodies are only produced when necessary because their production is time consuming and frustrating, although greatly rewarding (at least most of the time!). This is especially apparent when a monoclonal antibody can be applied successfully in a routine pathology laboratory or can aid in the clinical diagnosis and treatment of patients.

Monoclonal antibody-based treatment of cancer has been established as one of the most successful therapeutic strategies for both hematologic malignancies and solid tumors. In addition to targeting cancer antigens antibodies can also modulate immunological pathways that are critical to immune surveillance. Antibody therapy directed against several negative immunologic regulators (checkpoints) is demonstrating significant success in the past few years. Immune checkpoint inhibitors, ipilimumab, pembrolizumab and nivolumab, have shown significant clinical benefit in several malignancies and are already approved for advanced melanoma and squamous NSCLC. Based on their mechanism of action, these agents can exert toxicities that are unlike conventional cytotoxic chemotherapy, whose nature is close to autoimmune diseases - immune related adverse events (irAEs). In this review we focus on the spectrum of irAEs associated with immune checkpoint antibodies, discussing the pharmacological treatment strategy and possible clinical impact.

Monoclonal antibodies (mAbs) are a rapidly growing class of human therapeutics representing Cancer diseases are one of the major groups where monoclonal antibodies are used in clinical practice. There have been twelve antibodies that have received approval from the FDA for the treatment of a variety of solid tumors and hematological malignancies. In addition, there are a large number of additional therapeutic antibodies that are currently being tested in early- and late-stage clinical trials. The most common type of mAbs used to treat cancer are “naked mAbs”. Most naked mAbs attach to antigens on cancer cells, but some work by binding to antigens on other, non-cancerous cells, or even free-floating proteins. We can simplify three major mechanisms of actions of naked mAbs. One principle is boosting a person’s immune

response against cancer cells by attaching to them and acting as a marker for the body's immune system to destroy them. An example is alemtuzumab, which binds to the CD52 antigen on lymphocytes and is used to treat some patients with chronic lymphocytic leukemia (CLL). Another naked mAbs work mainly by attaching to and blocking antigens on cancer cells that help cancer cells grow or spread. For example, trastuzumab is an antibody against the HER2 protein.

Since then, monoclonal antibodies have entered almost every branch of biomedical research. Antibodies are now used as frontline therapeutics in highly divergent indications, ranging from autoimmune disease over allergic asthma to cancer. Wider accessibility and implementation of antibody-based therapeutics is however hindered by manufacturing challenges and high development costs inherent to protein-based drugs. For these reasons, alternative ways are being pursued to produce and deliver antibodies more cost-effectively without hampering safety. Over the past decade, messenger RNA (mRNA) based drugs have emerged as a highly appealing new class of biologics that can be used to encode any protein of interest directly in vivo. Whereas current clinical efforts to use mRNA as a drug are mainly situated at the level of prophylactic and therapeutic vaccination, three recent preclinical studies have addressed the feasibility of using mRNA to encode therapeutic antibodies directly in vivo. The highlight the potential of mRNA-based approaches to solve several of the issues associated with antibodies produced and delivered in protein format. Were identify key hurdles that mRNA-based approaches still need to take to fulfill this potential and ultimately replace the current protein antibody format.

Autoimmune diseases of the peripheral nervous system have so far been treated mainly with exogenous high-dose intravenous immunoglobulins (IVIg), that act through several mechanisms, including neutralization of pathogenic autoantibodies, modulation of lymphocyte activity, interference with antigen presentation, and interaction with Fc receptors, cytokines, and the complement system. Other therapeutic strategies have recently been developed, in part to address the increasing shortage of IVIg, prime among which is the use of B cell depleting monoclonal antibodies, or small molecule inhibitors targeting the B-cell specific kinases. Rituximab, a chimeric monoclonal antibody against CD20 + B lymphocytes, is currently the most used, especially in anti-MAG antibody neuropathy and autoimmune neuropathies with antibodies to nodal/paranodal antigens that are unresponsive to IVIg. After several reports of its efficacy in chronic inflammatory demyelinating polyradiculoneuropathy (CIDP), rituximab is currently under investigation in three Phase 2 trials in CIDP. In addition, the possible role of complement activation in the pathogenesis of chronic autoimmune neuropathies has brought into consideration drugs that can block the complement cascade, such as eculizumab, a monoclonal antibody already assessed in acute polyradiculoneuropathies, and approved for myasthenia gravis. Preliminary data on eculizumab in multifocal motor neuropathy have been published, but randomized controlled studies are pending. Moreover, the neonatal Fc receptor, that recycles IgGs by preventing their lysosome degradation, is an important and attractive pharmacological target. Antibodies against FcRn, which reduce circulating IgG (both pathogenic and non-pathogenic) have been developed. The FcRn blocker efgartigimod, a humanized IgG1-derived Fc fragment, which competitively inhibits the FcRn, has recently been approved for the treatment of myasthenia gravis and is currently under investigation in CIDP. In addition, the anti-human FcRn monoclonal antibody rozanolixizumab is currently being assessed in phase 2 trials in CIDP. However, none of the abovementioned monoclonal antibodies is currently approved for treatment of any immune-mediated neuropathies. While

more specific and individualized therapies are being developed, the possibility of combined treatments targeting different pathogenic mechanisms deserves consideration as well.

Monoclonal antibodies have recently gained interest in the treatment of immune-mediated neuropathies, particularly when there is evidence of underlying humoral pathogenetic mechanisms.

More data are available for the polyneuropathy with antibodies to myelin-associated glycoprotein (MAG), but increasing evidence is also emerging for other immune-mediated diseases of the peripheral nervous system, including chronic inflammatory demyelinating polyradiculoneuropathy (CIDP) and autoimmune neuropathies with antibodies to nodal and paranodal antigens.

Moreover, a potential pathogenic role of complement in chronic autoimmune neuropathies may open new therapeutic avenues with drugs inhibiting complement activation. Eculizumab, a recombinant humanized monoclonal antibody that binds and sequesters C5a, prevents its enzymatic cleavage by the C5 convertase into C5a and C5b, thus inhibiting C5b-9 membrane attack complex (MAC) formation. Eculizumab has already been approved in myasthenia gravis and is under investigation in acute polyradiculoneuropathies. A further potential therapeutic target in immune-mediated polyneuropathies is the neonatal Fc receptor (FcRn), known to facilitate IgG recycling and protection from degradation, thereby extending the half-life of IgG molecules. High-dose intravenous immunoglobulins (IVIg), currently used in several immune-mediated diseases, act through several mechanisms, including competition with pathogenic autoantibodies for FcRn binding, saturating the receptor and thus increasing IgGs turnover. Monoclonal antibodies against FcRn may be effective in reducing serum levels of pathogenic IgG autoantibodies without removing other circulating factors. The FcRn blocker efgartigimod has recently been approved by the U.S. Food and Drug Administration for the treatment of anti-acetylcholine receptor antibody positive myasthenia gravis and is currently under investigation.

However, even if they hold promise, none of the above-mentioned therapeutic monoclonal antibodies are currently approved for treatment of any of the immune-mediated neuropathies. Were reported on the currently used monoclonal antibodies in the treatment of chronic immune-mediated neuropathies, and present preliminary data on new potential therapeutic strategies.

Antibody-drug conjugates are monoclonal antibodies conjugated to cytotoxic agents. They use antibodies that are specific to tumour cell-surface proteins and, thus, have tumour specificity and potency not achievable with traditional drugs. Design of effective antibody-drug conjugates for cancer therapy requires selection of an appropriate target, a monoclonal antibody against the target, potent cytotoxic effector molecules, and conjugation of the monoclonal antibody to cytotoxic agents. Substantial advances in all these aspects in the past decade have resulted in regulatory approval of ado-trastuzumab emtansine and brentuximab vedotin for clinical use. Several promising antibody-drug conjugates are now in late-phase clinical testing. Ongoing efforts are focused on identifying better targets, more effective cytotoxic payloads, and further improvements in antibody-drug linker technology. Improved understanding of the mechanistic basis of antibody-drug conjugate activity will enable design of rational combination therapies with other agents, including immunotherapy.

Most monoclonal antibodies by themselves have little antitumour activity, even after binding to the target antigen. Some notable exceptions include monoclonal antibodies to HER2, EGFR, and CD20, which have remarkable activity against tumours expressing these antigens.

However, despite scant antitumour activity of monoclonal antibodies, their specificity for the target antigen makes them useful cancer therapeutic agents. Antitumour activity has been accomplished by conjugating antibodies with different effector molecules that accomplish cell death after antibody binding and internalisation. Such effector molecules include cytotoxic agents, bacterial or plant protein toxins (immunotoxins), and radiopharmaceutical agents.

New biologic therapies come in several basic forms, either growth factors and cytokines (such as erythropoietin, G-CSF, interferon, enzymes, factors that regulate coagulation) or, more commonly, monoclonal antibodies (mAbs) and related proteins such as 'traps' in which cytokine receptors are made soluble and fused with antibody constant regions. The latter group (mAbs and traps) have dramatically advanced the therapy of chronic inflammatory diseases and cancer. Were describes mAbs and relatives in different direction of therapeutics. The tumour necrosis factor (TNF)-blockers for autoimmune/inflammatory diseases are the most broadly deployed (with multiple products) and have engendered a revolution in therapeutic research/development, along with rather remarkable revenues. This therapeutic revolution is based on the synergy of three scientific disciplines: immunology, molecular biology and protein engineering.

Monoclonal antibody (mAb) therapies for treatment of patients with COVID-19 have been launched at an unprecedented pace by multiple companies, delivering clinically meaningful interventions since. Emergency-use authorization (EUA) has been granted by many countries in record-time allowing hundreds of thousands of patients to benefit. What was once an audacious goal and medical imperative to develop and deliver mAb therapies early in the pandemic has now come to pass.

This is an amazing achievement for the pharmaceutical industry and regulatory health authorities and speaks to the maturation and broad acceptance of mAbs as therapeutics. Without question, delivering these mAbs in record time was only made possible by the industry convergence on mAb platform processes and each company's existing manufacturing networks. This review will share experiences from our COVID-19 journey at Vir Biotechnology and GlaxoSmithKline to develop sotrovimab and other antiSARS-CoV-2 mAbs and include perspectives from other companies that have been shared publicly in nearly two years since the COVID-19 pandemic began. Were consider how will the experiences catalyze changes to the development of future mAb products. Informed by production history and approved of over 100 licensed mAbs. The implications chemistry, manufacturing, and control (CMC) development strategies for COVID-19 mAbs may have for development of future mAb products.

Patients with moderate-to-severe asthma may now be treated using a variety of monoclonal antibodies that target key inflammatory cytokines involved in disease pathogenesis. Existing clinical data on anti-IgE, anti-IL-5 and other immunological pathways indicate these therapies to offer reduced exacerbation rates, improved lung function, greater asthma control and better quality of life. However, as several patients still do not achieve satisfactory clinical response with the antibodies available, many more biologics, aiming different immunological pathways, are under evaluation. This review summarizes recent data on existing and potential monoclonal antibodies in asthma. Recent advances have resulted in the registration of a new antibody targeting (tezepelumab), with others being under development. Some of the researched monoclonal antibodies (e.g. anti-IL-13 tralokinumab and lebrikizumab or anti-IL-17A secukinumab) have shown optimistic results in preliminary research; however, these have been discontinued in asthma clinical research. In addition, as available monoclonal antibody

treatments have shown little benefit among patients with T_2-low asthma, research continues in this area, with several antibodies in development. This article summarizes the available pre-clinical and clinical data on new and emerging drugs for treating severe asthma, discusses discontinued treatments and outlines future directions in this area.

Lebrikizumab is humanized IgG4 monoclonal antibody targeting IL-13 that has been intensively studied in moderate-to-severe asthma. It has been evaluated in several phase II and phase III studies. In phase II studies it has demonstrated reduced exacerbation rates and improved FEV1 in patients with uncontrolled asthma, particularly among those with high periostin concentration or blood eosinophil count.

Brodalumab is a human, IgG2 monoclonal antibody targeting IL-17RA, which is currently registered for the treatment of psoriasis vulgaris, psoriatic arthritis, pustular psoriasis and psoriatic erythroderma. The drug was studied in a randomized, double-blind phase II study with 315 participants in four groups: placebo, brodalumab 140 mg, brodalumab 210 mg and brodalumab 280 mg. No clinically significant differences were observed between the groups in terms of ACQ score, FEV1, morning PEF, SABA use, daily and nighttime symptom scores or symptom-free days. A predefined subgroup analysis found that only the high bronchodilator reversibility subgroup demonstrated clinically significant benefits.

Anakinra is a human IL-1 receptor antagonist produced by recombinant DNA technology in an E. coli expression system. As the IL-1-regulated pathway is believed to play a significant role in asthma pathogenesis in both Th2/Th17-high and –low phenotypes, it has become an attractive therapeutic target. However, two recent clinical trials that were designed to assess the effectiveness of anakinra as a rescue treatment for airway inflammation in allergic asthma, either through early- or late-phase administration after allergen challenge.

Monoclonal antibodies targeting specific inflammatory cytokines are undoubtedly revolutionary drugs in many fields of medicine and have begun a new chapter in the treatment of severe and complex cases of immunological diseases. This is also the case in severe asthma, where have moved from demanding and aggravating oral steroid therapy to a targeted and personalized immunological approach. In asthma, the use of monoclonal antibodies has given many patients the chance to control their disease and significantly improve their quality of life. However, there is still a need to develop new therapies that will be effective in more complex and unusual cases, or where existing treatment has not been successful.

The monoclonal antibody (mAb) against CD20 known as Rituxan is widely used to treat autoimmune diseases and lymphomas. However, further application of Rituxan faces challenges of high production cost, which limits its availability in developing countries. The report a new approach for large production of a recombinant anti-CD20 mAb in the milk of transgenic cattle (at a yield of up to ~6.8 mg/mL), with recovery rate and purity. Crystallography study showed that our recombinant mAb is structurally nearly identical to Rituxan with only minor differences in N-linked glycosylation pattern. Functional study showed that, while our mAb shared similar target-cell binding capacities and complement-dependent cytotoxicity with Rituxan, our product exhibited a higher binding affinity for FcγRIIIα and a greater antibody-dependent cellular cytotoxicity. Accordingly, our recombinant mAb demonstrated a superior efficacy over Rituxan against B-cell lymphomas in severe combined immunodeficiency mice. Taken together, our data supports transgenic cattle as a novel model for cost-competitive, large-scale production of therapeutic antibodies.

Monoclonal antibodies (mAbs) comprise an essential type of biologic therapeutics and are used to treat diseases because of their anti-cancer and anti-inflammatory properties, and their ability

to protect against respiratory infections. Its production involves post-translational glycosylation, a biosynthetic process that conjugates glycans to proteins, which plays crucial roles in mAb bioactivities including effector functions and pharmacokinetics. These glycans are heterogeneous and have diverse chemical structures whose composition is sensitive to manufacturing conditions, rendering the understanding of how specific glycan structures affect mAb bioactivity challenging. There is a need to delineate the effects of specific glycans on mAb bioactivity to determine whether changes in certain glycosylation profiles (that can occur during manufacturing) will significantly affect product quality. Using enzymatic transglycosylation with chemically-defined N-glycans, were show that galactosylation at a specific location of N-glycans in an afucosylated anti-viral mAb is responsible for FcγRIIIA binding and antibody-dependent cell-mediated cytotoxicity (ADCC) activity. Were reported a facile method to obtain purified asymmetric mono-galactosylated biantennary complex N-glycans, and their influence on bioactivity upon incorporation into an afucosylated mAb. Using ELISA, surface plasmon resonance and flow cytometry, were show that galactosylation of the α6 antenna, but not the α3 antenna, consistently increases FcγRIIIA binding affinity. The confirm its relevance in an anti-viral model of respiratory syncytial virus (RSV) using an adapted ADCC reporter assay. Further correlate the structure-function relationship to the interaction of the galactose residue of the α6 antenna with the protein backbone using 2D-^{1}H-^{15}N-NMR, which showed that galactosylation of at this location exhibited chemical shift perturbations compared to glycoforms lacking this galactose residue. Our results highlight the importance of identifying and quantifying specific glycan isomers to ensure adequate quality control in batch-to-batch and biosimilar comparisons.

The targeting of a single pro-inflammatory cytokine, TNF, to treat a complex disease in rheumatoid arthritis (RA) where multiple pro-inflammatory cytokines were upregulated was based on work using human disease tissue. They analyzed cytokine production from joints and cytokine regulation in cultures of rheumatoid synovium in which the majority of the cells survived, producing the mediators generated in vivo. In these cultures, blocking TNF-α reduced the production of many other inflammatory cytokines (IL-1, IL-6, GM-CSF, IL-8 etc), thus defining a ‘TNF-dependent cytokine cascade’. The dramatic clinical success of TNF blockade, demonstrated first in late-stage RA then in earlier stage disease, also validated this concept. Noteworthy was the fact that tissue (bone and cartilage) damage was controlled. But also striking was the heterogeneity of the clinical response, with some individuals close to a cure and others virtually unimproved. The reasons for this are not yet clear, despite much work to try to elucidate the reasons. Genetic differences were an obvious possibility although never established, and recent clinical data demonstrating that non-responders may respond subsequently to anti-TNF has excluded it. Although anti-TNF in humans is relatively safe, more infections in patients occur, eg with intracellular organisms, especially tuberculosis. Many large patient registers have documented the long-term benefits of anti-TNF therapy, reduced some complications and maintained a favourable benefit/risk ratio.

Currently, anti-TNF is used in RA, Crohn's disease, ulcerative colitis, psoriasis, psoriatic arthritis, ankylosing spondylitis and juvenile RA; its use is now being explored in other indications. Anti-TNF antibodies are the most successful and widely used antibody-based therapeutic. It is noteworthy that if used together with methotrexate early in the course of RA, over 50% of patients can be taken off infliximab and remain virtually disease-free, even with reduced dosage of methotrexate, and some patients can be taken off all medication.

At present, therapeutic monoclonal antibodies are being used in haematological and solid malignancies including non-Hodgkin's lymphoma, breast cancer and colorectal cancer. The mechanism of their antitumour effect is not precisely known but is thought to include complement-dependent cytotoxicity, antibody-dependent cellular cytotoxicity and blocking or steric hindrance of the function of the target antigen. This review focuses on current use in oncology but lists some of the antibodies in clinical development.

Rituximab, a chimeric mAb to CD20, (an antigen in most B-cells although not plasma cells), was first to treat B-cell-driven cancers such as non-Hodgkin lymphoma. It was pioneered by Jo Edwards for RA and subsequently approved, but was not successful in systemic lupus erythematosus (SLE) trials. Anti-CD52 (alemtuzumab) is a first-generation humanised antibody, now used in multiple sclerosis. There are other antibodies approved, eg belimumab (also known as Benlysta) is an anti-BLys mAb approved for SLE, ustekinumab (also known as Stelara) is an antibody to the shared p40 subunit of IL-12 and IL-23 approved for psoriasis and psoriatic arthritis and potentially for Crohn's disease, and secukinamab (Cosentyx) is an anti-IL17A mAb approved for severe psoriasis and ankylosing spondylitis.

Modern mAb therapy of solid tumours was initiated by the humanised human epidermal growth factor receptor 2 (HER2) mAb trastuzumab. The science that laid the foundation for this breakthrough mAb also initiated personalised/biomarker driven drug discovery and treatment in oncology.

Trastuzumab, the first successful monoclonal anti-cancer antibody to be successful against solid tumours, is well tolerated in patients. The pathway leading to TNF-resistance of most tumour cell lines was unraveled by collaboration between the Shepard (Genentech) and Schreiber laboratories (Chicago), which revealed that macrophages kill tumor cells largely by secreting TNF. They hypothesised that if tumour resistance to macrophages could be reversed, the tumors would become sensitive to killing by host defense. Macrophage (or TNF)-resistant tumour cells implanted into syngeneic mice formed aggressive tumors, while their TNF-sensitive parental cells regressed.

Biologic therapies targeting B-cells are emerging as an effective strategy to treat a variety of immune-mediated diseases. One of the most studied B-cell-targeted therapies is rituximab, an anti-CD20 monoclonal antibody that exemplifies B-cell depletion therapy and has served as the prototype for other anti-CD20 monoclonal antibodies and the development of biosimilars. While there are multiple studies on the use of rituximab in dermatology, a comprehensive review of rituximab therapy in autoimmune skin conditions is lacking. In this literature review, were summarize indications, treatment efficacy, and safety of rituximab among common autoimmune diseases of the skin: pemphigus vulgaris, cutaneous lupus erythematous, dermatomyositis, systemic sclerosis, thyroid dermopathy, autoimmune pemphigoid diseases, and cutaneous vasculitis diseases. Existing data on rituximab support the approach of rituximab, biosimilars, and newer B-cell-targeting therapies in immune-mediated cutaneous diseases. Overall, rituximab, which targets CD20, provides an effective alternative or concomitant option to traditional immunosuppressants in the management of various autoimmune diseases of the skin. Further studies are necessary to expand the understanding and possible utility of B-cell-targeted therapies among autoimmune skin diseases.

Biologic therapies targeting B-cells are emerging as an effective strategy to treat a variety of immune-mediated diseases. One of the most studied B-cell-targeted therapies is rituximab, an anti-CD20 monoclonal antibody that exemplifies B-cell depletion therapy and has served as the prototype for other anti-CD20 monoclonal antibodies and the development of biosimilars.

While there are multiple studies on the use of rituximab in dermatology, a comprehensive review of rituximab therapy in autoimmune skin conditions is lacking. In this literature review, were summarize indications, treatment efficacy, and safety of rituximab among common autoimmune diseases of the skin: pemphigus vulgaris, cutaneous lupus erythematous, dermatomyositis, systemic sclerosis, thyroid dermopathy, autoimmune pemphigoid diseases, and cutaneous vasculitis diseases. Existing data on rituximab support the approach of rituximab, biosimilars, and newer B-cell-targeting therapies in immune-mediated cutaneous diseases. Overall, rituximab, which targets CD20, provides an effective alternative or concomitant option to traditional immunosuppressants in the management of various autoimmune diseases of the skin. Further studies are necessary to expand the understanding and possible utility of B-cell-targeted therapies among autoimmune skin diseases.

Monoclonal antibodies have become the main type of antibody drug because of their high specificity and strong affinity to antigen. However, with the intensive study of the natural monoclonal antibody, many defects have faced, such as the limit times of binding to antigen, the unanticipated antibody clearance and antigen accumulation. Therefore, studies are no longer limited to the natural antibody screening, but rather to improve the efficiency of antibody drugs by engineering. In recent years, the bottlenecks in the development of conventional antibody have been solved effectively since the discovery of a novel recycling antibody. Recycling antibody binds to an antigen in plasma and dissociates from the antigen in endosome, thus maximizing the use of antibody and reducing antigen-mediated antibody clearance and antibody-mediated antigen accumulation. In addition, recycling antibodies can enhance the affinity with Fc receptors through further Fc modification.

The mechanism of TNF-resistance of tumours needed to be widespread since most tumour cell lines were resistant. Sporn and Todaro's autocrine growth factor hypothesis of malignant transformation involving autocrine stimulation by transforming growth factors seemed plausible. Various growth factors were combined with TNF on TNF-sensitive tumour cell lines and growth factors that activated receptor tyrosine kinases converted TNF-sensitive tumour cells to TNF-resistant cells. Host defence was completely subverted and the growth inhibitor (TNF) even became a growth factor.

Much progress has been made during the last few decades in the treatment of malignancies. Many types of cancer cells comprising the tumor mass carry molecular markers that are not expressed or are expressed at much lower levels in normal cells. These findings provide new leads to drug design and development of therapeutic strategies involving monoclonal antibodies (mAbs) or related antibody drugs to treat malignancies. This article reviews recent advances in this targeting approach with a focus on the evolution and current use of prospective antibody drugs as effective ways to treat cancer.

Monoclonal antibody-based therapies bring the promise of increased response rates without excessive toxicity. The addition of rituximab to combination chemotherapy has shown encouraging results. Newer monoclonal antibody-based therapies linked to cytotoxic agents show promise. These include inotuzumab ozogamicin, an anti-CD22 antibody linked to calicheamicin that has produced significant single-agent responses in relapsed and refractory. Other monoclonal antibodies linked to plant or bacterial toxins are in earlier stages of development. Blinatumomab is a novel bispecific T-cell engaging antibody that combines single chain antibodies to CD19 and CD3 and brings a T cell in close proximity to a leukemic lymphoblast with resulting redirected lysis. This agent has demonstrated encouraging results in both the minimal residual disease setting and the relapsed/refractory setting. Autologous

chimeric antigen receptor cells have shown promising responses in indolent B-cell lymphoid malignancies and are being tested in ALL. Many of these agents have the potential to increase response rates in older adults. Trials of many of these monoclonal antibody-based therapies are in various stages of development in the treatment of newly diagnosed.

The term monoclonal antibody refers to a single specificity antibody derived from a single B cell clone and initially these were created by fusing B cells (from immunised mice) with lymphoma cells. In clinical practice, however, the administration of murine antibodies induces human antimouse antibodies that may lead to allergic reactions and reduced efficacy. These difficulties have been partially overcome by recombinant technology to develop less immunogenic monoclonal antibodies. Chimaeric antibodies contain only a murine variable fragment whereas humanised antibodies only have a murine complementarity determining region.

Immunotoxins are recombinant proteins consisting of an antibody or antibody fragment targeting the tumour antigen, linked to protein toxins such as diphtheria toxin or pseudomonas exotoxin A.1 Up to now, the only immunotoxin approved by the US Food and Drug Administration (FDA) is denileukin diftitox for treatment of CD25-positive cutaneous.Another immunotoxin, moxetumomab pasudotox, targeting CD22 has shown substantial activity in patients with hairy cell leukaemia and is now being assessed in a multicentre trial in patients with relapsed or refractory hairy cell leukaemia. In the case of solid tumours, immunotoxins have been less effective mainly because they induce an immune response restricting their activity. However, major tumour regressions were reported with an anti-mesothelin immunotoxin, in patients with treatmentrefractory mesothelioma when it was given in combination with pentostatin and cyclophosphamide.

Antibody–drug conjugates make use of antibodies that are specific to tumour cell-surface proteins6 and have tumor specificity and potency not achievable with traditional drugs. Although the idea of linking drugs to tumor-targeted antibodies was clear, development of therapeutic antibody–drug conjugates needed several technological advancements. Early antibody–drug conjugates were mouse monoclonal antibodies covalently linked to anticancer drugs such as doxorubicin, vinblastine, and methotrexate. These conjugates had little success in clinical trials because of immunogenicity, scant potency, suboptimum target selection, and insufficient selectivity for tumour versus normal tissue. The lessons from these early efforts led to improvements in technology and renewed interest in antibody–drug conjugates. Replacing murine antibodies with humanised or fully human antibodies prevented immunogenicity. Potency was improved by using drugs that were 100–1000 times more potent. Careful target and antibody selection improved selectivity and efficiency of internalization.

Ado-trastuzumab emtansine is an antibody–drug conjugate composed of trastuzumab and DM1, a maytansine derivative that is conjugated covalently to the antibody via a stable thioether linker.On binding to HER2, ado-trastuzumab emtansine undergoes receptormediated internalisation and subsequent proteolytic digestion, releasing the cytotoxic antimicrotubule agent within the target cells. Furthermore, it blocks HER2-mediated signal transduction, facilitates antibodydependent cell-mediated cytotoxicity, and inhibits shedding of the HER2 extracellular domain.43 Ado-trastuzumab emtansine was approved as a single agent for the treatment of patients with HER2-positive metastatic breast cancer who had previously received trastuzumab and a taxane, separately or in combination. The recom mended dose of ado-trastuzumab emtansine is 3·6 mg/kg, administered as an intravenous infusion every 3 weeks.

Infliximab may be maintained during and eight weeks after repeated doses. These clinical improvements were accompanied by considerable healing of endoscopic lesions, although healing with stricture formation remains a concern. Histological disease activity was also dramatically reduced, with a decrease in inflammatory cell infiltrate and downregulation of activation markers and adhesion molecules occurring after treatment.

Etanercept is another anti-TNF agent licensed and effective for the treatment of refractory RA. Etanercept is a recombinant IgG1 Fc fragment fused to two p75 TNF receptors, as opposed to a monoclonal antibody. Etanercept has also been used as monotherapy in early RA, where it has comparable efficacy to methotrexate alone.[15] It is given as a twice weekly subcutaneous injection.

Both Etanercept and Infliximab appear to reduce radiographical joint disease progression. The role of these biological agents in the treatment hierarchy still needs to be established, and currently they are likely to be used only for patients who have active disease despite previous use of at least two conventional disease modifying drugs. Etanercept has also been studied in psoriatic arthritis, where improvements in both joint pain and swelling and skin lesions have been demonstrated.

Rituximab is licensed for use in chemotherapy resistant advanced B cell follicular lymphoma. Most patients with low grade or follicular lymphoma relapse with current treatments. Rituximab is a mouse human chimaeric IgG1 antibody that recognises the transmembrane phosphoprotein CD20 expressed by B cells and their related lymphomas. An infusion of Rituximab dramatically reduces circulating B cell numbers, through antibody dependent cellular cytoxicity or apoptosis. Normal CD20 positive B cells are regenerated from early pre-B or stem cells (CD20 negative) in contradistinction to tumour cells, which have no equivalent counterpart.

The clinical benefits of monoclonal antibodies have been demonstrated, in particular, in patients with more severe disease, and often as an adjunct to standard treatments. In many instances, the regimens for these licensed monoclonal antibodies still need to be refined. The costs of monoclonal antibody treatment remain high but must be weighed against the potential gains in reducing disability, hospitalisation, and mortality.

While mAb has success as a monotherapy in some patients, treatment paradigms are trending towards employing them as combinations with chemotherapy, radiation, molecularly targeted drugs such as tyrosine kinase inhibitors, other antibodies against the same target, immune checkpoint inhibitors, vaccines, and/or cellular therapies. These many combination strategies are currently undergoing both preclinical investigation and clinical trials and this vast field is more exhaustively covered elsewhere. The cover combination therapies involving multiple monoclonal antibodies. It is now widely recognized that the mechanism of action of monoclonal antibodies includes an immune effector cell component. In particular, cetuximab efficacy has been partly attributed to ADCC, which can link innate and adaptive anti-tumor immune responses. Destruction of tumor cells via NK cell-mediated ADCC releases tumor cell specific proteins that when presented by antigen presenting cells to cytotoxic T cells leads to a more effective anti-tumor response. Head and neck squamous cell carcinoma (HNSCC) patients with durable responses to cetuximab have sustained anti-tumor specific immune responses. With the rise of immune checkpoint inhibitors that can further potentiate such immune responses, it is hypothesized that ICB may act in a synergistic manner with cetuximab. There is growing to support combining anti-PD-1/PD-L1 mAbs with cetuximab in HNSCC patients. Additionally, combinations of either pembrolizumab or avelumab with cetuximab are

currently in clinical trials. Likewise, the use of ICB in breast cancer in order to enhance anti-HER2 mAb therapies is a promising strategy. In fact, preclinical evidence suggests that resistance to trastuzumab monotherapy can be overcome by combination with ICB. Based on those results several clinical trials were formed to investigate the relationship between ICB and HER2-targeted mAbs. Preliminary results from the phase I/II PANACEA trial, which tested pembrolizumab combined with trastuzumab in treating breast cancer patients who overexpressed HER2, indicated synergy in the PD-L1+ patient subset.

Although there are many immune checkpoints of T-cell activation, each checkpoint has distinct mechanisms. Consequently, ICB combinations that target multiple checkpoints will enhance T cell responses in a synergistic manner. The combination of mAbs targeting CTLA-4 and PD-1 performed significantly better in preclinical mouse models than either antibody alone. Similarly, in metastatic melanoma patients combined therapy of ipilimumab and nivolumab was found to be more effective than either treatment used as a monotherapy. The FDA has since approved the combination of ipilimumab and nivolumab for melanoma. As the first ICB combination with FDA approval, ongoing clinical trials continue to evaluate ipilimumab plus nivolumab in other cancer types.

Anti-PD-1 mAbs are most often used in combinatorial strategies due to their more favorable toxicity profile in contrast to anti-CTLA-4 monoclonal antibodies. The immune checkpoints LAG3 and TIM3 are commonly found co-expressed with PD-1 on exhausted T cells. ICB of LAG3 combined with anti-PD-1 is undergoing clinical trial in glioblastoma and other cancers. There are similar clinical trials for the combination of anti-TIM3 and anti-PD-1 antibodies in liver cancer and several other solid tumors. Another promising combination strategy involves uniting ICB with agonistic antibodies that activate stimulatory receptors. 4-1BB is a costimulatory receptor found on T cells and NK cells and clinical trials that evaluate 4-1BB agonist antibodies in combination with anti-PD-1 mAb therapy are underway. An agonist antibody to the glucocorticoid-induced tumor necrosis factor receptor–related protein (GITR), which promotes T cell activation, also proved to be successful when combined with nivolumab. Additional mAb combinations that include agonist antibodies to OX40, which only becomes expressed on activated T cells, are the subject of multiple clinical trials.

Antibody therapy is effective for treating infectious diseases. Due to the coronavirus disease 2019 (COVID-19) pandemic and the rise of drug-resistant bacteria, rapid development of neutralizing monoclonal antibodies (mAbs) to treat infectious diseases is urgently needed. Using a therapeutic human mAb with the lowest immunogenicity is recommended, because chimera and humanized mAbs are occasionally immunogenic. In order to directly obtain naïve human mAbs, there are three methods: phage display, B cell receptor (BCR) cDNA sequencing of a single cell, and antibody-encoding gene and amino acid sequencing of immortalized cells using memory B cells, which are isolated from human peripheral blood mononuclear cells of healthy, vaccinated, infected, or recovered individuals. After screening against the antigen and performing neutralization assays, a human neutralizing mAb is constructed from the antibody-encoding DNA sequences of these memory B cells. This review describes examples of obtaining human neutralizing mAbs against various infectious diseases using these methods. However, a few of these mAbs have been approved for therapy. Therefore, antigen characterization and evaluation of neutralization activity in vitro and in vivo are indispensable for the development of therapeutic mAbs. These results will accelerate the development of antibody drug as therapeutic agents.

Two points in the strategy to develop therapeutic human neutralizing mAbs need to be considered. One is to thoroughly characterize the antigen. It is necessary to clarify which domain yields the mAb with the highest neutralization activity because mAbs acquired via highly antigenic antigens do not always have high neutralization activity. Moreover, obtaining mAbs against various epitopes is also important to enhance neutralization activity. In some cases, neutralization activity can be dramatically improved by making a cocktail containing multiple mAbs with different targets. When developing a cross-reactive neutralizing mAb, it is suitable to use an antigen containing a sequence that is conserved across different species not only in the primary structure but also in the tertiary structure. Another point is to evaluate the neutralization activity in vitro and in vivo. AED must always be considered when developing human mAb therapeutic agents.

Monoclonal antibodies have become a mainstay in the treatment of patients with relapsing multiple sclerosis (RMS) and provide some benefit to patients with primary progressive MS. They are highly precise by specifically targeting molecules displayed on cells involved in distinct immune mechanisms of MS pathophysiology. They not only differ in the target antigen they recognize but also by the mode of action that generates their therapeutic effect. Natalizumab, an integrin antagonist, works via binding to cell surface receptors, blocking the interaction with their ligands and, in that way, preventing the migration of leukocytes across the blood-brain barrier. On the other hand, the anti-CD52 monoclonal antibody alemtuzumab and the anti-CD20 monoclonal antibodies rituximab, ocrelizumab, ofatumumab, and ublituximab work via eliminating selected pathogenic cell populations. However, potential adverse effects may be serious and can necessitate treatment discontinuation. Most importantly, those are the risk for (opportunistic) infections, but also secondary autoimmune diseases or malignancies. Monoclonal antibodies also carry the risk of infusion/injection-related reactions, primarily in early phases of treatment. By careful patient selection and monitoring during therapy, the occurrence of these potentially serious adverse effects can be minimized. Monoclonal antibodies are characterized by a relatively long pharmacologic half-life and pharmacodynamic effects, which provides advantages such as permitting infrequent dosing, but also creates disadvantages regarding vaccination and family planning. This review presents an overview of currently available monoclonal antibodies for the treatment of RMS, including their mechanism of action, efficacy and safety profile. Furthermore, there are practical recommendations for risk management, vaccination, and family planning.

Antibody-based proteins have become an important class of biologic therapeutics, due in large part to the stability, specificity, and adaptability of the antibody framework. Indeed, antibodies not only have the inherent ability to bind both antigens and endogenous immune receptors but also have proven extremely amenable to protein engineering. Thus, several derivatives of the monoclonal antibody format, including bispecific antibodies, antibody-drug conjugates, and antibody fragments, have demonstrated efficacy for treating human disease, particularly in the fields of immunology and oncology. The considerations for the design of antibody-based therapeutics, including immunological context, therapeutic mechanisms, and engineering strategies. First, characteristics of antibodies are introduced, with emphasis on structural domains, functionally important receptors, isotypic and allotypic differences, and modifications such as glycosylation. Then, aspects of therapeutic antibody design are discussed, including identification of antigen-specific variable regions, choice of expression system, use of multispecific formats, and design of antibody derivatives based on fragmentation, oligomerization, or conjugation to other functional moieties. Finally, strategies

to enhance antibody function through protein engineering are reviewed while highlighting the impact of fundamental biophysical properties on protein developability.

Ofatumumab is a fully human anti-CD20 monoclonal antibody that can be self-administered by patients and is approved in several countries worldwide for the treatment of relapsing forms of multiple sclerosis (MS). In two identical phase III trials in adults with relapsing forms of MS, subcutaneous ofatumumab was more effective than oral teriflunomide in reducing the annualized relapse rate, as well as reducing MRI-detected lesion activity and limiting worsening of disability. Ofatumumab had a generally manageable tolerability profile; the most common adverse events (AEs) included nasopharyngitis, headache, upper respiratory tract infections and urinary tract infections. AEs of special interest (AESIs) included infections and injection-related reactions, which were generally manageable. There was no apparent association between changes in immunoglobulin G or M levels and the risk of serious infections after 3.5 years of ofatumumab treatment. Thus, ofatumumab is a convenient treatment option that is effective and has a generally manageable tolerability profile in adults with relapsing forms of MS.

` The development of effective monoclonal antibodies for the treatment of myeloma has been a long journey of clinical and drug development. Identification of the right target antigen was a critical part of the process. CD38 as a target has been considered for some time, but clinically, daratumumab, a CD38 monoclonal antibody, was the first to be tested, and it has delivered the best clinical responses as a single agent to date. Its proven safety and efficacy in combination with other antimyeloma agents have led to several US Food and Drug Administration approvals for treating myeloma. Furthermore, the results of early trials in the induction therapy setting have demonstrated a beneficial role when it is added to the existing induction regimens. This review summarizes the importance of CD38 as a target and examines the clinical development of the CD38 monoclonal antibody daratumumab and its clinical significance in combination regimens in both patients with relapsed/refractory myeloma and patients with newly diagnosed myeloma.

Anetumab ravtansine is an antibody–drug conjugate that targets the tumour differentiation antigen mesothelin. Mesothelin is highly expressed in several malignant diseases, including epitheloid mesotheliomas, pancreatic cancer, biliary adenocarcinomas, gastric and ovarian cancers, and non-small-cell lung cancer.59 Because expression of mesothelin in healthy human tissue is restricted to mesothelial cells lining the pleura, peritoneum, and pericardium, this target is attractive for antibody–drug conjugate therapy. Anetumab ravtansine is composed of the human anti-mesothelin monoclonal antibody BAY 86–1903 conjugated to the tubulin inhibitor DM4 by a disulphide linker. It binds to human mesothelin with high affinity and selectivity, thereby inducing efficient antigen internalisation. Findings of preclinical studies of anetumab ravtansine showed potent and selective killing of mesothelin-expressing tumours, with a correlation noted between the amount of mesothelin expression and antitumour activity. Moreover, anetumab ravtansine induced a bystander effect on neighbouring mesothelin-negative tumour cells. In the phase 1 clinical trial,60 which included tumour types with known high expression of mesothelin, the maximum tolerated dose was defined as 6·5 mg/kg, administered intravenously every 3 weeks. Doselimiting toxic effects were keratitis and neuropathy. Preliminary results suggest clinical activity, with partial responses reported in seven (18%) of 38 patients treated at the maximum tolerated dose.60 Phase 2 investigations are ongoing in mesothelin-expressing cancers (eg, NCT02610140). Inotuzumab ozogamicin is composed of an anti-CD22 monoclonal antibody attached covalently to calicheamicin, a

cytotoxic antibiotic.61,62 CD22 is a B-cell lineage-restricted type I transmembrane protein and a member of the SIGLEC (sialic acid-binding immuno globulin-like lectins) family of cell-surface receptors. CD22 interacts with diverse sialic acid-bearing molecules present on various cell types—eg, B cells and T cells, neutrophils, and monocytes—to regulate signal transduction of surface immunoglobulin receptors on B cells, B-cell migration, and maintenance of peripheral B-cell tolerance. CD22 is expressed in most B-lymphoid malignant diseases, including non-Hodgkin lymphoma, chronic lymphocytic leukaemia, and acute lymphocytic leukaemia. Inotuzumab ozogamicin has subnanomolar binding affinity and is internalised rapidly to deliver the calecheamicin payload intracellularly.

Monoclonal antibodies have become a part of daily preparation technologies in many laboratories. Attempts have been made to apply monoclonal antibodies to open a new train of thought for clinical treatments of autoimmune diseases, inflammatory diseases, cancer, and other immune-associated diseases. This paper is a prospective review to anticipate that monoclonal antibody application in the treatment of myocarditis, an inflammatory disease of the heart, could be a novel approach in the future. In order to better understand the current state of the art in monoclonal antibody techniques and advance applications in myocarditis. The developed a systematic elaboration of monoclonal antibodies, pathogenesis of myocarditis, and application of monoclonal antibodies in myocarditis. This paper presents review of the literature of some therapeutic aspects of monoclonal antibodies in myocarditis and dilated cardiomyopathy to demonstrate the advance of monoclonal antibody application in myocarditis and a strong anticipation that monoclonal antibody application may supply an effective therapeutic approach to relieve the severity of myocarditis in the future. Under conventional therapy, myocarditis is typically associated with congestive heart failure as a progressive outcome, indicating the need for alternative therapeutic strategies to improve long-term results. Reviewing some therapeutic aspects of monoclonal antibodies in myocarditis, were recently found that monoclonal antibodies with high purity and strong specificity can accurately act on target and achieve definite progress in the treatment of viral myocarditis in rat model and may meet the need above. However, several issues remain. The technology on how to make a higher homologous and weak immunogenic humanized or human source antibody and the treatment mechanism of monoclonal antibodies may provide solutions for these open issues. The further stimulate progress in the area of clinical decision support, must continue to develop and refine our understanding and use of monoclonal antibodies in myocarditis.

Monoclonal antibodies (mAb) are revolutionising the treatment of many different diseases. Given their differing mode of action compared to most conventional chemotherapeutics and small molecule inhibitors, they possess the potential to be independent of common modes of treatment resistance and can typically be combined readily with existing treatments without dose-limiting toxicity. However, treatments with mAb rarely result in cure and so a full understanding of how these reagents work and can be optimised is key for their subsequent improvement. Were review how an understanding of the biology of the inhibitory Fc receptor, FcγRIIB (CD32B), is leading to the development of improved mAb treatments. Based on pharmacokinetic parameters of monoclonal antibodies, there is a rationale for fixed dosing of these drugs in oncology. Therefore, the fixed dosing is justified and can improve efficiency of the compounding. A new trend has been taking place in the daily oncology practice in the past twenty years are progressively moving toward individualized and personalized treatments. The treatment of breast cancer is one of the best examples to underline the outstanding effectiveness of the individualized approach. The modern molecular pathology features are capable of

predicting the biological behavior of the tumors which gives a new basis for our therapeutic choices, both for neoadjuvant and adjuvant settings, as well as for metastatic disease. Were review the currently used monoclonal antibodies in the treatment of breast cancer and provide an overview of the new research and future directions in this field.

Monoclonal antibody-based immunotherapy is now considered to be a main component of cancer therapy, alongside surgery, radiation, and chemotherapy. Monoclonal antibodies possess a diverse set of clinically relevant mechanisms of action. In addition, antibodies can directly target tumor cells while simultaneously promoting the induction of long-lasting anti-tumor immune responses. The multifaceted properties of antibodies as a therapeutic platform have led to the development of new cancer treatment strategies that will have major impacts on cancer care. This review focuses on the known mechanisms of action, current clinical applications for the treatment of cancer, and mechanisms of resistance of monoclonal antibody therapy. The further discuss how monoclonal antibody-based strategies have moved towards enhancing anti-tumor immune responses by targeting immune cells instead of tumor antigens as well as some of the current combination therapies.

Artificial intelligence and computational biology are increasingly influencing antibody discovery and optimization. Machine-learning systems can analyze antibody sequence space, predict protein structure, identify candidate epitopes, estimate binding properties, and support developability assessment.

The major potential advantage is acceleration of candidate selection. Traditional antibody discovery can require extensive experimental screening. Computational approaches may reduce the number of candidates requiring laboratory evaluation by prioritizing sequences with favorable predicted properties.

However, computational predictions remain dependent on training data and experimental validation. Biological systems are highly complex, and predictions of affinity do not necessarily predict clinical efficacy. Consequently, artificial intelligence should be viewed as a complementary technology rather than a replacement for experimental immunology, pharmacology, toxicology, and clinical investigation.

The most promising future model is likely to involve iterative integration of computational prediction and experimental testing. Machine-learning systems can propose candidates, laboratory experiments can generate validation data, and those data can subsequently improve computational models.

The increasing complexity of antibody therapeutics creates substantial manufacturing challenges. Product quality is influenced by glycosylation, aggregation, charge heterogeneity, fragmentation, structural integrity, and other critical quality attributes. Even apparently minor changes in manufacturing conditions can influence biological activity or immunogenicity.

For conventional monoclonal antibodies, established analytical platforms provide increasingly comprehensive structural characterization. However, bispecific antibodies, ADCs, and other complex formats require additional analytical methodologies capable of assessing multiple functional domains simultaneously.

Regulatory science must therefore evolve alongside technological innovation. Novel molecular architectures require appropriate evaluation of structure, pharmacology, immunogenicity, manufacturing consistency, and clinical benefit-risk relationships. Harmonized international standards can facilitate development while maintaining patient safety.

Despite their clinical value, monoclonal antibody therapies can impose substantial economic burdens. High development costs, complex manufacturing processes, specialized administration requirements, and long-term treatment schedules may limit accessibility.

The emergence of biosimilars has created opportunities to improve affordability and expand access. Nevertheless, the economic impact of biosimilars depends on regulatory acceptance, physician confidence, procurement systems, reimbursement policies, and market competition.

A broader health-system perspective is therefore required. The value of antibody therapy should be assessed not only through drug acquisition costs but also through reductions in hospitalization, disease progression, disability, treatment complications, and healthcare utilization. Cost-effectiveness analysis can assist policymakers in determining sustainable allocation of limited healthcare resources.

Although oncology remains a major field of antibody innovation, the therapeutic scope of monoclonal antibodies extends considerably beyond cancer. In autoimmune and inflammatory disorders, antibodies can selectively inhibit cytokines or immune-cell populations. In infectious diseases, neutralizing antibodies can prevent pathogen entry or neutralize toxins. In neurological disorders, antibodies may target pathological proteins or receptors involved in disease progression.

These applications demonstrate the versatility of antibody therapeutics. The same fundamental principles—specific recognition, molecular blockade, immune modulation, or targeted delivery—can be adapted to diverse disease mechanisms.

However, the therapeutic environment differs substantially across disease categories. Tumor targeting often seeks immune activation and cellular destruction, whereas autoimmune therapy generally seeks selective immune suppression or modulation. Therefore, antibody engineering must remain mechanism-specific.

The combination of monoclonal antibodies with cellular therapies represents another major area of innovation. Antibodies can facilitate immune-cell activation, modify the tumor microenvironment, or provide complementary targeting mechanisms alongside engineered cellular therapies.

Combination strategies may also involve cancer vaccines, cytokines, checkpoint inhibitors, targeted therapies, radiotherapy, or conventional chemotherapy. The central scientific challenge is to identify combinations that produce biological synergy without proportionally increasing toxicity.

This requires detailed understanding of treatment sequencing. The order in which therapies are administered may influence antigen availability, immune-cell activation, tumor burden, and susceptibility to immune-mediated destruction. Consequently, future clinical trials should evaluate not only whether combinations work but also how timing and sequencing influence outcomes.

The overall results indicate that successful translation of monoclonal antibody discoveries into clinical practice requires multidisciplinary integration. Basic immunology identifies relevant biological mechanisms; molecular biology defines targets; structural biology characterizes epitopes; protein engineering optimizes molecular architecture; pharmacology establishes exposure-response relationships; biomarker science enables patient selection; clinical medicine evaluates therapeutic outcomes; and pharmacovigilance monitors long-term safety.

This multidisciplinary structure explains why no single scientific discipline can fully define the future of antibody-based immunotherapy. Progress depends on the interaction of multiple fields.

The transition from population-based treatment toward precision-guided antibody therapy is particularly significant. Instead of asking whether an antibody works on average, modern therapeutic development increasingly asks which patient, at which disease stage, with which molecular phenotype, will respond to which antibody architecture at which exposure and in combination with which complementary therapy.

The future of monoclonal antibody-based immunotherapy is likely to involve increasing molecular complexity accompanied by increasing therapeutic precision. Next-generation antibodies may combine multiple antigen-recognition domains, optimized Fc functions, conditional activation, targeted payload delivery, and individualized biomarker selection.

Artificial intelligence and multi-omics analysis may facilitate discovery of novel therapeutic targets and patient-specific response signatures. Single-cell and spatial technologies may clarify why apparently similar tumors or inflammatory diseases respond differently. Advanced bioengineering may generate antibodies capable of functioning selectively within pathological microenvironments.

An important future direction is the development of dynamic precision medicine. Instead of selecting therapy solely from baseline biomarkers, treatment could be continuously adapted according to evolving molecular and immunological characteristics. Serial liquid biopsies, circulating biomarkers, immune profiling, and imaging may allow clinicians to monitor therapeutic response and detect emerging resistance before clinical progression.

The future may therefore involve an iterative therapeutic model in which diagnosis, treatment, biomarker assessment, and molecular redesign become interconnected. Such a model would represent a substantial evolution beyond conventional fixed treatment protocols.

Taken together, the findings demonstrate that monoclonal antibody-based immunotherapy represents a mature yet rapidly expanding field situated at the intersection of molecular pharmacology, immunology, oncology, biotechnology, and precision medicine. Its principal strength is the ability to transform molecular specificity into clinically meaningful therapeutic activity. Its principal limitation is that biological specificity does not eliminate biological complexity.

Therapeutic success depends on target validation, adequate tissue exposure, appropriate immune effector function, favorable pharmacokinetics, limited immunogenicity, effective patient selection, and management of resistance and toxicity. Failure at any of these levels can compromise clinical benefit.

The increasing sophistication of antibody engineering has therefore shifted the central research question. The objective is no longer merely to produce antibodies with high affinity for disease-associated targets. Instead, the objective is to create therapeutics whose molecular architecture, pharmacokinetic profile, immune activity, tissue distribution, and biomarker strategy are collectively optimized for a specific pathological context.

This perspective also explains why precision medicine and antibody engineering must increasingly develop together. A highly engineered antibody cannot achieve its intended clinical potential if administered to patients lacking the relevant biological target. Conversely, a well-defined biomarker may have limited clinical utility if the therapeutic molecule cannot adequately engage the relevant pathway.

The integration of biomarker discovery, bioengineering, computational biology, pharmacometrics, and clinical medicine therefore represents the most important strategic direction for the field. Such integration may permit increasingly individualized therapeutic approaches while reducing ineffective exposure and unnecessary toxicity.

The synthesized evidence supports several overarching conclusions. First, monoclonal antibodies have become foundational components of contemporary targeted and immune-mediated therapy. Second, their mechanisms extend far beyond simple antigen recognition and include receptor blockade, immune-cell recruitment, complement activation, cellular depletion, checkpoint restoration, targeted intracellular delivery, and multispecific immune engagement. Third, advances in bioengineering have transformed antibody molecules into programmable therapeutic platforms capable of increasingly sophisticated biological functions.

The therapeutic response is strongly influenced by disease heterogeneity and patient-specific biological characteristics. Biomarker-guided treatment is therefore essential for maximizing therapeutic benefit. Fifth, resistance remains a major challenge and requires integrated approaches addressing target loss, pathway redundancy, immune dysfunction, and microenvironmental suppression. Sixth, safety and pharmacovigilance remain essential because immune manipulation can produce complex and sometimes delayed adverse events.

The future development of monoclonal antibody immunotherapy will depend on convergence among precision medicine, artificial intelligence, multi-omics, structural biology, protein engineering, advanced pharmacology, and clinical innovation. The most important future objective is not simply the creation of more antibodies, but the development of increasingly intelligent therapeutic systems capable of identifying, targeting, monitoring, and adapting to the molecular characteristics of individual diseases.

Monoclonal antibody-based immunotherapy represents a paradigmatic shift from nonspecific pharmacological intervention toward molecularly defined, immune-integrated, and increasingly individualized treatment. Its continued development is expected to broaden the therapeutic range of biologics, improve patient stratification, enhance treatment efficacy, reduce avoidable toxicity, and provide new strategies for diseases that remain inadequately controlled by conventional therapeutic approaches.

The broader interpretation of these findings indicates that the clinical performance of monoclonal antibodies is inseparable from the biological architecture of the diseases being treated. Disease processes are rarely controlled by a single molecular pathway; instead, they emerge from interconnected signaling networks, cellular interactions, tissue-level adaptations, and host responses. Consequently, the therapeutic effect of an antibody directed against one molecular component can be amplified, neutralized, or redirected by changes occurring elsewhere in the biological system. This systems-level perspective is particularly important for understanding why apparently rational targeted therapies can demonstrate variable efficacy in clinical populations. Molecular target validation must therefore extend beyond demonstration of target expression and include evidence that target inhibition produces a meaningful alteration in disease biology.

Epitope characteristics represent an additional determinant of therapeutic performance. Two antibodies directed against the same antigen may exhibit markedly different biological effects because they recognize different epitopes, induce different receptor conformations, vary in their capacity to block ligand binding, or engage distinct Fc-mediated functions. Epitope location can influence receptor internalization, steric interference, clustering, and downstream signaling. In some circumstances, binding to a particular epitope can stabilize an inactive receptor conformation, whereas another antibody directed against the same protein may have limited functional consequences. This observation supports the increasing use of structural biology and cryo-electron microscopy, X-ray crystallography, computational docking, and molecular dynamics to define antibody-antigen interactions at high resolution.

Antibody valency is similarly important. Conventional bivalent IgG molecules can cross-link receptors or antigens and thereby influence cellular signaling. Increasing valency can enhance avidity but may also alter receptor clustering, tissue penetration, and pharmacokinetics. Multivalent and multispecific formats provide opportunities to exploit these properties intentionally. However, increased valency can create unintended biological effects if receptors are clustered inappropriately or if target density differs substantially between diseased and healthy tissues. The design objective is therefore not maximal binding but optimal functional engagement within the relevant pathological microenvironment.

Another important result concerns the relationship between target abundance and therapeutic efficacy. High target expression can facilitate antibody binding, but target abundance alone does not guarantee clinical response. Target accessibility, membrane localization, internalization, recycling, shedding, and spatial distribution may be equally important. Soluble forms of membrane-associated antigens may act as decoys and reduce effective target engagement. Conversely, targets with moderate expression but rapid internalization may be highly suitable for antibody-drug conjugates. Thus, biomarker development should distinguish between static target abundance and functional target availability.

Target shedding creates a particularly important pharmacological challenge. Proteolytic release of extracellular target domains can generate circulating antigen that binds therapeutic antibody before it reaches the diseased tissue. This may reduce effective exposure to cellular targets and contribute to nonlinear pharmacokinetics. Conversely, circulating antigen may sometimes serve as a pharmacodynamic biomarker of target engagement. Understanding target shedding therefore requires simultaneous consideration of pharmacology, molecular biology, and biomarker science.

The spatial distribution of antibody targets also influences therapeutic outcome. In solid tumors, heterogeneous target expression can create a mosaic in which some malignant cells are highly susceptible and others are relatively resistant. Antibodies with bystander-capable payloads may partially overcome this problem, whereas highly target-dependent mechanisms may select for antigen-negative clones. Spatially resolved molecular diagnostics can therefore provide information that conventional biopsy analysis cannot fully capture. The future of precision oncology is likely to incorporate spatial target density, immune-cell organization, vascular accessibility, and stromal characteristics into treatment selection.

The tumor microenvironment further modifies antibody pharmacology through vascular permeability, interstitial pressure, extracellular matrix composition, and cellular uptake. Large protein therapeutics do not distribute uniformly throughout all tissues. Abnormal tumor vasculature can produce regions of both enhanced permeability and inadequate perfusion. Dense extracellular matrix may restrict diffusion, while stromal cells may sequester therapeutic molecules or alter target availability. These processes can generate pharmacological heterogeneity within the same tumor. Consequently, systemic serum exposure should not be interpreted as a direct surrogate for uniform intratumoral drug concentration.

Strategies to improve tissue penetration are therefore receiving increasing attention. Molecular size reduction, affinity optimization, antibody fragment development, engineered charge properties, and modulation of Fc interactions may influence tissue distribution. Nevertheless, increased tissue penetration must be balanced against systemic clearance and therapeutic persistence. Smaller formats may penetrate tissues more effectively but may have shorter half-lives. Extremely high affinity may promote peripheral binding and impede deeper penetration.

These trade-offs illustrate why antibody engineering must optimize multiple parameters simultaneously rather than maximizing a single property.

The relationship between antibody exposure and pharmacodynamic response is particularly complex when the target is located in a tissue compartment that is poorly accessible from the circulation. Conventional dose escalation may increase systemic concentrations without proportionally increasing target engagement. This phenomenon can produce diminishing returns and increase systemic toxicity. Pharmacometric approaches incorporating target occupancy, tissue distribution, and disease-specific biological characteristics may therefore be more informative than simple dose-based reasoning.

The development of subcutaneous formulations has further demonstrated the importance of delivery technology. Many monoclonal antibodies have traditionally required intravenous administration, creating burdens related to infusion time, healthcare resources, and patient convenience. Formulation technologies involving concentrated protein solutions and recombinant delivery-enhancing approaches can enable subcutaneous administration for selected molecules. This may improve patient experience and facilitate treatment outside hospital environments. However, subcutaneous administration introduces additional considerations involving absorption kinetics, local tolerability, formulation stability, and bioavailability.

Route of administration may also influence immunogenicity and pharmacokinetic behavior. Subcutaneous administration can produce slower systemic absorption and prolonged exposure during the absorption phase. Local antigen-presenting cell interactions may influence immune recognition. Therefore, formulation and delivery route should be considered components of antibody pharmacology rather than merely pharmaceutical convenience variables.

The increasing complexity of antibody formulations has consequently elevated the importance of protein stability and aggregation control. Aggregated proteins can alter pharmacokinetics and potentially increase immunogenicity. Manufacturing conditions, storage temperature, mechanical stress, freeze-thaw cycles, concentration, excipients, and container interactions may influence aggregation. Advanced analytical characterization is therefore essential for maintaining product quality throughout the manufacturing and distribution chain.

Glycosylation is another critical quality attribute with both structural and functional implications. Antibody glycan patterns can influence Fc receptor binding, complement activation, stability, and immunogenicity. Cell-line selection and manufacturing conditions can modify glycosylation profiles, creating the need for highly controlled bioprocesses. Modern analytical technologies can characterize glycan heterogeneity with increasing precision, allowing manufacturers to monitor relationships between product attributes and biological activity.

The importance of critical quality attributes becomes even more pronounced for next-generation antibodies. Bispecific molecules contain multiple functional domains that may differ in folding, stability, and expression. Mispaired chains, aggregation, fragmentation, and heterogeneous molecular species can complicate manufacturing. ADCs introduce additional variables related to linker chemistry and payload conjugation. Consequently, increasing molecular sophistication must be accompanied by equally sophisticated analytical control.

A major implication of these findings is that bioengineering and pharmaceutical development can no longer be considered separate stages. Molecular design influences manufacturability, formulation, pharmacokinetics, immunogenicity, and clinical performance from the beginning of development. Candidate selection should therefore incorporate developability

characteristics early rather than optimizing efficacy first and addressing manufacturability later. This integrated strategy can reduce attrition during later development stages.

The same principle applies to antibody discovery. Binding affinity remains an important criterion, but antibodies with excellent affinity may exhibit poor solubility, aggregation, nonspecific binding, unfavorable pharmacokinetics, or problematic immunogenicity. Modern discovery platforms therefore increasingly incorporate developability screening alongside target binding and functional assays. This represents a transition from affinity-centered discovery to holistic therapeutic-molecule optimization.

The role of artificial intelligence in this process is potentially transformative. Machine-learning models can evaluate sequence patterns associated with stability, aggregation, immunogenicity, and binding characteristics. Generative models may produce candidate antibody sequences within constrained design spaces. Structural prediction systems can provide information regarding antigen recognition and molecular interactions. However, the predictive validity of these systems depends on the quality, diversity, and biological relevance of training data. Models trained primarily on experimental binding datasets may not adequately predict clinical developability.

Consequently, experimental validation remains indispensable. The most effective computational workflows are likely to be iterative, integrating in silico prediction, high-throughput experimentation, and model refinement. Such closed-loop systems could accelerate antibody discovery while improving candidate quality. The long-term objective is not to replace laboratory science but to reduce the number of unsuccessful experimental iterations and focus resources on candidates with the most favorable multidimensional profiles.

The emergence of digital biomarkers represents another important development. Conventional biomarkers often rely on a single molecular measurement, whereas digital approaches can integrate imaging, longitudinal laboratory data, physiological measurements, and treatment exposure. In antibody immunotherapy, digital information could potentially complement molecular profiling by identifying early changes associated with response or toxicity. Artificial intelligence-assisted imaging analysis may also identify spatial immune patterns that are difficult to quantify manually.

Nevertheless, biomarker implementation requires rigorous validation. A statistically associated biomarker is not necessarily clinically useful. Predictive biomarkers must demonstrate reproducibility, analytical validity, clinical validity, and clinical utility. False-positive biomarker associations can lead to inappropriate patient selection, while overly restrictive biomarkers may exclude patients who could benefit from therapy. Therefore, biomarker science must remain closely linked to prospective clinical evaluation.

The distinction between predictive and prognostic biomarkers is especially important. A prognostic biomarker provides information about disease outcome independent of treatment, whereas a predictive biomarker identifies the likelihood of benefit from a specific therapeutic intervention. For monoclonal antibody therapy, clinically meaningful precision medicine requires predictive information. The most useful biomarker is therefore not necessarily the one most strongly associated with disease severity but the one that identifies differential treatment response.

Dynamic biomarkers may provide even greater value. Disease biology changes during therapy because treatment imposes selective pressure on malignant or inflammatory populations. Serial measurements can reveal whether the intended molecular pathway remains active, whether the target has been lost, or whether immune activation is increasing. This creates the possibility of

adaptive treatment strategies in which therapeutic selection changes according to biological evolution rather than relying exclusively on baseline characteristics.

In oncology, circulating tumor DNA and other liquid-biopsy approaches offer an attractive framework for longitudinal monitoring. Molecular changes can potentially be detected before radiographic progression becomes evident. If validated, such approaches could enable earlier identification of resistance and facilitate treatment modification. Similar principles may be applicable to circulating immune-cell phenotypes and soluble inflammatory biomarkers in immune-mediated diseases.

The clinical significance of treatment resistance extends beyond tumor progression. Resistance represents a biological record of evolutionary selection imposed by therapy. Understanding which cellular populations survive treatment can identify new targets and inform subsequent therapeutic design. In this sense, treatment failure can provide mechanistic information for the next stage of personalized therapy. Integrating resistance profiling into routine clinical practice may therefore convert unsuccessful therapy into actionable molecular knowledge.

Combination therapy remains one of the principal approaches to overcoming resistance. However, the scientific rationale for combination treatment should be based on complementary mechanisms. Combining two agents that produce overlapping biological effects may increase toxicity without substantially improving efficacy. In contrast, combinations that address distinct resistance mechanisms may provide greater benefit. For example, one component may increase antigen presentation, another may activate effector cells, and a third may directly target malignant-cell survival pathways.

Treatment sequencing is equally important. Cytotoxic therapy can alter antigen availability and immune-cell composition, potentially influencing subsequent immunotherapy. Radiotherapy may produce local inflammatory changes and increase antigen release. Targeted therapy can modify tumor-cell phenotype or immune infiltration. Therefore, the temporal relationship among therapies may determine whether their mechanisms reinforce or interfere with one another. Future clinical trials should consequently evaluate sequencing as a biological variable rather than treating combination therapy as a static intervention.

The immune system itself is highly heterogeneous between individuals. Age, previous infections, vaccination history, microbiome composition, metabolic status, concomitant medications, and underlying inflammatory conditions can influence immune responsiveness. This variability may partly explain differences in response to immunotherapeutic antibodies. Precision medicine will therefore increasingly need to consider host immune characteristics in addition to disease-specific molecular biomarkers.

The microbiome has received particular scientific attention because microbial metabolites and microbial composition can influence systemic immunity and potentially modify responses to cancer immunotherapy. Although the relationship is complex and context-dependent, this field illustrates the broader principle that therapeutic response can be influenced by biological systems distant from the immediate drug target. Future antibody research may therefore integrate host-microbiome interactions into response models where appropriate.

Metabolic conditions within diseased tissues also influence immune activity. Tumor cells can consume nutrients and alter oxygen availability, while hypoxia and metabolic competition may impair immune-cell function. Antibody-mediated immune activation may therefore be limited by metabolic constraints within the microenvironment. Combining immunotherapy with strategies that modify metabolic or hypoxic conditions represents a potential future direction, although such approaches require careful assessment of systemic consequences.

The relationship between immune activation and toxicity remains a central challenge. Stronger immune responses are not automatically equivalent to better clinical outcomes. Excessive activation can damage healthy tissues, produce systemic inflammation, or cause organ-specific immune-mediated injury. The ideal therapeutic profile therefore involves sufficient immune activation at the disease site with minimal systemic activation. This principle strongly supports conditional antibody activation and tissue-selective engineering.

Conditionally active antibodies are particularly attractive because they attempt to exploit molecular differences between diseased and healthy tissues. Tumors, for example, may contain distinctive protease activity, altered pH, or other microenvironmental characteristics. Engineering antibodies that become fully active under such conditions could improve the therapeutic index. The major challenge is achieving sufficient selectivity without reducing activity within heterogeneous disease tissues.

The therapeutic index of antibody-based immunotherapy is also influenced by target expression in healthy organs. Even when disease-associated targets are overexpressed in pathological tissues, lower levels of physiological expression may exist elsewhere. High systemic exposure can then produce target-mediated toxicity. Detailed tissue-expression atlases and translational studies are therefore important components of target validation.

The increasing availability of human tissue datasets and single-cell atlases can support this process. Before clinical development, investigators can evaluate target distribution across normal organs and pathological tissues. Such analyses can identify potential safety liabilities and inform antibody engineering strategies intended to discriminate between disease-associated and physiological target states.

Another emerging issue is the use of antibody therapies in increasingly earlier stages of disease. Successful treatment in advanced disease may lead to investigation of antibodies in adjuvant, neoadjuvant, maintenance, or prevention-oriented settings. Earlier intervention may improve outcomes by treating disease before extensive heterogeneity and resistance have developed. However, the risk-benefit threshold is different in patients with lower disease burden or potentially curable disease. Toxicities that may be acceptable in advanced disease may be less acceptable in earlier stages.

This consideration emphasizes the importance of treatment context. Clinical efficacy cannot be interpreted independently of disease stage, treatment intent, alternative therapeutic options, and expected prognosis. Precision medicine therefore requires not only molecular matching but also contextual matching between patient, disease stage, therapeutic objective, and antibody mechanism.

Monoclonal antibodies also have implications for survivorship and long-term disease management. Some patients may receive prolonged treatment because of durable disease control. Long-term exposure raises questions regarding cumulative immune effects, chronic infection risk, delayed toxicities, quality of life, and optimal treatment duration. The appropriate duration of antibody therapy is not always established by initial efficacy trials. Biomarker-guided discontinuation or treatment de-escalation may become increasingly relevant where durable biological control is achieved.

De-escalation is particularly important from both clinical and economic perspectives. If biomarkers can identify patients with sustained immune control, continued exposure may not always be necessary. Conversely, premature discontinuation could allow disease reactivation. Prospective studies are required to determine when treatment can safely be reduced, interrupted, or restarted.

Rechallenge represents another important clinical concept. Some patients who discontinue antibody therapy because of progression or toxicity may subsequently respond to the same or related treatment under different biological conditions. Understanding the mechanisms underlying successful or unsuccessful rechallenge could improve treatment sequencing. Such decisions require individualized assessment of prior response, resistance mechanism, toxicity history, and current disease biology.

The expanding use of biosimilars introduces additional dimensions to clinical practice. Biosimilar development relies on demonstrating high similarity to a reference biologic with no clinically meaningful differences in relevant performance characteristics. Because biological medicines are structurally complex, biosimilarity is evaluated through a comprehensive evidence framework rather than exact molecular identity. Successful biosimilar implementation can reduce treatment costs and potentially increase access to antibody therapy. Physician and patient confidence remains essential for biosimilar uptake. Education regarding analytical comparability, clinical evidence, immunogenicity, and regulatory standards can facilitate informed decision-making. Pharmacovigilance is particularly important during broader adoption because traceability of products can improve the interpretation of adverse-event reports and maintain confidence in biological medicines.

Healthcare-system infrastructure also influences the real-world effectiveness of monoclonal antibodies. A highly effective antibody may have limited population impact if diagnostic testing is unavailable, infusion facilities are inadequate, specialist monitoring is inaccessible, or reimbursement is restrictive. Thus, translational success must be evaluated at the health-system level. Precision medicine requires not only molecular diagnostics but also the infrastructure necessary to deliver biomarker-guided treatment.

Diagnostic equity is therefore an important component of therapeutic equity. If sophisticated biomarker testing is concentrated in high-resource settings, patients in less-developed healthcare systems may be unable to access targeted treatments despite having biologically appropriate disease. Development of affordable, robust, and decentralized diagnostic platforms could help reduce this disparity.

The economic evaluation of monoclonal antibodies should consequently incorporate the broader value generated by successful treatment. Prevention of disease progression, reduction in hospitalization, preservation of functional capacity, improved productivity, and prolonged survival can produce substantial societal benefits. Cost-effectiveness frameworks should account for these outcomes alongside direct pharmaceutical expenditure.

The growing complexity of antibody development also strengthens the importance of interdisciplinary education. Clinicians increasingly need knowledge of molecular biomarkers, pharmacogenomics, immunological mechanisms, and adverse-event management. Pharmacologists require familiarity with protein engineering and biologics pharmacokinetics. Laboratory scientists must understand clinical endpoints and therapeutic context. This convergence supports integrated training models capable of connecting molecular discovery with patient care.

Clinical decision-making will likely become increasingly data-intensive. Physicians may need to integrate genomic profiles, immunophenotyping, pathology, imaging, circulating biomarkers, pharmacokinetic information, previous treatment history, and patient-specific factors. Clinical decision-support systems may assist with interpretation, but professional judgment remains essential because molecular associations do not always translate into individual therapeutic benefit.

The ethical dimensions of precision antibody therapy should also be considered. Advanced molecular testing can generate extensive information about patients, including incidental findings and potentially actionable genetic characteristics. Appropriate consent, data governance, privacy protection, and equitable access to testing are therefore necessary. Artificial intelligence introduces additional questions regarding transparency, algorithmic bias, reproducibility, and accountability in treatment recommendations.

The increasing use of real-world data may provide opportunities to study patient populations excluded from clinical trials. However, observational data can contain confounding, missing information, selection bias, and inconsistent measurement. Rigorous methodological approaches are therefore required to distinguish genuine treatment effects from associations generated by differences in patient characteristics or healthcare access.

Adaptive clinical trial designs may provide an effective framework for evaluating increasingly complex antibody therapies. Such designs can incorporate emerging biomarker information, modify treatment arms according to interim evidence, and evaluate multiple molecularly defined populations more efficiently than conventional fixed designs. This may be particularly valuable when therapeutic development involves several antibody formats or biomarker-defined subgroups.

Platform approaches may further accelerate development. Once an antibody engineering or delivery platform has been validated, related therapeutic molecules can potentially be developed using shared manufacturing, analytical, and regulatory knowledge. Such approaches could shorten development timelines and reduce costs while maintaining appropriate scientific rigor.

The field is also moving toward increasingly modular therapeutic design. Antibody domains, Fc regions, linkers, payloads, and targeting elements can be combined in different configurations. This modularity allows researchers to generate therapeutic candidates tailored to particular disease mechanisms. However, modularity increases the number of possible combinations and therefore creates a computational and experimental optimization problem. Artificial intelligence and high-throughput screening may become increasingly important for navigating this design space.

An important conceptual development is the transition from antibodies as static molecules to antibodies as information-processing systems. A next-generation antibody may effectively integrate several biological signals: target recognition, tissue-specific activation, immune-cell recruitment, and intracellular payload release. Such molecules could respond selectively to pathological conditions in ways that resemble biological decision-making. This concept represents one of the most ambitious directions in therapeutic bioengineering.

Nevertheless, molecular sophistication must not be equated automatically with clinical superiority. Each additional functional element can introduce new failure modes, manufacturing challenges, immunogenicity risks, and regulatory complexity. The most valuable next-generation antibody will therefore be the molecule that achieves a meaningful improvement in clinical benefit-risk balance, not necessarily the one with the greatest structural complexity.

The discussion also indicates that translational research should place greater emphasis on clinically relevant experimental models. Traditional cell-line systems may not adequately reproduce tumor heterogeneity, immune-cell interactions, tissue architecture, or pharmacological exposure. Patient-derived organoids, humanized models, ex vivo tissue

systems, organ-on-chip technologies, and other advanced models may provide more informative platforms for evaluating antibody activity.

However, no preclinical model perfectly reproduces human disease. Differences in immune systems, tissue architecture, pharmacokinetics, and target expression can limit translation. A combination of complementary models is therefore preferable to reliance on a single experimental system. Integration of computational modeling, mechanistic experiments, and clinical data can improve translational confidence.

The role of structural and systems pharmacology is likely to become increasingly important. Structural information can reveal how antibodies engage targets, while systems models can predict how pathway modulation affects cellular networks. Combining these approaches may identify therapeutic opportunities that would remain hidden when molecular interactions are considered individually.

Network pharmacology is particularly relevant to combination therapy. Disease pathways frequently contain feedback loops and compensatory mechanisms. Blocking one node can cause adaptive changes elsewhere in the network. Mapping these interactions can help identify rational combination partners and anticipate resistance. In this context, monoclonal antibodies should be viewed as interventions within complex biological networks rather than isolated molecular inhibitors.

The immune system itself functions as a dynamic network. Activating one immune population can alter cytokine production, antigen presentation, recruitment of other cells, and tissue inflammation. Therapeutic antibodies can therefore produce downstream effects that extend beyond their immediate target. These effects may contribute to efficacy but can also generate unexpected toxicities. Systems immunology may help distinguish beneficial network activation from pathological immune amplification.

Another important consideration is the heterogeneity of antibody response across anatomical compartments. Blood, lymphoid tissue, tumor tissue, mucosal surfaces, and central nervous system compartments present different barriers and immune environments. A therapeutic antibody with excellent systemic exposure may have limited activity in a poorly accessible compartment. Engineering antibodies for tissue-specific delivery or modifying molecular size may therefore be necessary for certain indications.

The central nervous system presents a particularly challenging example because the blood-brain barrier restricts access of many large biological molecules. Strategies under investigation include receptor-mediated transcytosis, engineered transport mechanisms, smaller antibody fragments, and localized delivery. Such approaches illustrate the broader challenge of translating molecular specificity into effective tissue exposure.

In infectious diseases, antibody therapy raises additional considerations because pathogens can evolve rapidly. Viral or microbial antigenic variation can reduce neutralization by therapeutic antibodies. Multispecific or broadly neutralizing antibodies may therefore offer advantages by reducing the likelihood of escape. Combination antibody strategies may similarly suppress emergence of resistant variants by imposing multiple independent molecular constraints.

The principle of evolutionary robustness is consequently relevant beyond oncology. A therapeutic strategy that depends on a single mutable pathogen epitope or tumor antigen may be vulnerable to escape. Multitarget approaches can increase the evolutionary barrier to resistance, although they may also increase manufacturing and regulatory complexity.

In autoimmune disease, resistance can similarly emerge through pathway redundancy or changes in disease phenotype. Patients who initially respond to cytokine blockade may

subsequently develop persistent inflammation driven by alternative pathways. Molecular profiling may help identify whether treatment failure reflects pharmacokinetic loss, immunogenicity, inadequate target engagement, or biological pathway substitution. This distinction is clinically important because each mechanism requires a different intervention.

The same analytical framework can improve interpretation of apparent treatment failure. A lack of clinical response does not necessarily indicate that the antibody mechanism is ineffective. It may reflect inadequate exposure, neutralizing anti-drug antibodies, incorrect target selection, insufficient target expression, or downstream pathway independence. Mechanistic investigation can therefore distinguish pharmacological failure from biological failure.

This distinction is central to precision pharmacotherapy. Therapeutic monitoring should ideally determine whether the drug reaches the target, engages the target, alters the intended pathway, and produces the expected biological response. If target engagement occurs without clinical benefit, the target may not be sufficiently causal. If target engagement is absent, dosing, distribution, immunogenicity, or target accessibility should be investigated. Such sequential reasoning can improve clinical decision-making.

The future clinical paradigm may consequently resemble a continuous pharmacological feedback system. Baseline molecular testing identifies the initial therapeutic strategy; early pharmacodynamic assessment confirms biological activity; longitudinal biomarkers monitor response; and resistance profiling informs subsequent treatment. This approach could transform antibody therapy from fixed regimens into adaptive treatment programs.

The scientific and clinical value of this approach extends beyond individual patients. Aggregated longitudinal data can reveal patterns of response and resistance across populations, enabling refinement of predictive models. Learning healthcare systems could therefore integrate routine clinical data into continuous therapeutic improvement, provided data quality, privacy, and methodological rigor are maintained.

The evidence reinforces, that monoclonal antibody-based immunotherapy is progressing toward a highly integrated discipline in which molecular design, and pharmacological optimization, biomarker selection, clinical monitoring, and computational analysis are interconnected. The most important challenge is no longer demonstrating that antibodies can produce therapeutic effects; rather, it is determining how to maximize durable benefit across biologically heterogeneous patient populations while minimizing toxicity, resistance, cost, and treatment burden.

The emerging scientific framework consequently places precision, adaptability, and biological context at the center of future antibody therapeutics. Molecular targets must be validated functionally, antibodies must be engineered for appropriate pharmacological behavior, biomarkers must be prospectively validated, treatment combinations must be mechanistically justified, and safety must be monitored continuously. Such an integrated strategy is likely to produce the greatest advances in clinical effectiveness.

The convergence of monoclonal antibody engineering with systems immunology, multi-omics, artificial intelligence, advanced pharmacometrics, spatial biology, and precision diagnostics represents a major opportunity for therapeutic innovation. If these technologies are successfully integrated, future antibodies may become more selective, more adaptable, and more capable of overcoming biological resistance. At the same time, responsible development will require continued attention to manufacturing quality, regulatory standards, cost-effectiveness, accessibility, ethical data use, and equitable implementation.

The future in which antibody-based immunotherapy is increasingly individualized, mechanistically informed, and dynamically monitored. Rather than treating disease as a static molecular state, future therapeutic strategies will increasingly recognize disease as an evolving biological process. Monoclonal antibodies, supported by advanced diagnostics and computational systems, may consequently become components of adaptive therapeutic ecosystems in which molecular information continuously informs treatment selection, dosing, monitoring, and modification.

The development of immune checkpoint inhibitors has provided compelling evidence that antibody therapeutics can modify fundamental relationships between disease and the host immune system. By interfering with inhibitory pathways such as PD-1/PD-L1 and CTLA-4, checkpoint-directed antibodies can restore antitumor immune activity and produce durable responses in selected patients. Nevertheless, heterogeneous response rates demonstrate that immune checkpoint inhibition is not universally effective and that therapeutic outcome depends on tumor antigenicity, immune-cell infiltration, antigen presentation, molecular alterations, tumor microenvironment, and other biological determinants. This finding reinforces the importance of biomarker-driven patient selection and supports the movement from conventional treatment algorithms toward molecularly and immunologically stratified therapeutic approaches.

The analysis further demonstrates the importance of antigen-directed monoclonal antibodies in both hematological and solid malignancies. Antibodies targeting disease-associated cellular antigens can mediate direct signaling inhibition, receptor internalization, immune-cell recruitment, phagocytosis, and cellular cytotoxicity. However, antigen heterogeneity, target loss, inadequate tissue penetration, and disease evolution can compromise therapeutic effectiveness. These limitations indicate that future antibody development must consider not only whether a target is present but also whether it remains biologically essential throughout disease progression.

Antibody-drug conjugates have expanded the therapeutic potential of antibody technology by integrating molecular specificity with potent cytotoxic pharmacology. Their success demonstrates that antibodies can function as selective delivery systems for highly active therapeutic payloads. Nevertheless, optimal ADC design requires careful balancing of antigen specificity, internalization, linker stability, payload potency, drug-to-antibody ratio, pharmacokinetics, and bystander effects. Future advances in ADC technology are therefore likely to depend on improved molecular engineering and better understanding of intracellular trafficking and tumor heterogeneity.

Bispecific and multispecific antibodies represent another major advancement. Their ability to engage multiple targets simultaneously creates opportunities for immune-cell redirection, dual-pathway inhibition, and integrated therapeutic mechanisms. These platforms may overcome some limitations of conventional monospecific antibodies, but their increasing biological potency also introduces challenges related to cytokine-mediated toxicity, immunological overstimulation, manufacturing complexity, and pharmacokinetic optimization. Consequently, next-generation antibody design must emphasize controlled biological activity rather than maximal immune activation.

Fc engineering has further established that the therapeutic antibody molecule can be deliberately optimized according to its intended mechanism. Modification of Fc receptor interactions and glycosylation can influence antibody-dependent cellular cytotoxicity, phagocytosis, complement activation, and systemic persistence. Such engineering

demonstrates the increasing sophistication of antibody pharmacology, in which molecular structure is intentionally matched to desired pharmacodynamic outcomes. However, enhancement of one functional characteristic may produce undesirable consequences elsewhere, emphasizing the need for integrated optimization of efficacy, safety, pharmacokinetics, and immunogenicity.

Precision medicine constitutes a particularly important future direction. The evidence indicates that the effectiveness of antibody-based therapies depends increasingly on accurate identification of patients whose disease biology is compatible with a specific therapeutic mechanism. Biomarkers based on target expression, genomic alterations, immune-cell phenotypes, circulating molecules, molecular signatures, and spatial characteristics can facilitate more appropriate patient selection. However, biomarkers are not static biological variables. Disease progression, treatment pressure, clonal selection, immune remodeling, and microenvironmental changes can alter biomarker profiles over time. Therefore, future precision medicine will increasingly require longitudinal rather than exclusively baseline biomarker assessment.

The integration of multi-omics technologies has the potential to substantially improve this process. Genomics, transcriptomics, proteomics, metabolomics, epigenomics, single-cell sequencing, and spatial profiling can provide complementary information concerning disease biology and therapeutic response. Single-cell technologies are particularly valuable for revealing cellular heterogeneity that may be obscured by conventional bulk analyses, while spatial technologies can clarify the anatomical organization of immune and malignant cells. Their integration may facilitate identification of predictive biomarkers, mechanisms of resistance, and new therapeutic targets.

Therapeutic resistance remains one of the most important unresolved challenges. Resistance may result from target loss or mutation, altered intracellular signaling, pathway redundancy, impaired antigen presentation, immune exhaustion, immunosuppressive cellular populations, altered tumor architecture, or insufficient drug penetration. These mechanisms demonstrate that disease resistance is not a single biological phenomenon but a dynamic process involving multiple molecular and cellular systems. Consequently, future therapeutic strategies should increasingly incorporate rational combination therapy, sequential treatment, adaptive biomarker monitoring, and individualized modification of therapeutic regimens.

The tumor microenvironment is particularly relevant to resistance and treatment efficacy. Malignant tissues contain diverse populations of immune cells, fibroblasts, endothelial cells, extracellular matrix components, and soluble mediators that can either facilitate or suppress therapeutic responses. The microenvironment can restrict antibody penetration, alter immune-cell function, promote immune suppression, and contribute to disease persistence. Effective immunotherapy must therefore increasingly address the pathological ecosystem surrounding target cells rather than focusing exclusively on the target itself.

Pharmacokinetic and pharmacodynamic optimization is also fundamental to maximizing therapeutic benefit. Monoclonal antibodies exhibit distinctive disposition characteristics related to molecular size, FcRn recycling, proteolytic catabolism, and target-mediated drug disposition. These properties can produce nonlinear exposure and complicate conventional dose selection. Model-informed drug development, population pharmacokinetics, exposure-response analysis, pharmacometric simulation, and pharmacodynamic biomarker assessment can improve dose optimization and potentially support individualized treatment strategies.

Immunogenicity remains an important consideration despite the development of humanized and fully human antibodies. Anti-drug antibodies may influence exposure, efficacy, and safety, although their clinical significance varies substantially. Future antibody development should therefore continue to incorporate structural optimization, aggregation control, formulation science, sensitive immunogenicity assays, and longitudinal clinical monitoring. Importantly, the detection of anti-drug antibodies should be interpreted in relation to their functional consequences rather than solely as a binary laboratory outcome.

Safety represents an equally important dimension of antibody therapeutics. The biological specificity of monoclonal antibodies does not eliminate the possibility of toxicity because therapeutic targets may participate in physiological processes or may be expressed in normal tissues. Furthermore, immune-modulating antibodies can generate immune-related adverse events, cytokine-mediated toxicities, hypersensitivity reactions, infections, and other mechanism-dependent complications. Effective management therefore requires mechanism-based clinical monitoring, multidisciplinary care, early recognition of adverse events, and appropriate pharmacovigilance systems.

Real-world evidence will increasingly complement randomized clinical trials in evaluating the long-term safety and effectiveness of monoclonal antibody therapies. Clinical trials provide essential evidence under controlled conditions, whereas real-world data can identify rare toxicities, treatment patterns, effectiveness in diverse populations, and outcomes in patients who may be underrepresented in clinical trials. Long-term pharmacovigilance is particularly important for complex biological medicines and emerging antibody formats, where uncommon or delayed adverse events may become apparent only after widespread clinical use.

Bioengineering has emerged as one of the most powerful drivers of future antibody innovation. Modern protein engineering allows modification of affinity, specificity, valency, Fc function, stability, half-life, tissue penetration, and conditional activation. Novel formats such as nanobodies, antibody fragments, bispecific molecules, multispecific constructs, Fc-engineered antibodies, and conditionally activated antibodies demonstrate that the conventional IgG architecture is no longer the only relevant therapeutic framework. Future antibody platforms may increasingly be designed around specific disease microenvironments and therapeutic functions rather than traditional molecular formats.

Artificial intelligence and computational biology are likely to accelerate these developments. Machine-learning approaches can support antibody sequence generation, structural prediction, epitope identification, affinity optimization, developability assessment, and candidate prioritization. Integration of computational prediction with high-throughput experimental validation may substantially shorten discovery timelines. Nevertheless, computational models cannot independently establish clinical efficacy or safety. Experimental validation, pharmacological characterization, toxicological evaluation, and rigorous clinical investigation remain indispensable.

Manufacturing and regulatory science will also determine the pace at which antibody innovation reaches patients. Increasing molecular complexity creates challenges in process development, structural characterization, quality control, analytical validation, and regulatory assessment. Critical quality attributes such as aggregation, glycosylation, charge heterogeneity, fragmentation, and biological activity must be carefully controlled. Novel formats require advanced analytical platforms capable of demonstrating molecular integrity and functional consistency. Continued development of harmonized regulatory frameworks will therefore be essential.

The economic dimension should not be overlooked. Monoclonal antibodies can provide substantial clinical benefits but may impose considerable financial burdens on healthcare systems and patients. Complex manufacturing, administration, monitoring, and long-term treatment requirements contribute to overall healthcare expenditure. Biosimilars offer an important mechanism for improving affordability and expanding access, provided that regulatory standards, clinical confidence, and effective pharmacovigilance are maintained. Future innovation should therefore be evaluated not only according to biological novelty but also according to clinical value, cost-effectiveness, accessibility, and sustainability.

The therapeutic significance of monoclonal antibodies extends beyond oncology. Their application to autoimmune, inflammatory, infectious, neurological, and other disorders demonstrates the flexibility of antibody-based pharmacology. In each therapeutic field, however, the desired biological outcome differs. Cancer therapy may seek immune activation and cellular destruction, whereas autoimmune treatment generally seeks selective immune suppression or pathway modulation. This diversity reinforces the need for disease-specific antibody engineering and mechanism-based clinical development.

An increasingly important conclusion is that the future of monoclonal antibody therapy will depend on integration rather than isolated technological advances. Novel antibody structures, biomarkers, artificial intelligence, multi-omics, pharmacometrics, and clinical innovation will have their greatest impact when incorporated into a coherent therapeutic framework. The ultimate objective is to identify the correct target, select the appropriate patient, engineer the optimal antibody, achieve sufficient exposure at the disease site, monitor biological response, anticipate resistance, and control toxicity throughout treatment.

Monoclonal antibody-based immunotherapy has become one of the most transformative platforms in contemporary biomedical and clinical science, representing a fundamental transition from relatively nonspecific pharmacological intervention toward highly selective, mechanism-driven, and increasingly individualized therapeutic strategies. The scientific evidence reviewed demonstrates that the clinical significance of monoclonal antibodies extends substantially beyond their classical function as antigen-binding molecules. Modern antibody therapeutics constitute sophisticated biological systems capable of receptor and ligand neutralization, signaling inhibition, immune-cell recruitment, cellular depletion, complement activation, immune-checkpoint modulation, targeted intracellular drug delivery, multispecific immune engagement, and selective manipulation of pathological biological pathways. Their expanding therapeutic applications reflect the convergence of immunology, molecular biology, pharmacology, oncology, genetics, structural biology, biotechnology, bioengineering, computational science, and precision medicine.

The therapeutic activity of a monoclonal antibody is determined by a complex interaction between molecular target, epitope, antibody architecture, Fc-mediated effector function, pharmacokinetic properties, tissue distribution, disease biology, immune status, and patient-specific characteristics. High target affinity alone is insufficient to guarantee clinical efficacy. Successful therapeutic antibodies must engage biologically relevant targets, achieve adequate exposure at the pathological site, maintain appropriate structural and functional stability, and produce a favorable balance between pharmacodynamic activity and toxicity. This multidimensional perspective is particularly important for understanding why antibodies with apparently similar molecular characteristics may demonstrate substantially different clinical outcomes.

The concept of dynamic precision immunotherapy may therefore represent the next stage of development. Rather than assigning patients to a fixed treatment regimen solely on the basis of baseline characteristics, future clinical practice may continuously integrate molecular, immunological, pharmacokinetic, and clinical information to adapt treatment over time. Such a model could enable earlier recognition of treatment failure, modification of therapy before overt disease progression, and more rational sequencing or combination of therapeutic agents. Monoclonal antibody-based immunotherapy represents a paradigm shift in modern pharmacotherapy. Its evolution from conventional antigen-specific molecules toward multifunctional, bioengineered, biomarker-guided therapeutic platforms illustrates the extraordinary capacity of biomedical science to translate molecular immunology into clinical intervention. The field has already produced substantial improvements in disease management, but its full potential remains incompletely realized.

Future progress will depend on overcoming several persistent challenges: biological heterogeneity, therapeutic resistance, incomplete predictive biomarkers, immune-related toxicity, immunogenicity, tissue penetration limitations, manufacturing complexity, high treatment costs, and unequal global access. Addressing these challenges requires sustained interdisciplinary collaboration among basic scientists, pharmacologists, immunologists, clinicians, bioengineers, computational scientists, regulatory authorities, health economists, and patients.

The monoclonal antibody-based immunotherapy should be understood as an evolving scientific and therapeutic ecosystem rather than a static category of biological medicines. Its future will be characterized by increasing molecular precision, greater structural complexity, improved biomarker integration, advanced immune engineering, computationally assisted discovery, longitudinal patient monitoring, and individualized therapeutic adaptation. The convergence of these developments has the potential to transform antibody therapy from predominantly target-specific treatment into a highly programmable form of precision immunopharmacology. Such progress may ultimately improve therapeutic efficacy, durability of response, safety, quality of life, and accessibility while expanding the clinical application of immunologically targeted medicine across an increasingly broad spectrum of human diseases.

The present research demonstrates that monoclonal antibody-based immunotherapy has evolved into a highly sophisticated therapeutic platform with broad applications across oncology, autoimmune and inflammatory diseases, infectious diseases, hematological disorders, and selected neurological conditions. The findings indicate that the clinical effectiveness of monoclonal antibodies is determined by the interaction of molecular targeting, immune modulation, pharmacokinetics, biomarker characteristics, disease heterogeneity, and patient-specific biological factors.

A principal finding is that monoclonal antibodies exert therapeutic activity through multiple mechanisms, including receptor and ligand neutralization, inhibition of pathological signaling pathways, antibody-dependent cellular cytotoxicity, antibody-dependent cellular phagocytosis, complement-dependent cytotoxicity, immune-cell depletion, receptor internalization, and immune-checkpoint modulation. These mechanisms demonstrate that antibody therapy represents a multidimensional pharmacological intervention rather than a simple antigen-binding process.

The research further identifies immune checkpoint inhibition as a major advancement in cancer immunotherapy. Targeting PD-1, PD-L1, and CTLA-4 can restore suppressed antitumor

immune responses and produce durable clinical benefits in appropriately selected patients. However, therapeutic responses remain heterogeneous, demonstrating that checkpoint expression alone is insufficient as a universal predictive biomarker. Tumor mutational characteristics, antigen presentation, immune-cell infiltration, interferon signaling, tumor microenvironment, and immune exhaustion must also be considered.

A significant finding concerns the increasing importance of antibody-drug conjugates. These therapeutic platforms combine antibody-mediated molecular specificity with highly potent cytotoxic payloads, allowing targeted intracellular drug delivery. Their therapeutic performance depends on antigen expression, internalization, linker stability, payload characteristics, drug-to-antibody ratio, intracellular trafficking, and bystander effects. Continued optimization of these parameters may improve therapeutic indices and expand clinical applications.

The research also demonstrates the growing clinical relevance of bispecific and multispecific antibodies. By simultaneously engaging two or more molecular targets, these constructs can redirect immune cells toward pathological cells, inhibit complementary signaling pathways, or integrate several therapeutic mechanisms within one molecule. Nevertheless, enhanced immune activation may increase cytokine-mediated toxicity and requires careful pharmacological and clinical management.

Another major finding is the importance of Fc engineering. Modification of Fc-region interactions can influence antibody-dependent cellular cytotoxicity, phagocytosis, complement activation, and systemic persistence. Consequently, antibody structure can be deliberately engineered to produce a desired immunological phenotype. This represents an important transition toward functionally programmable biological therapeutics.

The research identifies biomarker discovery as a central requirement for precision antibody therapy. Genomic alterations, target expression, immune-cell phenotypes, circulating biomarkers, proteomic signatures, and spatial characteristics can contribute to prediction of therapeutic response. However, because disease biology changes during treatment, longitudinal biomarker assessment may provide greater clinical value than reliance on baseline measurements alone.

The findings additionally demonstrate that therapeutic resistance represents a major unresolved challenge. Resistance can arise through target loss, antigen mutation, pathway redundancy, altered intracellular signaling, defective antigen presentation, immune exhaustion, tumor heterogeneity, and immunosuppressive microenvironmental mechanisms. These observations support the development of rational combination therapies and adaptive treatment strategies guided by molecular monitoring.

Pharmacokinetic and pharmacodynamic characteristics were also identified as important determinants of clinical outcome. Monoclonal antibodies exhibit distinctive disposition patterns involving FcRn-mediated recycling, proteolytic catabolism, tissue distribution, and target-mediated drug disposition. Therefore, conventional dosing approaches may not always adequately reflect biological exposure. Population pharmacokinetics, exposure-response modeling, and target-engagement biomarkers can improve therapeutic optimization.

The research further highlights immunogenicity as an important consideration despite advances in humanized and fully human antibody development. Anti-drug antibodies may influence systemic exposure, therapeutic activity, and safety. Consequently, immunogenicity assessment should remain an integral component of antibody development and long-term clinical monitoring.

Safety and pharmacovigilance constitute another major finding. Immune-related adverse events, cytokine-mediated toxicities, infusion reactions, infections, hypersensitivity, and target-associated physiological disturbances require systematic monitoring. Real-world evidence is particularly important for identifying uncommon or delayed adverse events that may not be fully characterized during controlled clinical trials.

The research demonstrates that the future of monoclonal antibody-based immunotherapy will increasingly depend on the integration of bioengineering, artificial intelligence, multi-omics analysis, computational antibody design, advanced manufacturing, and precision medicine. Next-generation antibodies are expected to become increasingly specific, multifunctional, conditionally activated, and adaptable to individual disease biology. The study establish monoclonal antibody-based immunotherapy as a rapidly evolving field characterized by increasing molecular precision, expanding therapeutic applications, sophisticated bioengineering, and growing integration with personalized medicine. The strongest future opportunities are likely to arise from combining advanced antibody architectures with reliable biomarkers, longitudinal monitoring, rational combination strategies, optimized pharmacology, and comprehensive safety surveillance.

The expanded research findings further demonstrate that the therapeutic performance of monoclonal antibodies is fundamentally dependent on the biological relationship between the selected molecular target and the pathological process. Target validation should therefore extend beyond demonstrating differential expression between diseased and healthy tissues. A clinically meaningful target should demonstrate functional relevance, sufficient accessibility, appropriate cellular distribution, and a relationship between target modulation and measurable disease control. This distinction is particularly important because abundant expression does not necessarily indicate biological dependence. Conversely, a relatively low-abundance target may represent a critical regulatory node whose modulation produces substantial therapeutic effects. Future antibody discovery should consequently incorporate functional genomics, CRISPR-based validation, structural biology, and disease-model systems before extensive clinical development.

The findings also emphasize the importance of epitope selection. Antibodies directed against different epitopes on the same antigen can demonstrate substantially different biological properties. Epitope location may determine whether receptor signaling is blocked, receptor clustering is induced, internalization is promoted, or Fc-mediated immune mechanisms are efficiently activated. Steric accessibility, conformational state, receptor density, and proximity to functional domains may therefore influence clinical activity. Epitope-specific engineering should become a more prominent component of therapeutic antibody development, particularly when multiple antibodies against the same molecular target are available.

Antigen density represents another important determinant of efficacy. High antigen expression can facilitate antibody binding and cellular recognition, whereas low expression may limit target engagement. Nevertheless, antigen density should not be considered independently from receptor internalization and intracellular trafficking. For antibody-drug conjugates, rapid internalization may be advantageous because it facilitates intracellular payload delivery. For antibodies designed primarily to recruit immune effector cells, persistent surface expression may be more important. Thus, optimal target characteristics depend on the intended mechanism of action.

The research further identifies tissue penetration as a major pharmacological challenge. Monoclonal antibodies possess relatively large molecular dimensions, which can limit

diffusion through dense extracellular matrices and abnormal tumor architectures. Heterogeneous vascular permeability and elevated interstitial pressure may create additional barriers. Consequently, systemic exposure does not necessarily correspond to homogeneous tissue exposure. Future therapeutic design should increasingly incorporate tissue pharmacology, spatial distribution, extracellular matrix characteristics, and disease-specific vascular biology.

Intratumoral heterogeneity presents an additional obstacle to durable therapeutic response. A single malignant lesion may contain multiple cellular populations with different antigen expression patterns, genetic profiles, metabolic states, and immune interactions. Antibody treatment may preferentially eliminate sensitive populations while leaving resistant subclones behind. The surviving population can subsequently expand and produce clinical relapse. This phenomenon supports the use of multi-target strategies and continuous molecular monitoring.

The findings indicate that antibody therapy should increasingly be considered within an evolutionary framework. Disease progression and therapeutic resistance are dynamic processes involving selective pressure, clonal adaptation, and changes in the microenvironment. Treatment may alter the composition of malignant and immune populations, potentially generating new therapeutic vulnerabilities. Serial molecular assessment may therefore allow clinicians to identify these changes and adapt treatment accordingly.

An important research direction involves circulating biomarkers. Liquid biopsy approaches may provide minimally invasive methods for monitoring disease evolution. Circulating tumor DNA, circulating tumor cells, soluble proteins, cytokines, and extracellular vesicles may provide information concerning target expression, tumor burden, treatment response, and emerging resistance. Their integration with imaging and tissue-based analysis could create a more comprehensive longitudinal representation of disease biology.

The research also highlights the potential significance of immune-cell composition as a therapeutic biomarker. The presence of activated cytotoxic T cells may indicate an immune-responsive environment, whereas enrichment of regulatory T cells, suppressive macrophages, or other immunoregulatory populations may indicate resistance to immune activation. Importantly, immune-cell quantity alone may not adequately describe functional state. Phenotypic and functional profiling should therefore be incorporated into future biomarker strategies.

The spatial organization of immune cells has emerged as an additional determinant of treatment response. An immune-cell population located within direct proximity to malignant cells may have a substantially different therapeutic significance from a similar population excluded from the tumor core. Spatial transcriptomics, multiplex immunohistochemistry, and advanced imaging technologies can provide information regarding cellular proximity and molecular communication. These technologies may ultimately support spatially informed antibody therapy.

Another important finding concerns the interaction between antibody treatment and the complement system. Complement activation can contribute to target-cell destruction but may also influence inflammatory responses and treatment-associated toxicity. The degree of complement activation depends on antibody subclass, Fc configuration, epitope characteristics, target density, and host complement status. Rational Fc engineering may therefore allow more precise control over complement-dependent effects.

The interaction between Fc regions and Fcγ receptors also contributes substantially to therapeutic variability. Genetic polymorphisms, receptor expression patterns, immune-cell

composition, and disease-associated changes in Fc receptor function may influence antibody-mediated cellular activity. This suggests that future precision medicine could potentially incorporate Fc receptor biology into therapeutic selection, particularly for antibodies whose efficacy depends strongly on immune effector mechanisms.

Another significant research finding concerns antibody half-life. Prolonged systemic persistence can improve dosing convenience and maintain therapeutic exposure, but excessive persistence may also prolong adverse effects. Therefore, the optimal half-life is context dependent. For chronic diseases requiring sustained pathway inhibition, extended persistence may be advantageous. In therapies associated with acute immune activation or substantial toxicity, shorter exposure may provide greater safety and treatment flexibility.

Route of administration represents another opportunity for optimization. Intravenous administration remains widely used for many monoclonal antibodies, but subcutaneous delivery has expanded treatment convenience for selected products. Future development may explore alternative administration routes designed to improve local exposure, reduce healthcare resource requirements, or facilitate self-administration. Such approaches could improve patient adherence and accessibility while reducing treatment-associated healthcare burden.

The findings additionally suggest that formulation science should receive greater attention. Protein aggregation, instability, oxidation, deamidation, and other structural changes can influence antibody quality, immunogenicity, and biological activity. Formulation composition, storage conditions, container characteristics, and manufacturing processes therefore represent integral components of therapeutic development rather than secondary considerations.

Antibody stability is particularly important for global accessibility. Products requiring highly controlled cold-chain conditions can present logistical challenges in healthcare systems with limited infrastructure. Development of more stable formulations, improved storage technologies, and alternative delivery systems could facilitate broader international access.

Another important area of investigation is the relationship between monoclonal antibodies and the microbiome. Increasing evidence indicates that intestinal microbial composition can influence immune responses, systemic inflammation, and therapeutic outcomes. Although the precise mechanisms remain incompletely understood, microbiome-related differences may contribute to variability in immunotherapy response. Future research should therefore investigate interactions among antibody treatment, immune regulation, microbial composition, metabolism, and disease progression.

Metabolic characteristics of immune cells also warrant attention. Activated immune cells undergo substantial metabolic reprogramming, and their functional state can be influenced by nutrient availability, hypoxia, acidity, and metabolic competition within diseased tissues. Tumor-associated metabolic conditions may suppress immune-cell activity and limit the effectiveness of immune checkpoint inhibition. Combining antibody therapy with strategies that modify pathological metabolism may therefore represent a promising research direction.

The research further indicates that combination therapy should increasingly be based on mechanistic complementarity. Combining therapies solely because each has demonstrated activity independently does not guarantee synergy. Rational combinations should target distinct but interconnected mechanisms of disease persistence. For example, one therapy may increase antigen release, another may enhance antigen presentation, while a third may remove inhibitory immune signaling. Such combinations may create coordinated biological effects while minimizing unnecessary therapeutic overlap.

Treatment sequencing is equally important. A therapy that modifies the immune environment may need to precede an antibody that depends on immune-cell recruitment. Alternatively, reducing tumor burden before immune activation may improve the probability of successful immune-mediated elimination. Future clinical studies should therefore evaluate temporal relationships among treatments rather than treating combination therapy as simultaneous administration by default.

The research also highlights the potential importance of adaptive clinical trial designs. Conventional clinical trials generally evaluate predetermined treatment regimens in relatively fixed populations. Adaptive designs can permit modification of treatment arms according to emerging efficacy, safety, biomarker, or molecular information. Such approaches may be particularly valuable for rapidly evolving antibody platforms and molecularly stratified diseases.

Patient-reported outcomes should also be integrated more consistently into antibody research. Clinical efficacy measured by tumor response or laboratory parameters does not fully capture treatment value. Fatigue, functional status, treatment burden, quality of life, treatment convenience, and psychological well-being are important components of therapeutic success. Subcutaneous administration, reduced dosing frequency, and outpatient treatment models may provide clinically meaningful advantages even when conventional efficacy endpoints are similar.

The research further identifies the importance of treatment adherence. Biological therapies often require repeated administration over extended periods. Complex administration schedules, infusion requirements, adverse effects, and healthcare access can influence adherence. Simplified regimens and patient-centered delivery models may therefore improve real-world effectiveness.

Another significant finding concerns the role of biosimilars. Biosimilar monoclonal antibodies can potentially reduce healthcare expenditure and expand patient access. Their successful implementation depends on robust regulatory evaluation, manufacturing quality, clinical confidence, interchangeability policies where applicable, and effective pharmacovigilance. Education of healthcare professionals and patients is also important for reducing uncertainty regarding biosimilar use.

Global inequity in access to advanced biological therapies remains a major challenge. Many innovative antibody treatments are concentrated in healthcare systems with substantial financial and technological resources. Strategies involving technology transfer, regional manufacturing capacity, biosimilar development, procurement optimization, and international collaboration may improve access. Scientific progress should ultimately be accompanied by strategies ensuring that therapeutic innovations can reach populations beyond highly resourced healthcare environments.

The findings also support greater integration of health economics into early antibody development. Cost-effectiveness should not necessarily be viewed as a barrier to innovation but as a mechanism for determining how therapeutic benefits can be delivered sustainably. Economic evaluation should consider not only acquisition costs but also reductions in hospitalization, disability, disease progression, adverse-event management, and long-term healthcare utilization.

Environmental sustainability is another emerging consideration. Biological manufacturing can require substantial energy, water, single-use materials, and specialized infrastructure. Future bioprocessing research should investigate more sustainable manufacturing systems while

preserving product quality and sterility. Continuous manufacturing, process optimization, improved energy efficiency, and responsible waste management may contribute to more sustainable biologics production.

The development of digital biomarkers may further strengthen precision antibody therapy. Digital health technologies can continuously capture physiological variables, treatment adherence, patient-reported symptoms, and functional outcomes. When integrated with molecular biomarkers, these data may provide a more comprehensive assessment of therapeutic response. However, rigorous validation, data quality control, privacy protection, and regulatory oversight are essential.

Artificial intelligence may also support clinical decision-making by integrating large quantities of molecular, imaging, pharmacological, and clinical information. Predictive models could potentially identify patients most likely to respond, estimate toxicity risk, and assist in treatment sequencing. Nevertheless, algorithmic transparency, validation across diverse populations, and avoidance of biased datasets are essential for responsible implementation.

A particularly important future direction involves the development of disease-responsive antibodies. These molecules can be engineered to exploit biochemical characteristics unique to pathological environments, such as altered protease activity, pH, hypoxia, or specific molecular interactions. Conditional activation may reduce systemic exposure to active antibody functions while maintaining therapeutic activity at the disease site. Such approaches represent a transition from static targeting toward context-dependent pharmacology.

The findings also suggest that antibody therapeutics may increasingly incorporate programmable payload delivery. Beyond conventional cytotoxic compounds, antibodies could potentially deliver immune stimulators, nucleic-acid-based therapeutics, protein modulators, or other biological agents to specific cellular populations. Such approaches would expand the role of antibodies from receptor modulators to precision delivery vehicles.

Another area of considerable interest is intracellular targeting. Historically, antibodies have been most effective against extracellular or cell-surface targets because of limited intracellular access. Advances in delivery technologies and engineered antibody fragments may expand the range of intracellular targets accessible to antibody-derived therapeutics. Such developments could open therapeutic opportunities against proteins previously considered difficult or impossible to target.

The research further indicates that the distinction between antibody therapy and cellular immunotherapy may become increasingly blurred. Antibodies can be used to redirect immune cells, while engineered immune cells can incorporate antibody-derived recognition domains. The convergence of these technologies may produce therapeutic systems combining the specificity of antibodies with the biological amplification capacity of living cells.

Immunotherapy may also become increasingly personalized at the level of molecular architecture. Rather than selecting from a fixed library of standardized therapies, future technologies may enable rapid design and optimization of antibody constructs according to specific patient or disease characteristics. Although such individualized biologics remain technologically challenging, advances in computational design and modular protein engineering make increasingly personalized therapeutic concepts scientifically plausible.

The research also emphasizes the importance of rigorous translational models. Animal models can provide essential information concerning pharmacology and toxicity, but differences in immune systems, target expression, Fc receptor biology, and disease microenvironment can

limit their predictive accuracy. Improved humanized models, organoids, ex vivo tissue systems, and microphysiological platforms may improve translational relevance.

Organoid and tissue-engineering technologies may be particularly valuable for evaluating antibody penetration and response in patient-derived systems. Such models could potentially enable preclinical comparison of multiple antibody candidates using biologically relevant tissue architectures. Their integration with genomic and transcriptomic characterization may further support individualized therapeutic development.

Another major finding concerns the increasing importance of structural biology. High-resolution structural information can reveal antibody-epitope interactions, receptor conformational states, and mechanisms of antibody-mediated signaling modulation. Cryo-electron microscopy, X-ray crystallography, computational modeling, and molecular dynamics can contribute to rational antibody optimization. Structural information may be particularly valuable for designing antibodies that discriminate between pathological and physiological molecular states.

The field is also moving toward increasingly sophisticated developability assessment. A therapeutically effective antibody must not only bind its target but also possess acceptable solubility, stability, aggregation resistance, manufacturability, and pharmacokinetic characteristics. Early identification of developability liabilities can prevent costly late-stage failures. Consequently, antibody discovery pipelines should integrate biological potency with developability criteria from the earliest stages.

The clinical success requires alignment between regulatory strategy and technological innovation. Novel antibody formats may not fit neatly within established development paradigms. Regulatory authorities therefore need scientifically appropriate approaches for evaluating complex biologics while maintaining rigorous standards of safety and efficacy. Early interaction among developers, regulators, clinicians, and analytical scientists may facilitate more efficient development.

The overall findings support a transition toward integrated antibody systems pharmacology. Instead of studying target binding, pharmacokinetics, immune effects, toxicity, and clinical response as isolated phenomena, future research should model them as interconnected components of one biological system. Systems pharmacology can help explain why patients differ in response and identify interactions that may not be apparent from single-variable analyses.

The evidence therefore indicates that the next generation of monoclonal antibody research should be characterized by deeper mechanistic understanding, greater molecular precision, dynamic biomarker assessment, rational therapeutic combinations, improved tissue targeting, and patient-centered clinical implementation. The scientific challenge is increasingly not the creation of another antibody molecule but the construction of a complete therapeutic strategy in which molecular target, antibody architecture, delivery system, biomarker profile, pharmacological exposure, immune environment, treatment sequence, and patient characteristics are coherently integrated.

The monoclonal antibody-based immunotherapy represents a continuously evolving platform rather than a completed therapeutic technology. Its future development will depend on the ability to translate increasingly complex biological information into clinically actionable decisions. Advances in artificial intelligence, single-cell biology, spatial profiling, protein engineering, computational pharmacology, and real-world evidence provide the technological foundation for this transition. The ultimate objective should be the development of safer, more

effective, more durable, and more accessible immunotherapeutic interventions that are dynamically matched to the molecular and immunological characteristics of individual diseases and patients.

CONCLUSION

- Monoclonal antibody-based immunotherapy has emerged as a transformative component of contemporary medicine, integrating molecular immunology, pharmacology, biotechnology, bioengineering, and precision medicine into increasingly sophisticated therapeutic strategies. The evidence reviewed demonstrates that monoclonal antibodies have progressed from conventional antigen-specific biological agents to multifunctional therapeutic platforms capable of receptor blockade, ligand neutralization, immune-cell recruitment, cellular depletion, immune-checkpoint modulation, targeted drug delivery, and simultaneous engagement of multiple molecular pathways.
- A major conclusion is that therapeutic efficacy depends on substantially more than antibody–antigen binding. Target biology, epitope characteristics, antibody architecture, Fc-mediated effector functions, pharmacokinetics, tissue penetration, immune competence, disease heterogeneity, and the tumor or inflammatory microenvironment collectively determine clinical outcomes. Consequently, the future development of antibody therapeutics requires integrated optimization of molecular structure, pharmacodynamic activity, therapeutic exposure, and patient-specific biological characteristics.
- Precision medicine has become particularly important because therapeutic responses remain heterogeneous. Biomarker discovery involving genomic, transcriptomic, proteomic, immunological, and spatial information can improve patient selection and facilitate identification of mechanisms underlying response and resistance. Single-cell and multi-omics technologies, together with artificial intelligence and computational biology, are expected to further strengthen individualized treatment strategies.
- Next-generation antibody formats, including antibody-drug conjugates, bispecific and multispecific antibodies, Fc-engineered molecules, and conditionally activated constructs, demonstrate the expanding potential of antibody bioengineering. These innovations provide opportunities to overcome limitations of conventional therapies, although they simultaneously introduce challenges involving toxicity, immunogenicity, manufacturing, pharmacokinetic optimization, and regulatory evaluation.
- Therapeutic resistance remains a significant limitation and emphasizes the need for rational combination therapies, longitudinal biomarker monitoring, and adaptive treatment strategies. Equally, comprehensive pharmacovigilance is essential for detecting immune-related adverse events, immunogenicity, delayed toxicities, and rare complications that may emerge during widespread clinical use.
- The monoclonal antibody-based immunotherapy represents a major paradigm shift toward selective, mechanism-based, and increasingly individualized pharmacotherapy. Continued integration of immunology, precision medicine, bioengineering, biomarker science, artificial intelligence, pharmacology, and clinical research is likely to produce more effective, safer, and increasingly personalized antibody therapeutics. The future of this field will depend not simply on discovering additional molecular targets, but on developing intelligent therapeutic systems capable of matching the right antibody, mechanism, dose, combination, and treatment strategy to the biological characteristics of each patient and disease.

RECOMMENDATIONS

- **Strengthen molecular target identification and validation;** Future monoclonal antibody development should prioritize biologically validated targets with demonstrated causal relevance to disease progression. Target selection should incorporate molecular function, tissue distribution, antigen density, disease heterogeneity, and potential expression in healthy tissues to maximize therapeutic selectivity and minimize off-target toxicity.
- **Expand biomarker-guided precision medicine;** Clinical implementation should increasingly incorporate validated predictive and pharmacodynamic biomarkers to identify patients most likely to benefit from specific antibody therapies. Genomic, transcriptomic, proteomic, immunological, and spatial biomarkers should be integrated into multidimensional patient-selection frameworks rather than relying on individual biomarkers alone.
- **Develop longitudinal biomarker monitoring;** Because disease biology and therapeutic response evolve over time, serial assessment should complement baseline testing. Circulating biomarkers, liquid biopsies, immune profiling, and advanced imaging may facilitate early detection of therapeutic response, emerging resistance, and molecular disease progression.
- **Accelerate next-generation antibody engineering;** Research should continue to advance bispecific and multispecific antibodies, antibody-drug conjugates, Fc-engineered molecules, antibody fragments, nanobody-based platforms, and conditionally activated antibodies. Molecular engineering should prioritize an optimal balance between specificity, potency, tissue penetration, pharmacokinetic stability, and safety.
- **Improve pharmacokinetic and pharmacodynamic optimization;** Model-informed drug development, population pharmacokinetics, exposure-response analysis, target-engagement measurements, and pharmacodynamic biomarkers should be incorporated more extensively into clinical development. These approaches can support rational dose selection and reduce unnecessary exposure.
- **Strengthen strategies against therapeutic resistance.** Research should investigate antigen loss, molecular pathway redundancy, immune exhaustion, altered antigen presentation, tumor heterogeneity, and immunosuppressive microenvironments. Rational combination and sequential therapies should be developed according to defined resistance mechanisms rather than empirical treatment combinations.
- **Enhance safety monitoring and pharmacovigilance;** Comprehensive surveillance systems should be maintained throughout the entire therapeutic lifecycle. Particular attention should be directed toward immune-related adverse events, cytokine-mediated toxicities, infections, hypersensitivity, immunogenicity, and delayed complications. Real-world evidence should complement randomized clinical trial data.
- **Integrate artificial intelligence and multi-omics technologies;** Artificial intelligence should be further investigated for antibody discovery, epitope prediction, structural optimization, biomarker identification, resistance prediction, and treatment-response modeling. Computational predictions should remain closely integrated with experimental validation and clinical evidence.
- **Improve manufacturing and regulatory frameworks;** Development of increasingly complex antibody formats requires advanced analytical technologies, robust manufacturing processes, standardized quality-control systems, and internationally harmonized regulatory

approaches. Critical quality attributes should be rigorously monitored throughout production.

- **Promote accessibility and health-system sustainability;** The clinical benefits of antibody therapies should be evaluated alongside cost-effectiveness, affordability, and equitable access. Biosimilars and optimized manufacturing strategies should be supported where appropriate to reduce financial barriers while maintaining rigorous standards of efficacy, quality, and safety.
- **Strengthen interdisciplinary and translational collaboration;** Future progress requires coordinated collaboration among immunologists, pharmacologists, oncologists, molecular biologists, bioengineers, computational scientists, clinicians, regulatory specialists, and health economists. Such integration can accelerate translation from molecular discovery to clinically meaningful therapeutic innovation.
- **Prioritize adaptive and individualized treatment models;** Future clinical practice should progressively move toward dynamic precision immunotherapy in which treatment selection, dosing, combination strategies, and sequencing are modified according to continuously evolving molecular and clinical information. This approach may maximize durable therapeutic benefit while reducing ineffective treatment and avoidable toxicity.

REFERENCES

1. Advani A, McDonough S, Coutre S, et al. Southwest Oncology Group Study S0910: A Phase 2 Trial of Clofarabine/ Cytarabine/ Epratuzumab for Relapsed/ Refractory Acute Lymphocytic Leukemia. [ASH abstract 2603]. Blood. 2012;120:2603.
2. Advani AS, Gundacker HM, Sala-Torra O, et al. Southwest Oncology Group Study S0530: a phase 2 trial of clofarabine and cytarabine for relapsed or refractory acute lymphocytic leukaemia. Br J Haematol. 2010;151:430-434.
3. Thorson JS, Sievers EL, Ahlert J, et al. Understanding and exploiting nature's chemical arsenal: the past, present and future of calicheamicin research. Curr Pharm Des. 2000;6:1841-1879.
4. Advani A, Coiffier B, Czuczman MS, et al. Safety, pharmacokinetics, and preliminary clinical activity of inotuzumab ozogamicin, a novel immunoconjugate for the treatment of B-cell non-Hodgkin's lymphoma: results of a phase I study. J Clin Oncol. 2010;28:2085-2093.
5. Kantarjian H, Thomas D, Jorgensen J, et al. Inotuzumab ozogamicin, an anti-CD22-calecheamicin conjugate, for refractory and relapsed acute lymphocytic leukaemia: a phase 2 study. Lancet Oncol. 2012;13:403-411.
6. O'Brien S, Thomas DA, Jorgensen JL, et al. Experience with 2 Dose Schedules of Inotuzumab Ozogamicin, Single Dose, and Weekly, in Refractory-Relapsed Acute Lymphocytic Leukemia (ALL). ASH Annual Meeting Abstracts. 2012;120:671.
7. Nagorsen D, Kufer P, Baeuerle PA, et al. Blinatumomab: a historical perspective. Pharmacol Ther. 2012;136:334-342.
8. Goebeler M, Viardot A, Noppeney R, et al. Session 6: Targeting the Lymphoma Cell Surface; 068 Blinatumomab (CD3/CD19 BITE antibody) results in a high response rate in patients with relapsed non-Hodgkin lymphoma (NHL) including MCL and DLBCL. In: 11th International Conference on Malignant Lymphoma. Lugano, Switzerland: Annals of Oncology; 2011.
9. Topp MS, Gokbuget N, Zugmaier G, et al. Long-term follow-up of hematologic relapse-free survival in a phase 2 study of blinatumomab in patients with MRD in B-lineage ALL. Blood. 2012;120:5185-5187.
10. Topp MS, Goekbuget N, Zugmaier G, et al. Anti-CD19 BiTE Blinatumomab Induces High Complete Remission Rate and Prolongs Overall Survival in Adult Patients with Relapsed/Refractory B-Precursor Acute Lymphoblastic Leukemia (ALL). ASH Annual Meeting Abstracts. 2012;120:670.

11. Kreitman RJ, Pastan I. Antibody fusion proteins: anti-CD22 recombinant immunotoxin moxetumomab pasudotox. Clin Cancer Res. 2011;17:6398-6405.
12. Wayne AS, Kreitman RJ, Findley HW, et al. Anti-CD22 immunotoxin RFB4(dsFv)-PE38 (BL22) for CD22-positive hematologic malignancies of childhood: preclinical studies and phase I clinical trial. Clin Cancer Res. 2010;16:1894-1903.
13. Wayne AS, Bhojwani D, Silverman LB, et al. A Novel Anti-CD22 Immunotoxin, Moxetumomab Pasudotox: Phase I Study in Pediatric Acute Lymphoblastic Leukemia (ALL). ASH Annual Meeting Abstracts. 2011;118:248.
14. Herrera L, Bostrom B, Gore L, et al. A phase 1 study of Combotox in pediatric patients with refractory B-lineage acute lymphoblastic leukemia. J Pediatr Hematol Oncol. 2009;31:936-941.
15. Park JH, Brentjens RJ. Adoptive immunotherapy for B-cell malignancies with autologous chimeric antigen receptor modified tumor targeted T cells. Discov Med. 2010;9:277-288.
16. Park JH, Sauter C, Brentjens R. Cellular therapies in acute lymphoblastic leukemia. Hematol Oncol Clin North Am. 2011;25:1281-1301.
17. Porter DL, Levine BL, Kalos M, et al. Chimeric antigen receptor-modified T cells in chronic lymphoid leukemia. N Engl J Med. 2011;365:725-733.
18. Kochenderfer JN, Dudley ME, Feldman SA, et al. B-cell depletion and remissions of malignancy along with cytokine-associated toxicity in a clinical trial of anti-CD19 chimeric-antigen-receptor-transduced T cells. Blood. 2012;119:2709-2720.
19. Haso W, Lee DW, Shah NN, et al. Anti-CD22-chimeric antigen receptors targeting B cell precursor acute lymphoblastic leukemia. Blood. Epub 18 Dec 2012.
20. Han LN, He S, Wang YT, Yang LM, Liu SY, Zhang T. Advances in monoclonal antibody application in myocarditis. J Zhejiang Univ Sci B. 2013 Aug;14(8):676-87.
21. Dank M, Tõkés T. Monoklonális antitest-terápia emlõrákban [Monoclonal antibody therapy in breast cancer]. Magy Onkol. 2013 Sep;57(3):157-65. Hungarian. Epub 2013 Aug 9.
22. Stopforth RJ, Cleary KL, Cragg MS. Regulation of Monoclonal Antibody Immunotherapy by FcγRIIB. J Clin Immunol. 2016 May;36 Suppl 1:88-94. doi: 10.1007/s10875-016-0247-8. Epub 2016 Feb 27.
23. Bruhns P, Iannascoli B, England P, Mancardi DA, Fernandez N, Jorieux S, et al. Specificity and affinity of human Fcgamma receptors and their polymorphic variants for human IgG subclasses. Blood. 2009;113(16):3716–25.
24. Lim SH, Vaughan AT, Ashton-Key M, Williams EL, Dixon SV, Chan HT, et al. Fc gamma receptor IIb on target B cells promotes rituximab internalization and reduces clinical efficacy. Blood. 2011;118(9):2530–40.
25. Budde P, Bewarder N, Weinrich V, Schulzeck O, Frey J. Tyrosine-containing sequence motifs of the human immunoglobulin G receptors FcRIIb1 and FcRIIb2 essential for endocytosis and regulation of calcium flux in B cells. J Biol Chem. 2014;269(48):30636–44.
26. Brooks DG, Qiu WQ, Luster AD, Ravetch JV. Structure and expression of human IgG FcRII(CD32). Functional heterogeneity is encoded by the alternatively spliced products of multiple genes. J Exp Med. 2019;170(4):1369–85.
27. Goede V, Fischer K, Busch R, Engelke A, Eichhorst B, Wendtner CM, et al. Obinutuzumab plus chlorambucil in patients with CLL and coexisting conditions. N Engl J Med. 2014;370(12):1101–10.
28. White AL, Chan HT, Roghanian A, French RR, Mockridge CI, Tutt AL, et al. Interaction with FcgammaRIIB is critical for the agonistic activity of anti-CD40 monoclonal antibody. J Immunol. 2011;187(4):1754–63.
29. Li F, Ravetch JV. Inhibitory Fcgamma receptor engagement drives adjuvant and anti-tumor activities of agonistic CD40 antibodies. Science. 2011;333(6045):1030–4.
30. Clynes RA, Towers TL, Presta LG, Ravetch JV. Inhibitory Fc receptors modulate in vivo cytotoxicity against tumor targets. Nat Med. 2000;6(4):443–6.

31. Nimmerjahn F, Ravetch JV. Divergent immunoglobulin g subclass activity through selective Fc receptor binding. Science. 2005;310(5753):1510–2.
32. DiLillo DJ, Ravetch JV. Differential Fc-Receptor engagement drives an anti-tumor vaccinal effect. Cell. 2015;161(5):1035–45.
33. Schwab I, Lux A, Nimmerjahn F. Pathways responsible for human autoantibody and therapeutic intravenous IgG Activity in humanized mice. Cell Rep. 2015;13(3):610–20.
34. Hargreaves CE, Rose-Zerilli MJ, Machado LR, Iriyama C, Hollox EJ, Cragg MS, et al. Fcgamma receptors: genetic variation, function, and disease. Immunol Rev. 2015;268(1):6–24.
35. Nelson PN, Reynolds GM, Waldron EE, Ward E, Giannopoulos K, Murray PG. Monoclonal antibodies. Mol Pathol. 2000 Jun;53(3):111-7.
36. Burioni R, Lang AB, Capra JD. Human monoclonal antibodies as a new class of antiinfective compounds. Clin Dev Immunol. 2013;2013:297120. doi: 10.1155/2013/297120.
37. Levene AP, Singh G, Palmieri C. Therapeutic monoclonal antibodies in oncology. J R Soc Med. 2005 Apr;98(4):146-52.
38. 16. Byrd J, Murphy T, Howard R, et al. Rituximab using a thrice weekly dosing schedule in B-cell chronic lymphocytic leukemia and small cell lymphocytic lymphoma demonstrated clinical activity and acceptable toxicity. J Clin Oncol 2001;19: 2153-64
39. Brien S, Kantarjian H, Thomas D, et al. Rituximab dose escalation trial in chronic lymphocytic leukemia. J Clin Oncol 2001;19: 2165-70
40. Hainsworth J, Litchy S, Barton J, et al. Single-agent rituximab as first-line and maintenance treatment for patients with chronic lymphocytic leukemia or small-cell lymphocytic lymphoma: a phase II trial of the Minnie Pearl Cancer Research Network. J Clin Oncol 2003;21: 1746-51
41. Kamath AV. Translational pharmacokinetics and pharmacodynamics of monoclonal antibodies. Drug Discov Today Technol. 2016 Sep-Dec;21-22:75-83.
42. Epenetos AA, Kosmas C. Monoclonal antibodies for imaging and therapy. Br J Cancer. 2009, Feb;59(2):152-5.
43. Hiatt A, Whaley KJ, Zeitlin L. Plant-Derived Monoclonal Antibodies for Prevention and Treatment of Infectious Disease. Microbiol Spectr. 2014 Feb;2(1):AID-0004-2012.
44. Demlova R, Valík D, Obermannova R, ZdraŽilová-Dubská L. The safety of therapeutic monoclonal antibodies: implications for cancer therapy including immuno-checkpoint inhibitors. Physiol Res. 2016 Dec 21;65(Suppl 4):S455-S462.
45. Drewe E, Powell RJ. Clinically useful monoclonal antibodies in treatment. J Clin Pathol. 2002 Feb;55(2):81-5. doi: 10.1136/jcp.55.2.81. PMID: 11864998; PMCID: PMC1769580.
46. Smith SA, Chruszcz M, Chapman MD, Pomés A. Human Monoclonal IgE Antibodies-a Major Milestone in Allergy. Curr Allergy Asthma Rep. 2023 Jan;23(1):53-65. doi: 10.1007/s11882-022-01055-w.
47. Lycke J, Svenningsson A. Long-term treatment with anti-CD20 monoclonal antibodies is untenable because of risk: Commentary. Mult Scler. 2022 Jul;28(8):1177-1178.
48. Benavente, S.; Huang, S.; Armstrong, E.A.; Chi, A.; Hsu, K.T.; Wheeler, D.L.; Harari, P.M. Establishment and Characterization of a Model of Acquired Resistance to Epidermal Growth Factor Receptor Targeting Agents in Human Cancer Cells. Clin. Cancer Res. 2009, 15, 1585–1592.
49. Ahmad, A. Current Updates on Trastuzumab Resistance in HER2 Overexpressing Breast Cancers. In Advances in Experimental Medicine and Biology; Springer: Cham, Switzerland, 2019; Volume 1152, pp. 217–228.
50. Mishima, Y.; Terui, Y.; Takeuchi, K.; Matsumoto-Mishima, Y.; Matsusaka, S.; Utsubo-Kuniyoshi, R.; Hatake, K. The Identification of Irreversible Rituximab-Resistant Lymphoma Caused by CD20 Gene Mutations. Blood Cancer J. 2011, 1, e15–e18.
51. Sickmier, E.A.; Kurzeja, R.J.M.; Michelsen, K.; Vazir, M.; Yang, E.; Tasker, A.S. The Panitumumab EGFR Complex Reveals a Binding Mechanism That Overcomes Cetuximab Induced Resistance. PLoS ONE 2016, 11, e0163366.

52. Patel, D.; Lahiji, A.; Patel, S.; Franklin, M.; Jimenez, X.; Hicklin, D.J.; Kang, X. Monoclonal Antibody Cetuximab Binds to and Down-Regulates Constitutively Activated Epidermal Growth Factor Receptor VIII on the Cell Surface. Anticancer Res. 2007, 27, 3355–3366.
53. Czuczman, M.S.; Olejniczak, S.; Gowda, A.; Kotowski, A.; Binder, A.; Kaur, H.; Knight, J.; Starostik, P.; Deans, J.; Hernandez-Ilizaliturri, F.J. Acquirement of Rituximab Resistance in Lymphoma Cell Lines Is Associated with Both Global CD20 Gene and Protein Down-Regulation Regulated at the Pretranscriptional and Posttranscriptional Levels. Clin. Cancer Res. 2008, 14, 1561–1570.
54. Nijhof, I.S.; Casneuf, T.; Van Velzen, J.; Van Kessel, B.; Axel, A.E.; Syed, K.; Groen, R.W.J.; Van Duin, M.; Sonneveld, P.; Minnema, M.C.; et al. CD38 Expression and Complement Inhibitors Affect Response and Resistance to Daratumumab Therapy in Myeloma. Blood 2016, 128, 959–970.
55. Seo, Y.; Ishii, Y.; Ochiai, H.; Fukuda, K.; Akimoto, S.; Hayashida, T.; Okabayashi, K.; Tsuruta, M.; Hasegawa, H.; Kitagawa, Y. Cetuximab-Mediated ADCC Activity Is Correlated with the Cell Surface Expression Level of EGFR but Not with the KRAS/BRAF Mutational Status in Colorectal Cancer. Oncol. Rep. 2014, 31, 2115–2122.
56. Lee, S.C.; López-Albaitero, A.; Ferris, R.L. Immunotherapy of Head and Neck Cancer Using Tumor Antigen-Specific Monoclonal Antibodies. Curr. Oncol. Rep. 2009, 11, 156–162.
57. Braig, F.; Kriegs, M.; Voigtlaender, M.; Habel, B.; Grob, T.; Biskup, K.; Blanchard, V.; Sack, M.; Thalhammer, A.; Batalla, I.B.; et al. Cetuximab Resistance in Head and Neck Cancer Is Mediated by EGFR-K521 Polymorphism. Cancer Res. 2017, 77, 1188–1199.
58. Nakadate, Y.; Kodera, Y.; Kitamura, Y.; Shirasawa, S.; Tachibana, T.; Tamura, T.; Koizumi, F. KRAS Mutation Confers Resistance to Antibody-Dependent Cellular Cytotoxicity of Cetuximab against Human Colorectal Cancer Cells. Int. J. Cancer 2014, 134, 2146–2155.
59. Valabrega, G.; Montemurro, F.; Aglietta, M. Trastuzumab: Mechanism of Action, Resistance and Future Perspectives in HER2-Overexpressing Breast Cancer. Ann. Oncol. 2007, 18, 977–984.
60. Gennari, R.; Menard, S.; Fagnoni, F.; Ponchio, L.; Scelsi, M.; Tagliabue, E.; Castiglioni, F.; Villani, L.; Magalotti, C.; Gibelli, N.; et al. Pilot Study of the Mechanism of Action of Preoperative Trastuzumab in Patients with Primary Operable Breast Tumors Overexpressing HER2. Clin. Cancer Res. 2004, 10, 5650–5655.
61. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Gabunia L, Giorgobiani M, Beglaryan M. The key issue aspects of manifestation of particularities of monoclonal antibodies in miscellaneous immunotherapeutic directions. In: *6-th International Scientific Researches and Innovation Congress*. Ankara, Turkey; 2023:563-587.
62. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M. The key issue aspects, characteristics and effects of antioxidants in miscellaneous immunotherapeutic directions. In: *6-th International Scientific Researches and Innovation Congress*. Ankara, Turkey; 2023:588-609.
63. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Alavidze N. Key finding concepts of characteristics outlooks for the use of monoclonal antibodies in immunotherapy. In: *III International Scientific and Practical Conference: "Modern Pharmacy -- Science and Practice"*. Kutaisi, Georgia; 2023:220-235.
64. Sulashvili N, Alavidze N, Gabunia L, Beglaryan M, Sulashvili M. The manifestation of topical issue aspects of particularities of monoclonal antibodies in clinical pharmacology and clinical pharmacy. In: *Scientific and Practical International Conference: "Topical Issues of Clinical Pharmacology and Clinical Pharmacy"*. Kharkiv, Ukraine; 2023:55-77.
65. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Beglaryan M, Gabunia L. Manifestation of features of modern pharmacotherapy achievements, problems and improvement of use monoclonal antibodies in medicine. In: *1st International Scientific and Practical Conference: "Modern Antimicrobial Therapy: Problems and Ways of Improvement"*. Kharkiv, Ukraine; 2023:33-38.
66. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Beglaryan M, Gabunia L, Alavidze N, et al. The key issue aspects related of action and outlook of use monoclonal antibodies in miscellaneous immunotherapeutic directions. In: *III International Architectural Sciences & Applications Symposium*. Naples, Italy; 2023:1785-1810.

67. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Chichoyan N, Gabunia L, et al. The disclosure of features, characteristics, possibilities and specialties of clinical pharmacists as mediator among doctors and patients for enhancement public health sector in a global world. *Exp Clin Med*. 2023;(4):57-61.
68. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Gabunia L, Giorgobiani M, Beglaryan M. The manifestation of key issue aspects of characteristics of monoclonal antibodies achievements and perspectives in pharmacotherapeutic practice in therapeutic applications. In: *International Scientific Conference "Chemistry - Achievements and Perspectives"*. Tbilisi, Georgia; 2023:154-156.
69. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Gabunia L, Giorgobiani M, Beglaryan M. The particularities of monoclonal antibodies achievements and perspectives in pharmacotherapeutic practice in therapeutic applications. In: *Collection of Scientific Works of the International Scientific Conference "Chemistry - Achievements and Prospects"*. Tbilisi, Georgia; 2023:375-405.
70. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M. The key issue aspects of manifestation of features of the effects of cisplatin in various clinical applications and safety challenges. In: *First International Scientific-Practical Conference in Health Innovations & Research: Prognosis, Achievement and Challenges*. Tallinn, Estonia; 2023:15-16.
71. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Chakhnashvili K, et al. The manifestation of key issue aspects of features of the effects of cisplatin in various clinical applications and safety challenges. *Ambiance in Life (ALISJMSC)*. 2023;15(01):49-66.
72. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Gabunia L, Ratiani L, Sulashvili M, et al. The scientific discussion of some key issue aspects of features, characteristics, action and cytotoxicity of temozolomide in cancer chemotherapy in general. In: *5 Baskent International Conference on Multidisciplinary Studies*. Ankara, Turkey; 2023:1019-1040.
73. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Gabunia L. The key issue aspects of manifestation of features of novel lectin-rich protein fractions and their antimicrobial activities. In: *III Scientific and Practical International Conference, "Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine"*. Kharkiv, Ukraine; 2025:30-33.
74. Sulashvili N, Beglaryan M, Gabunia L, Gorgaslidze N, Alavidze N, et al. The manifestation of key issue aspects of broad spectrum of degradable triazole polymers for cutting-edge of biomedical applications. In: *III Scientific and Practical International Conference, "Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine"*. Kharkiv, Ukraine; 2025:38-41.
75. Sulashvili N, Alavidze N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, et al. The key issue aspects of clinical pharmacists' approaches in physical rehabilitation medicine, physical therapy, and occupational therapy. In: *All-Ukrainian International Scientific Conference: "Multidisciplinary Approach in Physical Rehabilitation Medicine"*. Kharkiv, Ukraine; 2025:246-251.
76. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Gabunia L. The scientific discussion of some issues of features and challenges of using of Car-T cells in immunotherapy. *Georgian Scientists*. 2024;6(4):263-290.
77. Sulashvili N, Beglaryan M, Gabunia L, Gorgaslidze N, Davitashvili M, et al. The manifestation of key characteristics of scientific research, examination, concern, innovative approaches of the use of Car-T cells in medicine and some clinical potential standpoints in general. In: *III International Scientific and Practical Conference: "Modern Aspects of the Achievements of Fundamental and Applied Medical and Biological Directions of Medical and Pharmaceutical Education and Science"*. Kharkiv, Ukraine; 2024:95-119.
78. Sulashvili N, Beglaryan M, Gabunia L, Gorgaslidze N, Davitashvili M, et al. The manifestation of scientific inquiry and analyzing the impact of key issue determinants on pharmacists' career formation in general: a comprehensive estimation and modern directions of pharmacist vocational potential and organisational aspects in healthcare system. In: *III International Scientific and Practical Conference: "Modern Aspects of the Achievements of Fundamental and Applied Medical and Biological Directions of Medical and Pharmaceutical Education and Science"*. Kharkiv, Ukraine; 2024:144-170.
79. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Gabunia L. The manifestation of key issue features in immunopharmacology of potential applications of zeolite-containing Geomin Forte as food supplement

in general. In: *III Scientific and Practical International Conference, "Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine"*. Kharkiv, Ukraine; 2025:33-37.
80. Sulashvili N, Beglaryan M, Gabunia L, Gorgaslidze N, Alavidze N, et al. Cutting-edge breakthroughs and emerging challenges in modern pharmacotherapy: optimizing antioxidant strategies for enhanced immunotherapy efficacy and patient outcomes. In: *III Scientific and Practical International Conference, "Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine"*. Kharkiv, Ukraine; 2025:61-63.
81. Sulashvili N, Beglaryan M, Gabunia L, Gorgaslidze N, Alavidze N, et al. The manifestation of key issue aspects of role of the pharmacist in ensuring the rational use of medicines and pharmacotherapy in general. In: *III Scientific and Practical International Conference, "Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine"*. Kharkiv, Ukraine; 2025:54-56.
82. Beglaryan M, Chichoyan N, Hanisyan R, Sulashvili N. Characteristics and factors, influencing customer behavior. *Bull Med Inst After Mehrabyan*. 2021;10:107-118.
83. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, et al. The scientific discussion of manifestation of key isuue aspects of a unique lectin enriched protein fraction derived from *Mentha pulegium* and *Artemisia dracunculus*: some characteristics, prospectives, prognosis, achievements and challenges in medical applications in general. In: *First International Scientific-Practical Conference: "Technology & Devices in Modern Medicine: Prognosis, Achievement, and Challenges"*. Tallinn, Estonia; 2025:18-20.
84. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Gabunia L, Beglaryan M, Alavidze N, et al. The key issue aspects of features of simulation of inflammatory pain through AMPA receptor subunits of exosome origin. *Glob J Med Res A Neurol Nerv Syst*. 2024;24(1):18-35.
85. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Chichoyan N, Gabunia L, et al. The singularities of pharmacists' professional aspiration, development, perfection and social pharmacy state problems, prospects, pharmaceutical education and management features in general. In: *III International Scientific and Practical Conference: "Fundamental and Applied Research in the Field of Pharmaceutical Technology"*. Kharkiv, Ukraine; 2023:166-199.
86. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N. Modern features and challenges of the pharmacist profession, viewed by the patients and public health specialists via pharmaceutical care direction in public health settings. *Bull Med Inst After Mehrabyan*. 2020;9:105-120.
87. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Chichoyan N, Gabunia L, et al. The scientific discussion of singularities of pharmacists' professional challenges, professional accomplishment and future prospects in the light of clinical pharmacy direction in Georgia in general and in Eastern Europe. In: *5 Baskent International Conference on Multidisciplinary Studies*. Ankara, Turkey; 2023:990-1018.
88. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Lobjanidze T, Tkeshelashvili V, et al. The scientific talks of manifestation of some particularities, mechanism action and toxicities of cisplatin in cancer chemotherapy and in general. In: *Ankara International Congress on Scientific Research-IX*. Ankara, Turkey; 2023:1172-1195.
89. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Chichoyan N, Gabunia L, et al. The scientific talks of manifestation of particularities of pharmacist profession, modern professional challenges, pharmaceutical sciences, education, prospects, innovations and society. In: *6-th International Scientific Researches and Innovation Congress*. Ankara, Turkey; 2023:632-654.
90. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M. The manifestation of some features of rational pharmacotherapy, drug safety, age and side effects. In: *III Scientific and Practical International Conference, "Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine"*. Kharkiv, Ukraine; 2024:35-40.
91. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Gabunia L, Sulashvili M. The manifestation of some particularities of antioxidants' role in immunology and immunotherapy. In: *III Scientific and Practical International Conference, "Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine"*. Kharkiv, Ukraine; 2024:40-43.

92. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Gabunia L, Sulashvili M. The manifestation of some features immunological, immunopathological and molecular aspects of cancer pathogenesis and treatment challenges. In: *III Scientific and Practical International Conference, "Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine"*. Kharkiv, Ukraine; 2024:61-66.
93. Gorgaslidze N, Sulashvili N, Pantsulaia I, Giorgobiani M. The manifestation role of antioxidants in maintaining cellular redox homeostasis during various pathological processes. *PIRETC J Soc Res Behav Sci*. 2023;25(04):20-57.
94. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M. Key issue aspects of manifestation of features of use of monoclonal antibodies in miscellaneous immunotherapeutic directions. In: *IArcSAS-2023*. Naples, Italy; 2023.
95. Sulashvili N. *Peculiarities of professional and career improvement strategy for pharmacists* [dissertation]. Yerevan: Yerevan State Medical University; 2019.
96. Kasper, S.; Reis, H.; Ziegler, S.; Nothdurft, S.; Mueller, A.; Goetz, M.; Wiesweg, M.; Phasue, J.; Ting, S.; Wieczorek, S.; et al. Molecular Dissection of Effector Mechanisms of RAS-Mediated Resistance to Anti-EGFR Antibody Therapy. Oncotarget 2017, 8, 45898–45917.
97. Cuyàs, E.; Queralt, B.; Martin-Castillo, B.; Bosch-Barrera, J.; Menendez, J.A. EphA2 Receptor Activation with Ephrin-A1 Ligand Restores Cetuximab Efficacy in NRAS-Mutant Colorectal Cancer Cells. Oncol. Rep. 2017, 38, 263–270.
98. Ozawa, H.; Ranaweera, R.S.; Izumchenko, E.; Makarev, E.; Zhavoronkov, A.; Fertig, E.J.; Howard, J.D.; Markovic, A.; Bedi, A.; Ravi, R.; et al. SMAD4 Loss Is Associated with Cetuximab Resistance and Induction of MAPK/JNK Activation in Head and Neck Cancer Cells. Clin. Cancer Res. 2017, 23, 5162–5175.
99. Xue, F.; Liu, Y.; Chu, H.; Wen, Y.; Yan, L.; Tang, Q.; Xiao, E.; Zhang, D.; Zhang, H. EIF5A2 Is an Alternative Pathway for Cell Proliferation in Cetuximab-Treated Epithelial Hepatocellular Carcinoma. Am. J. Transl. Res. 2016, 8, 4670–4681.
100. Kong, X.; Zhang, K.; Wang, X.; Yang, X.; Li, Y.; Zhai, J.; Xing, Z.; Qi, Y.; Gao, R.; Feng, X.; et al. Mechanism of Trastuzumab Resistance Caused by HER-2 Mutation in Breast Carcinomas. Cancer Manag. Res. 2019, 11, 5971–5982. [
101. Chandarlapaty, S.; Sakr, R.A.; Giri, D.; Patil, S.; Heguy, A.; Morrow, M.; Modi, S.; Norton, L.; Rosen, N.; Hudis, C.; et al. Frequent Mutational Activation of the PI3K-AKT Pathway in Trastuzumab-Resistant Breast Cancer. Clin. Cancer Res. 2012, 18, 6784–6791.
102. Jazirehi, A.R.; Vega, M.I.; Bonavida, B. Development of Rituximab-Resistant Lymphoma Clones with Altered Cell Signaling and Cross-Resistance to Chemotherapy. Cancer Res. 2007, 67, 1270–1281.
103. Schmitz, S.; Bindea, G.; Albu, R.I.; Mlecnik, B.; Machiels, J.P. Cetuximab Promotes Epithelial to Mesenchymal Transition and Cancer Associated Fibroblasts in Patients with Head and Neck Cancer. Oncotarget 2015, 6, 34288–34299.
104. Martin-Aguilar L, Lleixa C, Pascual-Goni E, Caballero-Avila M, Martinez-Martinez L, Diaz-Manera J, et al. Clinical and laboratory features in anti-NF155 autoimmune nodopathy. Neurol Neuroimmunol Neuroinfamm. 2022;9(1).
105. Scheibe F, Ostendorf L, Pruss H, Radbruch H, Aschman T, Hofmann S, et al. Daratumumab for treatment-refractory antibody-mediated diseases in neurology. Eur J Neurol. 2022.
106. Beadon K, Guimaraes-Costa R, Leger JM. Multifocal motor neuropathy. Curr Opin Neurol. 2018;31(5):559–64.
107. Nobile-Orazio E, Giannotta C, Musset L, Messina P, Leger JM. Sensitivity and predictive value of anti-GM1/galactocerebroside IgM antibodies in multifocal motor neuropathy. J Neurol Neurosurg Psychiatry. 2014;85(7):754–8.
108. Sudo M, Miyaji K, Spath PJ, Morita-Matsumoto K, Yamaguchi Y, Yuki N. Polyclonal IgM and IgA block in vitro complement deposition mediated by anti-ganglioside antibodies in autoimmune neuropathies. Int Immunopharmacol. 2016;40:11–5.

109. Stock W, La M, Sanford B, et al. What determines the outcomes for adolescents and young adults with acute lymphoblastic leukemia treated on cooperative group protocols? A comparison of Children's Cancer Group and Cancer and Leukemia Group B studies. Blood. 2008;112:1646-1654.
110. Huguet F, Leguay T, Raffoux E, et al. Pediatric-inspired therapy in adults with Philadelphia chromosome-negative acute lymphoblastic leukemia: the GRAALL-2003 study. J Clin Oncol. 2009;27:911-918.
111. Kantarjian H, Thomas D, Wayne AS, et al. Monoclonal antibody-based therapies: a new dawn in the treatment of acute lymphoblastic leukemia. J Clin Oncol. 2012;30:3876-3883.
112. Dworzak MN, Schumich A, Printz D, et al. CD20 up-regulation in pediatric B-cell precursor acute lymphoblastic leukemia during induction treatment: setting the stage for anti-CD20 directed immunotherapy. Blood. 2008;112:3982-3988.
113. Thomas DA, O'Brien S, Faderl S, et al. Chemoimmunotherapy with a modified hyper-CVAD and rituximab regimen improves outcome in de novo Philadelphia chromosome-negative precursor B-lineage acute lymphoblastic leukemia. J Clin Oncol. 2010;28:3880-3889.
114. Hoelzer D, Huettmann A, Kaul F, et al. Immunochemotherapy with Rituximab Improves Molecular CR Rate and Outcome In CD20+ B-Lineage Standard and High Risk Patients; Results of 263 CD20+ Patients Studied Prospectively In GMALL Study 07/2003. ASH Annual Meeting Abstracts. 2010;116:170.
115. Carnahan J, Wang P, Kendall R, et al. Epratuzumab, a humanized monoclonal antibody targeting CD22: characterization of in vitro properties. Clin Cancer Res. 2003;9:3982S-3990S.
116. Leonard JP, Coleman M, Ketas JC, et al. Phase I/II trial of epratuzumab (humanized anti-CD22 antibody) in indolent non-Hodgkin's lymphoma. J Clin Oncol. 2003;21:3051-3059.
117. Raetz EA, Cairo MS, Borowitz MJ, et al. Chemoimmunotherapy reinduction with epratuzumab in children with acute lymphoblastic leukemia in marrow relapse: a Children's Oncology Group Pilot Study. J Clin Oncol. 2008;26:3756-3762.
118. Raetz EA, Cairo MS, Borowitz MJ, et al. Reinduction Chemoimmunotherapy with Epratuzumab in Relapsed Acute Lymphoblastic Leukemia (ALL) in Children, Adolescents and Young Adults: Results From Children's Oncology Group (COG) Study ADVL04P2. ASH Annual Meeting Abstracts. 2011;118:573.
119. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Gabunia L, Giorgobiani M, Beglaryan M. Manifestation of the particularities of some key issue aspects of new immunotherapy challenges and perspectives by CAR-T cell therapy. *Exp Clin Med*. 2024;(4):119-122.
120. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Gabunia L, Giorgobiani M, Beglaryan M. The manifestation of key issue aspects of the effects of cisplatin in various clinical applications and safety challenges. In: *Health Innovations & Research: Prognosis, Achievement and Challenges*. Tallinn, Estonia; 2023:15-16.
121. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, et al. The manifestation of features of some key issue aspects of anti-tumor remedy temozolomide use in cancer chemotherapy. In: *VII International Scientific and Practical Conference: "Medicines for Humans"*. Kharkiv, Ukraine; 2024:89-95.
122. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Gabunia L, Beglaryan M, Alavidze N, et al. The manifestation of key issue aspects of features of the effects of cisplatin in various clinical applications and safety challenges. *Ambiance in Life (ALISJMSC)*. 2023;15(01):49-66.
123. Vlam L, Cats EA, Harschnitz O, Jansen MD, Piepers S, Veldink JH, et al. Complement activity is associated with disease severit in multifocal motor neuropathy. Neurol Neuroimmunol Neuroinfamm. 2015;2(4):e119.
124. Thomas A, Teicher BA, Hassan R. Antibody-drug conjugates for cancer therapy. Lancet Oncol. 2016 Jun;17(6):e254-e262. doi: 10.1016/S1470-2045(16)30030-4. PMID: 27299281; PMCID: PMC6601617.

125. Van Hoecke L, Roose K. How mRNA therapeutics are entering the monoclonal antibody field. J Transl Med. 2019 Feb 22;17(1):54. doi: 10.1186/s12967-019-1804-8. PMID: 30795778; PMCID: PMC6387507.
126. Shepard HM, Phillips GL, D Thanos C, Feldmann M. Developments in therapy with monoclonal antibodies and related proteins. Clin Med (Lond). 2017 Jun;17(3):220-232.
127. Edwards CV, Rao N, Bhutani D, Mapara M, Radhakrishnan J, Shames S, Maurer MS, Leng S, Solomon A, Lentzsch S, Eisenberger A. Phase 1a/b study of monoclonal antibody CAEL-101 (11-1F4) in patients with AL amyloidosis. Blood. 2021 Dec 23;138(25):2632-2641.
128. Kelley B, De Moor P, Douglas K, Renshaw T, Traviglia S. Monoclonal antibody therapies for COVID-19: lessons learned and implications for the development of future products. Curr Opin Biotechnol. 2022 Dec;78:102798.
129. Li GN, Wang SP, Xue X, Qu XJ, Liu HP. Monoclonal antibody-related drugs for cancer therapy. Drug Discov Ther. 2013 Oct;7(5):178-84. PMID: 24270381.
130. Litzow MR. Monoclonal antibody-based therapies in the treatment of acute lymphoblastic leukemia. Am Soc Clin Oncol Educ Book. 2013:294-9.

SCIENTIFIC DISCOURSE ON ACADEMIC FREEDOM UNDER SIEGE: GLOBAL CHALLENGES, ORGANIZATIONAL INTRUSIONS, INTELLECTUAL AUTONOMY, SCHOLARLY INTEGRITY, DEMOCRATIC VALUES, POLITICAL INTERFERENCE, CENSORSHIP, RESEARCH INDEPENDENCE, ACADEMIC RIGHTS, INSTITUTIONAL AUTONOMY AND KNOWLEDGE PRODUCTION GLOBALLY

David Aphkhazava [16]

Olga Shapovalova [13]

Igor Sevastyanov [9], **Giorgi Tkhilaishvili** [10]

D, PhD, Doctor of Pharmaceutical and Pharmacological Sciences In Medicine, Professor of Faculty of Medicine at Georgian International University GIU; Professor of Pharmacology of F

MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Academician, Professor of Tbilisi State Medical University, Head of the Department of Social and Clinical Pharmacy, Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0002-4563-5224

MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor of Akaki Tsereteli State University, Faculty of Medicine, Department of Pharmacy, Kutaisi, Georgia; Professor, Head of The Medical Doctor Degree Program of Faculty of Healthcare Sciences at East European University, Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0001-6695-5924

MD, Doctor of Family Medicine, Invited Lecturer of Tbilisi State Medical University, Lecturer of Department of Molecular and Medical Genetics, Invited Professor of Biochemistry and Molecular and Medical Genetics at The University of Georgia. Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0002-6338-4262

MD, PhD Candidate, Tbilisi State Medical University, Director of the Georgian Association of Allergology and Clinical Immunology, Tbilisi, Georgia.

MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Academician, Professor of Tbilisi State Medical University, Faculty of Public Health; Department of Hygiene and Medical Ecology, Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0003-0686-5227

MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Academician, Professor of Yerevan State Medical University, Academician and Full Member of the International Academy of Sciences of Ecology and Life Safety (MANEB), Academician of the Republic Armenia Law Academy, Member of the Association of Psychiatrists of Armenia, World Association of Psychiatrists, International Association for Traumatic Stress, World Association for Biological Psychiatry, International Association "Stress and Behavior", Licensed Psychiatrist, Psychotherapist, Public Health Organizer; Tbilisi-Georgia, Yerevan-Armenia, Los Angeles-USA;

MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Doctor Cardiologist at Republican Hospital, Invited Professor of Tbilisi State Medical University, Professor of Ken Walker international University, Professor of International School of Medicine at Alte University, Professor of Faculty of Medicine at Sulkhan-Saba Orbeliani University, Tbilisi, Georgia.

25. PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Dean of faculty of Pharmacy at National University of Pharmacy of Ukraine, Associate Professor of Biological Chemistry Department at National University of Pharmacy, Kharkiv, Ukraine. https://orcid.org/0000-0003-3819-7333
26. MD, MPH, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the School of Public Health at David Tvildiani Medical University, Chair of Public Health Institute of Georgia (PHIG), Tbilisi, Georgia; Member of the United Nations Secretary General's Independent Accountability Panel, Geneva, Switzerland; President, Accreditation San Frontières, Paris, France, Lviv Ukraine. https://orcid.org/0000-0001-7609-4515
27. MD, PhD, Doctor of Biological Sciences, Academician, Professor, Head of The Biological Chemistry Department at National University of Pharmacy of Ukraine, Kharkiv, Ukraine. https://orcid.org/0000-0001-6335-2490
28. PhD, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician, Georgian Academy of Ecological Sciences, Program Coordinator of Quality Assurance Office at Iakob Gogebashvili Telavi State University (TeSaU), Telavi, Georgia. https://orcid.org/0009-0005-4213-6533
29. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor of Department of Pharmacology and Medical Prescription at Kharkiv State Medical University, Kharkiv, Ukraine; https://orcid.org/0000-0002-1971-2863
30. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Academician, Professor of Akaki Tsereteli State University, Faculty of Medicine, Department of Pharmacy, Kutaisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0003-2189-7470
31. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor of Akaki Tsereteli State University, Faculty of Medicine, Department of Pharmacy, Kutaisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0002-5857-6593;
32. PhD, Doctor of Biological Sciences, Professor of Biochemistry at The University of Georgia, Tbilisi, Georgia. Orcid: https://orcid.org/0000-0001-6216-6477

ABSTRACT

Academic freedom constitutes a foundational principle of higher education, scientific inquiry, intellectual development, and democratic knowledge production. It encompasses the capacity of academics, researchers, students, and scholarly institutions to pursue, generate, disseminate, debate, and critically evaluate knowledge without undue political, ideological, institutional, economic, or administrative interference. The contemporary global higher education environment, however, demonstrates increasing tensions between the normative principles of academic freedom and diverse forms of organizational intrusion, political interference, censorship, institutional control, professional insecurity, and restrictions on scholarly independence. This scientific discourse critically examines academic freedom under siege as a multidimensional phenomenon affecting intellectual autonomy, scholarly integrity, research independence, academic rights, institutional autonomy, democratic values, knowledge production, and the future development of higher education. The analysis conceptualizes academic freedom not as an isolated individual privilege but as an interconnected institutional and societal framework requiring protection at multiple levels. Individual academic freedom involves freedom of teaching, research, publication, methodological inquiry, academic expression, and participation in scholarly debate. Institutional autonomy concerns the ability of universities and research organizations to establish academic priorities, develop curricula, determine research agendas, appoint academic personnel according to transparent criteria, and maintain scholarly governance without inappropriate external intervention. The erosion of either dimension can undermine the broader integrity of academic systems. Particular attention is directed toward organizational intrusions and administrative mechanisms that may constrain scholarly independence. Excessive bureaucratic control, arbitrary decision-making, politically

influenced appointments, discriminatory institutional practices, opaque evaluation procedures, restrictions on research agendas, and inappropriate interference in academic governance can create environments in which scholars modify legitimate academic activities because of perceived professional risks. Such conditions may generate self-censorship, reduce intellectual diversity, weaken critical inquiry, and compromise the development of independent scientific knowledge. Political interference represents another major dimension of the contemporary academic freedom challenge. Universities operate within broader political environments and may become vulnerable to governmental influence, ideological polarization, political appointments, legislative restrictions, funding pressures, or attempts to regulate scholarly discourse. When political interests determine which questions may be investigated, which findings are considered acceptable, or which academic perspectives receive institutional legitimacy, the fundamental distinction between evidence-based scholarship and political authority becomes increasingly difficult to maintain. Censorship and self-censorship constitute particularly significant threats because they can affect knowledge production without requiring explicit prohibition. Direct suppression of publications, research topics, lectures, conferences, or academic expression represents an overt restriction, whereas fear of professional retaliation, reputational damage, loss of employment, reduced promotion opportunities, or institutional exclusion can generate more subtle forms of self-censorship. Both mechanisms can diminish scholarly pluralism and prevent researchers from exploring controversial, innovative, or politically inconvenient questions. The discourse further examines the relationship between academic freedom and scholarly integrity. Scientific integrity depends upon the ability of researchers to formulate hypotheses independently, select appropriate methodologies, report findings honestly, acknowledge uncertainty, challenge established assumptions, and communicate evidence regardless of political or institutional preferences. When academic evaluation or professional advancement becomes dependent upon conformity rather than scholarly merit, incentives for intellectual independence may deteriorate. Consequently, protecting academic freedom is simultaneously a strategy for protecting research quality, scientific credibility, and evidence-based decision-making. Democratic values are also closely connected to academic freedom. Universities function as important environments for critical thinking, open debate, civic education, and examination of competing perspectives. Restrictions on academic discourse can therefore have consequences beyond individual scholars or institutions. A society in which universities cannot independently investigate political, social, economic, ethical, or scientific questions may experience broader limitations in public reasoning and democratic deliberation. The analysis also emphasizes academic rights, including freedom of expression, freedom of teaching and research, protection from arbitrary institutional retaliation, fair evaluation, transparent governance, and participation in academic decision-making. Protection of these rights requires institutional policies that establish clear procedures for appointment, promotion, disciplinary action, research evaluation, and dispute resolution. Transparent governance and independent mechanisms for addressing academic grievances are essential for preventing organizational power from becoming a mechanism of intellectual control. The future of academic freedom will increasingly depend on the capacity of higher education institutions to balance legitimate accountability with meaningful intellectual autonomy. Universities require financial, administrative, and regulatory accountability, but accountability should not become a mechanism for controlling scholarly conclusions or restricting legitimate academic inquiry. Sustainable academic systems should therefore promote transparency, ethical governance, evidence-based evaluation, institutional

independence, protection of academic rights, and meaningful participation by faculty and researchers. The scientific discourse concludes that academic freedom is essential not only for individual intellectual autonomy but also for the preservation of scholarly integrity, research independence, institutional credibility, democratic resilience, and sustainable knowledge production. Protecting academic freedom requires coordinated action by universities, academic communities, professional organizations, policymakers, accreditation bodies, and civil society. Effective safeguards should address political interference, organizational intrusion, censorship, discriminatory practices, arbitrary administrative decisions, and mechanisms that encourage self-censorship. The future of higher education depends substantially on whether academic institutions can preserve environments in which evidence can be questioned, established assumptions can be challenged, controversial ideas can be examined, and knowledge can be produced independently. Academic freedom should therefore be regarded as a fundamental infrastructure of scientific progress and democratic society rather than merely an institutional aspiration.

Keywords: Academic Freedom; Intellectual Autonomy; Scholarly Integrity; Research Independence; Institutional Autonomy.

INTRODUCTION

Academic freedom represents one of the foundational principles upon which modern universities, research institutions, scientific communities, and knowledge-based societies are constructed. It establishes the intellectual conditions under which scholars can formulate questions, challenge established assumptions, investigate controversial subjects, communicate evidence, publish findings, teach diverse perspectives, and participate in critical academic debate without inappropriate interference. The concept is therefore inseparable from the fundamental purposes of higher education and scientific research. Universities cannot fulfill their educational, scientific, cultural, and democratic responsibilities when academic inquiry is systematically constrained by political interests, organizational control, ideological conformity, censorship, discriminatory practices, or arbitrary administrative intervention. Academic freedom is consequently not merely a professional privilege granted to individual faculty members; it constitutes a structural condition for reliable knowledge production, scholarly integrity, intellectual pluralism, and institutional legitimacy.

The contemporary international higher education environment has generated renewed concern regarding the protection and sustainability of academic freedom. Universities operate within increasingly complex political, economic, technological, cultural, and regulatory environments. These circumstances create legitimate demands for institutional accountability, financial transparency, ethical research, professional standards, student protection, and responsible governance. At the same time, mechanisms established for accountability can, under particular circumstances, become instruments through which academic autonomy is restricted. The distinction between legitimate institutional governance and inappropriate interference is therefore increasingly important. Effective universities require governance, but governance must remain compatible with the intellectual independence necessary for teaching, research, and critical scholarship.

Academic freedom encompasses several interconnected dimensions. Individual academic freedom includes freedom of teaching, research, publication, scholarly expression, participation in professional activities, and engagement with competing intellectual

perspectives. Institutional autonomy concerns the capacity of universities and research organizations to determine academic priorities, establish research agendas, formulate curricula, recruit and promote academic personnel according to transparent scholarly criteria, and govern academic affairs without inappropriate external control. Research independence concerns the ability of investigators to formulate research questions, select methodologies, analyze evidence, publish results, and communicate conclusions without coercive influence. These dimensions are mutually reinforcing. Weakness in one can produce vulnerabilities in the others, ultimately affecting the quality and credibility of knowledge production.

The expression "academic freedom under siege" therefore describes a multidimensional condition rather than a single form of restriction. Threats may be direct or indirect, visible or subtle, institutional or external, temporary or structural. Direct restrictions can include censorship, suppression of publications, prohibition of research topics, disciplinary retaliation, restrictions on academic events, politically motivated dismissal, or legal intervention in scholarly activities. Indirect restrictions may emerge through funding dependence, opaque promotion systems, administrative intimidation, selective enforcement of institutional policies, excessive bureaucratic requirements, exclusion from academic opportunities, reputational pressure, or informal mechanisms that encourage scholars to avoid controversial subjects. The latter mechanisms can be particularly difficult to identify because they may not involve explicit prohibition. Nevertheless, their cumulative effect may be equally consequential if they generate professional insecurity and self-censorship.

The relationship between academic freedom and scientific progress is fundamental. Scientific knowledge develops through questioning, replication, criticism, disagreement, methodological innovation, and continuous revision. Established theories must remain open to empirical examination, while novel hypotheses require an environment in which intellectual risk-taking is possible. If researchers anticipate institutional or political consequences for producing inconvenient findings, scientific inquiry may become strategically cautious. Researchers may select safer topics, avoid controversial questions, modify interpretations, or refrain from publication. Such behavioral adaptations can reduce the diversity of research agendas and weaken the capacity of science to identify unexpected findings.

Scholarly disagreement is not a weakness of academic systems; it is an essential mechanism of knowledge validation. Different theoretical perspectives, methodological approaches, and interpretations allow scientific communities to identify errors and refine explanations. Academic freedom creates the institutional conditions under which disagreement can occur without being transformed into personal or professional retaliation. The protection of dissenting academic perspectives is therefore essential even when those perspectives are unpopular, controversial, or inconsistent with dominant institutional assumptions, provided that they remain within appropriate ethical and scholarly standards.

The distinction between academic freedom and unrestricted expression is also important. Academic freedom operates within professional, ethical, and methodological frameworks. Scientific inquiry requires responsible conduct, protection of research participants, accurate representation of evidence, acknowledgment of conflicts of interest, appropriate citation, and adherence to established ethical standards. Academic freedom does not exempt scholars from these obligations. Rather, it protects the legitimate exercise of scholarly judgment within a framework of professional responsibility. The challenge for institutions is to enforce ethical and professional standards consistently without transforming those standards into mechanisms for suppressing legitimate intellectual disagreement.

Organizational intrusions represent an increasingly significant dimension of this problem. Universities are complex organizations with hierarchical structures, administrative procedures, financial systems, human-resource policies, and performance-management mechanisms. These structures are necessary for institutional functioning, but excessive managerial intervention in academic affairs can weaken professional autonomy. When administrative priorities become dominant over scholarly considerations, academic decision-making may increasingly reflect organizational convenience rather than educational or scientific value. Excessive managerialism can influence workload allocation, research priorities, promotion criteria, teaching assignments, publication expectations, and access to institutional resources.

The concept of organizational intrusion is particularly relevant where administrative authority extends beyond legitimate governance into substantive academic decision-making. University leaders have legitimate responsibilities to maintain institutional standards, financial sustainability, student welfare, and regulatory compliance. However, decisions concerning the intellectual content of research, the interpretation of scientific evidence, or the scholarly legitimacy of competing academic positions should generally be governed by transparent academic processes and relevant disciplinary expertise. When organizational authority substitutes for scholarly judgment, institutional autonomy may become compromised from within.

Academic governance is consequently central to the preservation of freedom. Universities require decision-making structures in which academic staff have meaningful participation in matters affecting teaching, research, appointments, promotion, evaluation, and institutional strategy. Shared governance does not eliminate administrative leadership, nor does it imply that every decision must be collectively determined. Instead, it establishes appropriate boundaries between managerial responsibilities and academic judgment. Transparent procedures, representative committees, clear conflict-of-interest policies, and independent review mechanisms can help protect these boundaries.

Political interference constitutes another major challenge. Universities do not exist independently of society and inevitably engage with governments, public institutions, legislation, and political systems. Public funding, accreditation, regulatory frameworks, national education strategies, and research policy can all influence universities legitimately. Problems arise when political authorities attempt to determine scholarly conclusions, control research agendas for ideological reasons, restrict particular fields of inquiry, influence academic appointments, or punish institutions and scholars for politically inconvenient findings. Such interference can undermine both individual academic freedom and public trust in scientific institutions.

The politicization of higher education can occur across different ideological environments and political systems. It should therefore be analyzed as a structural risk rather than associated exclusively with one political orientation. Academic freedom requires protection regardless of whether pressure originates from governments, political parties, institutional leadership, donors, interest groups, ideological movements, or other centers of influence. A consistent principle is necessary: scholarly legitimacy should be determined primarily through evidence, disciplinary standards, methodological rigor, and transparent academic evaluation rather than political conformity.

Censorship represents the most explicit manifestation of interference with academic freedom. It may involve preventing publication, restricting access to research materials, prohibiting lectures or conferences, removing academic content, suppressing particular research topics, or

imposing formal restrictions on scholarly communication. Historically, censorship has taken many forms, but contemporary mechanisms may also operate through digital platforms, institutional communication systems, publication policies, or restrictions on academic events. The technological transformation of knowledge dissemination has therefore created both opportunities for scholarly communication and new mechanisms through which information can be controlled.

Self-censorship may be even more difficult to detect. A scholar does not need to receive an explicit prohibition to modify behavior. If an institutional environment creates a credible perception that certain research topics, opinions, collaborations, or publications may lead to professional consequences, scholars may voluntarily avoid them. Self-censorship can therefore emerge from uncertainty rather than direct coercion. Ambiguous policies, inconsistent disciplinary practices, politically sensitive environments, or repeated examples of retaliation may collectively produce a culture of caution.

The consequences of self-censorship extend beyond individual researchers. When multiple scholars independently avoid particular subjects, entire research areas may become underdeveloped. Students may receive narrower educational perspectives, interdisciplinary collaboration may decline, and institutions may lose opportunities for intellectual innovation. Over time, the accumulation of individual decisions can produce structural limitations on knowledge production without any formal censorship policy.

Research independence is another fundamental dimension of the academic freedom debate. Scientific research requires investigators to maintain control over the formulation of research questions, methodological choices, data analysis, interpretation, and dissemination of findings. This independence can be threatened by political interests, commercial sponsors, institutional administrators, or conflicts of interest. Funding is essential for contemporary science, but financial support should not determine scientific conclusions. Appropriate safeguards, including disclosure of funding sources, independent statistical analysis, transparent protocols, data-access policies, and publication rights, can help preserve research integrity.

Commercial influence requires particular attention because universities increasingly interact with pharmaceutical companies, biotechnology firms, technology corporations, private foundations, and other external sponsors. Such partnerships can generate valuable resources and accelerate translational research. However, conflicts can arise if sponsors influence study design, data interpretation, publication decisions, or access to unfavorable findings. Academic freedom therefore requires contractual and institutional mechanisms protecting researchers' ability to report scientifically justified results, including findings that do not support the expectations of sponsors.

The relationship between academic freedom and research ethics is similarly complex. Institutions have an obligation to prevent unethical research, scientific misconduct, plagiarism, fabrication, falsification, and abuse of research participants. These protections are essential to scientific integrity. However, misconduct procedures themselves must be transparent and fair. Accusations should be evaluated according to established evidence and due process rather than political or personal considerations. Otherwise, mechanisms intended to protect integrity may become instruments of retaliation.

Academic evaluation and promotion represent another potential source of organizational influence. Universities increasingly rely on quantitative indicators, publication counts, citation metrics, grant income, rankings, teaching evaluations, and other performance measures. These tools can support accountability but may also create incentives for strategic behavior. When

professional advancement becomes excessively dependent on narrowly defined metrics, researchers may prioritize topics and publication strategies that maximize measurable performance rather than pursuing scientifically important or socially necessary questions.

Such metric-driven environments can particularly disadvantage unconventional research. High-risk interdisciplinary projects may require longer periods of development and may initially produce fewer publications. Negative results, replication studies, theoretical criticism, and foundational methodological work may receive less recognition despite their scientific importance. Academic freedom therefore intersects with the design of academic evaluation systems. A scholarly environment that rewards only easily measurable productivity may indirectly constrain intellectual diversity.

Faculty rights are essential to maintaining academic freedom at the individual level. Faculty members require transparent appointment procedures, fair promotion criteria, reasonable protection from arbitrary dismissal, appropriate due process, freedom to conduct legitimate research, and mechanisms for challenging institutional decisions. Employment security is particularly relevant because academic freedom becomes difficult to exercise when scholars face disproportionate professional vulnerability. This does not imply absolute employment protection; rather, it requires fair and evidence-based procedures distinguishing legitimate performance management from retaliation for scholarly activity.

Early-career researchers may be especially vulnerable. Doctoral students, postdoctoral researchers, adjunct faculty, temporary lecturers, and researchers dependent on short-term funding may have limited capacity to challenge inappropriate institutional practices. Their professional progression may depend heavily on supervisors, department leaders, grant holders, or institutional administrators. Protection of academic freedom must therefore include mechanisms appropriate to different career stages and employment arrangements.

Students are also participants in the academic freedom ecosystem. Higher education requires students to encounter competing theories, evidence, methodologies, and perspectives. Academic environments should facilitate intellectual development rather than demand ideological conformity. Students should be able to question lecturers, challenge assumptions, participate in debate, and develop independent analytical positions. At the same time, universities must maintain respectful learning environments that protect students from discrimination, harassment, and targeted abuse. The challenge is to reconcile robust intellectual disagreement with professional and ethical standards.

Academic freedom is closely connected to freedom of teaching. Educators must have appropriate autonomy to select academically justified materials, methodologies, examples, and scholarly perspectives within established curricular and professional frameworks. Excessive external intervention in course content can reduce pedagogical quality and constrain intellectual exploration. Conversely, academic freedom in teaching should be exercised responsibly, with appropriate attention to evidence, disciplinary standards, student welfare, and educational objectives.

Curriculum governance therefore represents an important institutional issue. Universities should establish transparent processes for curriculum development and revision involving relevant academic expertise. External stakeholders may appropriately contribute information concerning workforce needs or societal priorities, but curricular decisions should not become instruments of ideological control. A strong curriculum should expose students to evidence, competing interpretations, methodological diversity, and critical reasoning.

The relationship between academic freedom and democratic values is particularly significant. Universities are among the principal social institutions responsible for developing critical thinking and evidence-based reasoning. They provide environments in which citizens can learn to evaluate arguments, distinguish evidence from assertion, understand uncertainty, and engage constructively with disagreement. When academic freedom is weakened, these educational functions can also deteriorate. The resulting consequences may extend beyond universities to public discourse, policymaking, media literacy, and democratic resilience.

Scientific institutions contribute to democracy not because scientists are inherently political actors, but because reliable evidence supports informed decision-making. Public health, environmental policy, technological regulation, education policy, and economic planning all depend to some extent on independent research. If scientific conclusions are shaped by political preferences rather than evidence, public policy may become less effective and public trust may decline. Academic freedom therefore has indirect consequences for the quality of governance.

Public trust in science is also influenced by institutional independence. When universities are perceived as politically controlled or commercially compromised, audiences may question the credibility of their research even when individual studies are methodologically rigorous. Transparent governance and protection of research independence are therefore important components of scientific legitimacy. Institutions should communicate clearly how research is funded, evaluated, reviewed, and protected from inappropriate interference.

Internationalization introduces additional dimensions to academic freedom. Universities increasingly operate through international partnerships, joint degrees, cross-border research collaborations, global conferences, and mobility programs. These activities create opportunities for knowledge exchange but may also expose institutions to differing legal, political, and cultural expectations. Research collaborations may become complicated when partners operate under different standards concerning freedom of expression, data access, publication, or political sensitivity. International agreements should therefore incorporate clear principles concerning scholarly independence and publication rights.

Digitalization has transformed academic communication. Researchers can disseminate findings rapidly through preprint servers, institutional repositories, professional networks, and social media. This expansion of communication can strengthen academic freedom by reducing dependence on traditional gatekeepers. However, digital environments also introduce new vulnerabilities, including online harassment, coordinated reputational attacks, misinformation, algorithmic amplification, and restrictions imposed by platforms or institutions. Digital academic freedom therefore requires both protection of scholarly expression and responsible engagement with online information environments.

Artificial intelligence creates additional questions. AI-assisted research and writing can increase productivity, facilitate data analysis, and support scientific discovery. At the same time, universities must establish appropriate policies concerning authorship, data integrity, confidentiality, algorithmic bias, intellectual property, and responsible use. Overly restrictive policies could unnecessarily limit innovation, while inadequate governance could undermine scholarly integrity. Academic freedom in the digital era therefore requires technologically informed but proportionate regulation.

The concept of intellectual autonomy extends beyond formal rights. It refers to the capacity of scholars to develop independent judgments based on evidence and professional expertise. Intellectual autonomy can be weakened by ideological conformity, institutional dependency, social polarization, career incentives, or professional isolation. Universities should therefore

cultivate environments in which scholars can encounter diverse perspectives and revise their positions in response to evidence. Intellectual autonomy is not equivalent to intellectual isolation; meaningful scholarly independence depends on active participation in critical communities.

Scholarly communities themselves play an important role in protecting academic freedom. Professional associations, learned societies, editorial boards, peer-review networks, and academic conferences can establish disciplinary standards and provide mechanisms for intellectual exchange beyond individual institutions. These organizations can also document restrictions, advocate for academic rights, and support researchers experiencing institutional difficulties. Collective professional structures are particularly important when individual scholars lack sufficient institutional power to defend themselves.

Academic journals and publishers occupy a critical position because publication is central to knowledge dissemination and professional advancement. Editorial independence requires that manuscripts be evaluated according to scholarly quality rather than political acceptability. Peer review should assess methodology, evidence, originality, and disciplinary relevance while allowing legitimate disagreement. Editors and reviewers should be protected from inappropriate external pressure, while researchers should have mechanisms for addressing unethical editorial practices.

Research funding systems also influence academic freedom. Competitive grants can stimulate innovation and support high-quality research, but funding priorities can shape the distribution of scientific attention. If funding is concentrated narrowly around politically favored topics or short-term economic objectives, less immediately visible areas of fundamental or critical research may become marginalized. A diverse funding ecosystem is therefore important for preserving intellectual pluralism.

Universities also require financial autonomy to maintain academic independence. Excessive dependence on a single funding source can create vulnerability to external influence. Diversification of public, competitive, philanthropic, and institutional resources may reduce this risk, provided that each funding relationship includes clear safeguards for research independence. Financial sustainability and academic freedom should therefore be understood as interconnected institutional objectives.

Institutional rankings and reputational competition create another potential source of pressure. Universities may prioritize indicators that influence global rankings, accreditation, student recruitment, or external funding. Such priorities can be legitimate, but excessive emphasis on reputation may encourage conformity and discourage research that challenges prevailing assumptions. Institutions should balance performance objectives with long-term commitments to intellectual diversity and foundational scholarship.

The protection of academic freedom also requires effective grievance mechanisms. Scholars and students need accessible procedures through which concerns regarding retaliation, censorship, discrimination, conflicts of interest, or inappropriate interference can be reported and independently evaluated. Such systems should provide confidentiality where appropriate, protection against retaliation, transparent procedures, and meaningful remedies. Without credible mechanisms for addressing violations, formal academic freedom policies may remain largely symbolic.

Legal frameworks are equally important. National laws concerning higher education, labor rights, research regulation, freedom of expression, intellectual property, and information access can either strengthen or weaken academic autonomy. Legal protections should recognize the

special role of universities and research institutions while maintaining legitimate public-interest regulation. Where academic freedom is constitutionally or legislatively protected, implementation mechanisms remain essential.

International standards can provide additional safeguards. Comparative frameworks allow countries and institutions to identify common principles and evaluate their own practices. International academic networks can support researchers facing restrictions and facilitate continuity of scholarship when domestic environments become difficult. Cross-border collaboration may therefore function not only as a mechanism of scientific advancement but also as a form of institutional resilience.

Academic freedom should also be examined through the perspective of equality and nondiscrimination. Scholars may experience restrictions differently depending on career stage, institutional status, disciplinary field, or social circumstances. Fair academic systems should ensure that professional evaluation and access to opportunities are based on transparent criteria rather than arbitrary or discriminatory considerations. Protection from discrimination and protection of academic freedom are complementary components of institutional justice.

Interdisciplinarity represents another important dimension. Complex societal problems frequently cross disciplinary boundaries, yet organizational structures may restrict collaboration between departments or fields. Academic freedom should include reasonable freedom to pursue interdisciplinary questions and methodologies. Institutional systems that rigidly define disciplinary boundaries may unintentionally restrict innovation. Encouraging cross-disciplinary research can therefore strengthen both intellectual autonomy and scientific creativity.

The future of academic freedom will depend substantially on institutional culture. Formal policies are necessary but insufficient. A university may possess an extensive academic freedom statement while maintaining organizational practices that discourage dissent. Conversely, institutions with strong cultures of collegiality, transparency, procedural fairness, and scholarly participation may protect academic freedom even under external pressure. Institutional culture is therefore a critical but often underexamined determinant of academic autonomy.

Leadership plays a particularly important role in this culture. University leaders should distinguish between criticism of institutional decisions and attacks on institutional legitimacy. Constructive criticism is essential to organizational improvement. Leaders who respond to disagreement through dialogue, evidence, and transparent processes can strengthen trust, whereas leaders who interpret scholarly criticism as disloyalty may create conditions for self-censorship. Academic leadership should therefore be evaluated partly according to its capacity to preserve legitimate intellectual disagreement.

The preservation of academic freedom does not mean that universities should become unaccountable organizations. Strong institutions require financial controls, ethical standards, quality assurance, student protection, research governance, and performance evaluation. The essential principle is proportionality. Governance mechanisms should address genuine institutional risks without unnecessarily controlling legitimate academic judgment. Transparent procedures and independent review can help distinguish accountability from interference.

A central theoretical implication is that academic freedom should be conceptualized as an ecosystem. Individual rights, institutional autonomy, research independence, financial structures, governance systems, legal protections, professional organizations, publishing

practices, and democratic institutions interact continuously. Weakness in one component can create vulnerabilities across the system. Protecting academic freedom therefore requires coordinated institutional and societal strategies rather than isolated policy statements.

The concept of resilience is consequently increasingly relevant. Academic institutions should develop structures capable of maintaining scholarly independence during periods of political polarization, financial instability, social conflict, technological disruption, or leadership change. Diversified funding, transparent governance, strong faculty participation, independent ethics and grievance mechanisms, international collaboration, and clear academic freedom policies can contribute to institutional resilience.

The future of higher education will also depend on the ability to maintain intellectual diversity while avoiding fragmentation into isolated ideological communities. Academic freedom should protect multiple perspectives, but universities must also preserve shared standards of evidence, methodological rigor, and professional ethics. Intellectual pluralism is strongest when disagreement occurs within a common commitment to scholarly standards. The objective is therefore not unlimited relativism but evidence-based diversity.

In this context, academic freedom becomes both an ethical principle and a practical necessity. Universities require independent inquiry to produce new knowledge, challenge established assumptions, educate critical thinkers, and contribute evidence to society. Restrictions that undermine these functions can generate long-term consequences that extend far beyond individual academic disputes.

The present discourse therefore approaches academic freedom as an essential infrastructure of knowledge production. It protects the processes through which societies discover, evaluate, communicate, and revise knowledge. When academic freedom is weakened, the consequences may include reduced research innovation, narrower curricula, increased self-censorship, declining scholarly trust, weakened institutional legitimacy, and deterioration of evidence-based public discourse.

A sustainable future for higher education requires institutions to recognize that intellectual autonomy and institutional accountability are not inherently contradictory. Properly designed governance can strengthen both. Transparent evaluation can coexist with academic independence; ethical regulation can coexist with research freedom; financial accountability can coexist with institutional autonomy; and student protection can coexist with robust intellectual debate. The central challenge is to establish boundaries that prevent legitimate governance from becoming inappropriate control.

Ultimately, academic freedom should be understood as a shared responsibility. Faculty members must uphold scholarly standards and ethical obligations; universities must establish transparent and fair governance systems; policymakers must protect institutional autonomy; research sponsors must respect scientific independence; professional organizations must defend scholarly integrity; and academic communities must cultivate tolerance for legitimate disagreement. Students and the wider public also have a role in sustaining environments in which evidence and critical reasoning are valued.

The future of academic freedom will therefore depend not only on formal declarations but on the everyday institutional practices through which universities make decisions, evaluate scholars, allocate resources, regulate research, and respond to disagreement. Protecting academic freedom requires vigilance because restrictions may emerge gradually through seemingly routine administrative, financial, political, or technological mechanisms. Continuous evaluation of institutional practices is consequently essential.

Academic freedom under siege is ultimately a warning concerning the vulnerability of knowledge institutions when intellectual autonomy is subordinated to political, organizational, ideological, or economic interests. Yet the concept also provides a framework for institutional renewal. By strengthening research independence, faculty rights, institutional autonomy, transparent governance, scholarly integrity, and democratic values, universities can reinforce their capacity to serve as independent centers of knowledge and critical inquiry. The preservation of academic freedom is therefore not simply a defense of individual scholars; it is a commitment to the integrity of science, the quality of higher education, the resilience of democratic societies, and the future capacity of humanity to generate, challenge, and improve knowledge.

Academic freedom constitutes a foundational principle of modern higher education and a prerequisite for the production of reliable knowledge, democratic deliberation, and societal progress. This interdisciplinary study offers a comprehensive re-examination of academic freedom in the twenty-first century by integrating philosophical, historical, legal, institutional, and technological perspectives. Tracing its evolution from medieval European universities through Enlightenment rationalism and Humboldtian reforms to contemporary globalized systems of higher education, the article demonstrates that academic freedom has never been a static or uncontested norm, but rather a principle continuously reshaped by political power, institutional governance, and socio-economic change. This comprehensive interdisciplinary study examines academic freedom as a fundamental pillar of democratic society and knowledge advancement, tracing its evolution from medieval European universities to contemporary global challenges. Employing doctrinal legal analysis, historical inquiry, and comparative case studies across multiple jurisdictions—with particular focus on a representative microcosm—this research illuminates the complex interplay between institutional autonomy and individual scholarly liberty. The study establishes that academic freedom rests on twin foundational pillars: institutional autonomy enabling universities to operate independently from external pressures, and individual liberty granting scholars the right to pursue knowledge without ideological, political, or commercial interference. Through systematic analysis of international legal instruments (UNESCO 1997 Recommendation) and national frameworks, the research documents how academic freedom has been codified within constitutional and human rights frameworks globally. Critical examination reveals unprecedented 21st-century threats to academic freedom, including neoliberal commercialization transforming universities into market-driven enterprises, digital surveillance creating a "Digital Panopticon" that monitors scholarly activities, ideological polarization constraining discourse, and employment precarity undermining the protective function of tenure. Most significantly, this study identifies and analyzes the "Paradox of Performance"—a previously under-examined phenomenon wherein scholars with high academic visibility and bibliometric rankings (e.g., Google Scholar citations, h-index) face institutional discrimination, persecution, or dismissal rather than recognition, contradicting fundamental meritocratic principles. The research demonstrates that algorithmic governance through citation metrics has created new forms of vulnerability, where academic excellence becomes a liability rather than an asset. Drawing on comparative analysis of authoritarian contexts (Hungary, Turkey, China, Russia) and liberal democracies facing internal pressures, the study reveals how metric-based discrimination operates across diverse political systems, undermining the very foundation of scholarly evaluation. Policy recommendations include: (1) transitioning from quantitative to qualitative assessment frameworks aligned with the San

Francisco Declaration on Research Assessment (DORA); (2) strengthening tenure protections and extending them to precarious academic workers; (3) establishing independent academic freedom committees with transparent reporting mechanisms; (4) developing open-source digital infrastructure to ensure scholarly sovereignty; and (5) explicit legal prohibitions against discrimination based on scholarly success metrics. This work contributes to academic freedom scholarship by providing a holistic framework that integrates philosophical, historical, legal, and technological dimensions while addressing the paradoxical relationship between academic excellence and institutional vulnerability. The findings have significant implications for policymakers, university administrators, accreditation bodies, and the global academic community, offering actionable strategies to preserve scholarly autonomy as a civilizational necessity essential for addressing complex global challenges including climate change, pandemics, and democratic resilience.

Through doctrinal legal analysis, comparative institutional review, and qualitative examination of policy documents and selected studies, the study identifies two interdependent pillars of academic freedom: institutional autonomy and individual scholarly liberty. It further analyzes how international legal instruments, particularly UNESCO and human rights frameworks, have sought to codify and protect these dimensions, while revealing persistent gaps between formal legal guarantees and practical implementation.

The article critically examines emerging twenty-first-century threats to academic freedom, including neoliberal managerialism, casualization of academic labor, ideological polarization, and the expansion of digital surveillance and metric-based governance. A central original contribution of the study is the identification and conceptualization of the "Paradox of Performance," whereby high scholarly visibility and excellence—measured through bibliometric indicators such as citation counts and h-indexes—can paradoxically increase institutional vulnerability rather than confer protection. This inversion of merit undermines core academic norms and challenges prevailing assumptions about excellence, accountability, and evaluation.

By situating these developments within a broader global and comparative context, the study advances a holistic framework for understanding contemporary transformations of academic freedom. The findings underscore the urgent need for policy reforms that prioritize qualitative assessment, strengthen tenure and employment protections, safeguard digital academic rights, and explicitly prohibit discrimination based on scholarly performance. The article concludes that preserving academic freedom is not merely an internal concern of universities, but a civilizational imperative essential to sustaining knowledge production, democratic resilience, and intellectual autonomy in an era of profound institutional change.

Academic freedom stands as one of the most cherished yet perpetually contested principles in modern higher education systems. Its significance extends far beyond the walls of universities, touching upon fundamental questions about the nature of knowledge production, the role of intellectuals in society, and the conditions necessary for human flourishing in democratic politics. As (Karran et al., 2007) persuasively argue, academic freedom represents not merely a professional privilege but a societal necessity, enabling scholars to pursue truth without fear of retribution or censorship. The contemporary landscape of higher education, however, presents unprecedented challenges to this foundational principle, challenges that demand renewed scholarly attention and rigorous analysis.

The genesis of this investigation lies in the observation that academic freedom, despite its apparent universality as a concept, manifests differently across temporal, geographical, and

institutional contexts. What constitutes academic freedom in twenty-first-century Berlin differs substantially from its manifestation in medieval Bologna, just as the threats facing scholars in Budapest diverge from those confronting their counterparts in Berkeley. This contextual variability, far from undermining the concept's validity, actually enriches our understanding of its essential characteristics and adaptive capacities. (Altbach et al., 2001) have demonstrated that academic freedom evolved through continuous negotiation between scholars, institutions, and broader society, a process that continues unabated in our present moment.

Recent decades have witnessed transformations in higher education systems worldwide that fundamentally reshape the conditions under which academic freedom operates. The massification of tertiary education, the internationalization of knowledge production, the advent of digital technologies, and the increasing influence of market logic within universities have collectively created an environment markedly different from that which prevailed even a generation ago. (Slaughter et al., 2004) coined the term "academic capitalism" to describe this new reality, wherein universities increasingly function as economic actors pursuing revenue generation alongside their traditional missions. These structural changes carry profound implications for academic freedom, implications that remain incompletely understood and inadequately theorized.

The present study emerges from the conviction that academic freedom requires continuous reexamination and reaffirmation, particularly during periods of rapid institutional transformation. This work seeks to provide a comprehensive analysis that bridges historical scholarship, legal doctrine, philosophical inquiry, and empirical observation. By examining academic freedom through multiple disciplinary lenses, this investigation aims to illuminate both its enduring core principles and the novel challenges that threaten its vitality in contemporary settings. The analysis proceeds from the understanding that protecting academic freedom demands more than rhetorical commitment; it requires sustained intellectual effort to comprehend its theoretical foundations, trace its historical development, understand its legal codifications, and identify the specific mechanisms through which it comes under threat.

Any serious engagement with academic freedom must begin with definitional clarity, yet achieving such clarity proves surprisingly elusive. The concept encompasses multiple dimensions that resist simple formulation. At its most basic level, academic freedom refers to the liberty of scholars to pursue research, teaching, and expression without external interference or internal censorship. However, this seemingly straightforward definition conceals considerable complexity regarding the boundaries of permissible inquiry, the balance between freedom and responsibility, and the relationship between individual liberty and institutional autonomy.

(Metzger et al., 1988) distinguished between two fundamental conceptions of academic freedom that have competed throughout modern history. The first, rooted in German philosophical idealism and embodied in the Humboldtian university model, emphasizes Lehrfreiheit (freedom to teach) and Lernfreiheit (freedom to learn) as expressions of the scholar's role as a seeker of truth unconstrained by practical considerations or external authority. The second conception, developed primarily in Anglo-American contexts, frames academic freedom as a special instance of broader civil liberties, protected through legal mechanisms and professional norms. These divergent conceptual lineages continue to shape contemporary debates, creating productive tensions that enrich rather than diminish our understanding.

Contemporary scholarship increasingly recognizes that academic freedom possesses both individual and collective dimensions. While traditionally conceptualized as protecting individual scholars from interference, academic freedom also encompasses institutional autonomy—the capacity of universities as corporate entities to govern themselves without excessive external control. (Karran et al., 2017) have demonstrated that these two dimensions, though analytically distinct, remain functionally interdependent. Individual scholars cannot exercise freedom within institutions that lack autonomy from governmental or commercial pressures, while institutional autonomy loses its normative justification if it fails to protect individual scholarly liberty.

The definitional question becomes further complicated when we consider the relationship between freedom and responsibility. Academic freedom has never been understood as absolute or unlimited. Scholars operate within professional communities that establish standards of evidence, methodological rigor, and ethical conduct. The 1940 Statement of Principles on Academic Freedom and Tenure, promulgated by the American Association of University Professors, explicitly acknowledges that academic freedom carries correlative responsibilities (AAUP, 1940). Scholars must demonstrate competence in their fields, present material responsibly in their teaching, and distinguish between professional expertise and personal opinion when engaging public discourse. The challenge lies in specifying these responsibilities without creating loopholes that effectively nullify freedom itself.

Recent theoretical work has expanded the conceptual framework to include epistemic dimensions previously underemphasized. (Anderson et al., 2006) argue that academic freedom serves not merely individual autonomy but also epistemic goals—the production of reliable knowledge that serves human welfare. From this perspective, academic freedom functions as an institutional arrangement designed to optimize knowledge production by insulating inquiry from distorting influences such as political pressure, economic interest, or ideological conformity. This epistemic justification provides powerful support for academic freedom while simultaneously suggesting limits; scholarly activities that undermine rather than advance knowledge production might fall outside freedom's protective scope.

The historical roots of academic freedom extend deep into the medieval period, though recognizing these antecedents requires care not to project contemporary understandings anachronistically onto past practices. The medieval university emerged as a distinctive institutional form characterized by corporate autonomy and special legal privileges. As (Verger et al., 1992) document, universities in Bologna, Paris, and Oxford secured charters granting them jurisdiction over their members, exemption from certain municipal regulations, and the exclusive right to license teachers—the licentia docendi. These privileges, while primarily serving guild-like economic interests, established precedents for institutional independence that would later evolve into modern conceptions of academic freedom.

The relationship between medieval academic privileges and contemporary academic freedom remains contested among historians. (Rashdall et al., 1895) and subsequent scholars have cautioned against overstating continuities, noting that medieval universities operated within a framework of religious orthodoxy that placed severe constraints on permissible inquiry. The condemnations of 1277, in which the Bishop of Paris censured 219 philosophical propositions, illustrate the limits of medieval intellectual freedom. Nevertheless, the institutional structures created during this period—collegial governance, peer evaluation, and corporate autonomy—provided organizational foundations upon which later academic freedom would develop.

The Protestant Reformation and Catholic Counter-Reformation of the sixteenth century produced contradictory effects on academic freedom. The proliferation of universities aligned with different confessional traditions created some competitive pressure for intellectual innovation, as each tradition sought to demonstrate the superiority of its theological and philosophical positions. However, confessional control also intensified, with universities serving as instruments for doctrinal enforcement rather than free inquiry. (Kaplan et al., 2006) argue that this period witnessed the emergence of academic freedom's conceptual opposite—the instrumentalization of higher education for ideological purposes, a pattern that would recur throughout subsequent centuries.

The Enlightenment of the eighteenth century provided crucial philosophical foundations for modern academic freedom through its emphasis on reason, critical inquiry, and individual autonomy. Kant's famous essay "What is Enlightenment?" articulated principles of intellectual self-governance that would profoundly influence subsequent conceptions of the scholar's role. (Kant et al., 1784) distinguished between the "public use of reason," in which scholars address the learned world, and the "private use of reason," in which they perform official duties. This distinction, though seemingly counterintuitive, established that scholars possess special responsibilities and privileges when engaging in intellectual discourse. The Enlightenment legacy persists in contemporary defenses of academic freedom that emphasize its role in advancing human understanding and combating superstition.

The modern conception of academic freedom crystallized in nineteenth-century Germany through the Humboldtian reforms that transformed Prussian universities. Wilhelm von Humboldt's vision, implemented in the founding of the University of Berlin in 1810, rested on principles of Einsamkeit und Freiheit (solitude and freedom) and the unity of research and teaching. As (Paulsen et al., 1906) documented, this model granted professors unprecedented autonomy to pursue research according to their own scholarly interests, relatively free from state interference in matters of curriculum and investigation. The Humboldtian university became internationally influential, serving as a model that attracted scholars from across Europe and North America who sought to transplant its principles into their own national contexts.

The transfer of German academic ideals to the United States during the late nineteenth century represents a pivotal moment in academic freedom's evolution. American scholars who pursued doctoral education in Germany returned with enthusiasm for research-oriented higher education and the accompanying freedoms. The founding of Johns Hopkins University in 1876, explicitly modeled on German precedents, marked a turning point in American higher education. As (Veysey et al., 1965) demonstrate, the period between 1870 and 1910 witnessed the transformation of American colleges into research universities, accompanied by vigorous debates about the appropriate scope of professorial freedom.

This transformation, however, occurred within a distinctively American context that shaped academic freedom's development in important ways. Unlike their German counterparts, American professors lacked civil service status and its accompanying protections. American universities, whether public or private, maintained closer ties to business interests and political forces. The absence of a unified national higher education system meant that academic freedom protections varied considerably across institutions. These contextual differences necessitated adaptations that would eventually produce a conception of academic freedom distinct from its German progenitor.

The early decades of the twentieth century brought academic freedom into sharp focus through a series of celebrated cases in which professors faced dismissal for controversial expressions. The dismissal of Edward Ross from Stanford University in 1900, following his public advocacy of positions objectionable to university benefactor Jane Stanford, became a cause célèbre that galvanized professional organizing. Similarly, the termination of Scott Nearing from the University of Pennsylvania in 1915 for his critiques of child labor sparked widespread concern. (Metzger et al., 1961) argue that these cases revealed the vulnerability of individual professors lacking collective protections, spurring the formation of the American Association of University Professors in 1915.

The AAUP's 1915 Declaration of Principles represented a landmark in academic freedom's codification. The declaration articulated three components of academic freedom: freedom of inquiry and research, freedom of teaching within the university, and freedom of extramural utterance and action. Crucially, it also specified correlative responsibilities and established procedures for addressing allegations of professional misconduct. (Hofstadter et al., 1955) characterize the 1915 Declaration as a social contract between the professoriate and society, in which enhanced freedom came with enhanced accountability enforced through peer review rather than external authority. This framework, refined in the 1940 Statement of Principles on Academic Freedom and Tenure, has fundamentally shaped American academic freedom norms.

The interwar period tested academic freedom's resilience as authoritarian movements gained strength globally. The dismissal and exile of scholars from German universities following the Nazi seizure of power in 1933 demonstrated academic freedom's fragility when confronting totalitarian ideology. The Academic Assistance Council, established in Britain to aid refugee scholars, and similar efforts in the United States represented recognition that academic freedom constituted an international concern rather than merely a domestic professional norm. These events underscored that academic freedom depends not only on institutional policies but also on broader political conditions, particularly the maintenance of democratic governance and respect for human rights.

The aftermath of World War II brought renewed attention to academic freedom as part of broader efforts to establish international human rights standards and rebuild democratic institutions. The Universal Declaration of Human Rights, adopted by the United Nations General Assembly in 1948, included provisions protecting freedom of expression and the right to education, establishing normative foundations upon which academic freedom claims could rest. Although the Declaration did not explicitly mention academic freedom, subsequent interpretations have recognized it as encompassed within these broader rights. (Barendt et al., 2010) argue that grounding academic freedom in fundamental human rights provides stronger protection than treating it as merely a professional privilege.

The expansion of higher education during the post-war decades created conditions favorable to academic freedom's institutional entrenchment. Government investment in university research, particularly scientific research related to national security and economic development, necessitated granting scholars considerable autonomy. The social compact that emerged, especially in Western democracies, implicitly recognized that innovation required intellectual freedom. This period witnessed academic freedom's incorporation into faculty handbooks, collective bargaining agreements, and institutional policies across numerous countries, transforming it from an aspirational principle into a contractual right.

Regional and international organizations played important roles in promoting academic freedom as a transnational norm. The United Nations Educational, Scientific and Cultural

Organization (UNESCO) adopted the Recommendation Concerning the Status of Higher-Education Teaching Personnel in 1997, providing comprehensive guidance on academic freedom and institutional autonomy. The Recommendation defined academic freedom as including the liberty to carry out research and disseminate results, to teach without interference subject to professional norms, and to participate in university governance. (Tight et al., 1988) observe that such international instruments, while lacking binding legal force, establish standards against which national practices can be evaluated and create frameworks for cross-national comparison.

The Cold War period simultaneously advanced and threatened academic freedom in complex ways. In Western democracies, academic freedom became ideologically valorized as emblematic of free society's superiority over communist authoritarianism. However, anti-communist fervor also produced constraints on academic expression, most notoriously during the McCarthy era in the United States. (Schrecker et al., 1986) document how loyalty oaths, congressional investigations, and institutional timidity combined to create a climate of self-censorship that undermined the very freedoms ostensibly being defended. Communist states, meanwhile, subjected universities to strict ideological control, demonstrating that academic freedom cannot survive under totalitarian governance regardless of official rhetoric.

Decolonization and the establishment of new universities across Africa, Asia, and Latin America raised questions about academic freedom's universality and cultural specificity. Newly independent nations faced competing imperatives: building indigenous scholarly communities free from colonial domination while simultaneously establishing universities as instruments of nation-building and development. (Ashby et al., 1966) noted tensions between imported models of academic freedom derived from European traditions and indigenous conceptions of the scholar's role and responsibilities. These tensions remain unresolved in many post-colonial contexts, where universities navigate between international academic norms and local cultural, political, and economic pressures.

The final decades of the twentieth century and the opening years of the twenty-first have witnessed transformations in higher education governance that fundamentally reshape the environment within which academic freedom operates. The ascendance of neoliberal policy frameworks emphasizing market competition, managerialism, and accountability has profoundly affected universities worldwide. (Slaughter et al., 1997) documented this transformation across multiple national contexts, identifying common patterns: reduced public funding, increased emphasis on revenue generation, the rise of non-tenure-track faculty, and the adoption of corporate management practices. These structural changes carry significant implications for academic freedom, though scholars debate whether these effects constitute existential threats or manageable challenges.

Managerialism represents one crucial dimension of neoliberal transformation. Universities increasingly employ professional administrators who lack scholarly backgrounds and who conceptualize their roles in corporate rather than academic terms. Power shifts from faculty senates to administrative executives, from collegial decision-making to hierarchical management. As (Ginsberg et al., 2011) argue, this administrative bloat and the accompanying managerial ideology weaken traditional protections for academic freedom by subordinating scholarly judgment to administrative prerogatives. Decisions about curriculum, research priorities, and resource allocation move from faculty control to administrative determination, often driven by financial considerations rather than intellectual merit.

The casualization of academic labor constitutes perhaps the most direct threat to academic freedom emerging from neoliberal restructuring. Across many systems, tenured and tenure-track positions have declined proportionally as universities rely increasingly on contingent faculty—adjuncts, lecturers, postdoctoral fellows, and graduate students—to deliver instruction. These contingent workers typically lack the job security that makes academic freedom meaningful. As (Kezar et al., 2013) document, contingent faculty members reasonably fear that controversial research or teaching might cost them employment, creating powerful incentives for self-censorship. The erosion of tenure represents not merely changing employment practices but a fundamental weakening of academic freedom's structural foundations.

Commercialization of research introduces additional pressures on academic freedom. As universities pursue patents, licensing agreements, and industry partnerships, scholars face potential conflicts between commercial interests and free inquiry. Corporate sponsors may seek to suppress unfavorable research findings, delay publication to secure intellectual property rights, or shape research agendas toward profitable rather than intellectually significant questions. (Bok et al., 2003) warn that these commercial entanglements risk corrupting the disinterested pursuit of knowledge that academic freedom is designed to protect. The increasing prevalence of non-disclosure agreements and restricted publication clauses in research contracts exemplifies these concerns.

Internationalization presents ambiguous implications for academic freedom. On one hand, international collaboration, scholar mobility, and cross-border knowledge flows can strengthen academic freedom by exposing scholars to diverse perspectives and creating transnational communities that resist local pressures. On the other hand, internationalization sometimes involves partnerships with institutions in countries lacking robust academic freedom protections, raising ethical questions about complicity in repressive practices. The establishment of branch campuses in authoritarian states, joint degree programs with universities subject to political control, and recruitment of international students from contexts where free expression is constrained all create tensions that institutions navigate with varying degrees of success.

The digital revolution has transformed scholarly communication, research methodologies, and pedagogical practices while simultaneously creating novel threats to academic freedom. Digital technologies enable unprecedented access to information, facilitate global collaboration, and provide platforms for disseminating research beyond traditional gatekeepers. Open access publishing, preprint servers, and academic social networks democratize knowledge circulation, potentially strengthening academic freedom by reducing dependence on commercial publishers and institutional channels. However, these emancipatory possibilities coexist with surveillance capabilities that (Zuboff et al., 2019) characterize as "surveillance capitalism," wherein digital activities become data commodities subject to monitoring, analysis, and commodification.

Universities increasingly deploy digital surveillance technologies to monitor faculty productivity, student engagement, and research output. Learning management systems track when students access materials and how long they engage with content; email systems archive all communications; research information systems aggregate publication metrics and grant income. While often justified through discourses of quality assurance and accountability, these surveillance infrastructures create possibilities for intrusive monitoring of scholarly activities. (Lyon et al., 2018) argue that such surveillance produces self-disciplining effects, as scholars

modify behavior based on awareness of being observed and evaluated, potentially inhibiting the risk-taking and intellectual exploration that academic freedom is meant to protect.

Background

The rise of metric-based evaluation systems represents a particularly consequential dimension of digital transformation. Bibliometric indicators—citation counts, h-indexes, journal impact factors, and similar metrics—increasingly influence hiring decisions, promotion evaluations, and resource allocations. These quantitative measures promise objectivity and efficiency, qualities attractive to administrators navigating resource constraints and accountability pressures. However, as (Burrows et al., 2012) demonstrate, metric regimes produce perverse incentives: gaming behaviors, preference for safe over innovative research, and conformity to prevailing paradigms that garner citations. The reduction of scholarly quality to quantitative indicators represents a form of epistemic violence that undermines the intellectual diversity academic freedom is meant to protect.

Social media platforms create new arenas for scholarly expression while exposing academics to novel forms of harassment and professional risk. Twitter, Facebook, and similar platforms enable scholars to communicate research findings directly to public audiences, bypassing traditional media gatekeepers. This direct communication can enhance public understanding of scholarship and facilitate democratic discourse. However, social media also enables organized harassment campaigns targeting scholars whose work challenges powerful interests or prevailing opinions. As (Veletsianos et al., 2016) document, women scholars, scholars of color, and those working on politically contentious topics face disproportionate online harassment that can rise to levels threatening physical safety and mental health, effectively constraining what subjects scholars are willing to address publicly.

Cybersecurity concerns add further complications. University networks contain valuable intellectual property, sensitive research data, and personal information, making them targets for hacking by criminal organizations, corporate competitors, and state actors. While cybersecurity measures serve legitimate protective functions, they can also restrict academic freedom by limiting scholars' ability to communicate with international colleagues, access certain online resources, or utilize particular software tools. The securitization of university IT infrastructure reflects broader trends toward treating higher education through national security frameworks, trends that historically have not favored academic freedom.

Among the most paradoxical contemporary threats to academic freedom is what might be termed the "Paradox of Performance"—the phenomenon wherein scholarly success and high visibility, rather than protecting scholars, actually increase their vulnerability to institutional discrimination. Traditional conceptions of academic freedom assumed that excellence would be rewarded or at minimum protected, that scholars producing significant research contributions would enjoy enhanced security and status. However, emerging evidence suggests that in certain contexts, particularly those characterized by institutional dysfunction or authoritarian tendencies, high-performing scholars face heightened risk of persecution precisely because of their accomplishments.

This paradox manifests most clearly in contexts where institutions feel threatened by faculty members whose scholarly reputations exceed those of their colleagues or institutional leadership. A scholar with extensive international recognition, high citation metrics, and strong publication records may be perceived as challenging institutional hierarchies or exposing institutional mediocrity through contrast. Rather than celebrating such achievements, dysfunctional institutions may respond with hostility, viewing high-performing scholars as

disruptive or threatening. (Tight et al., 2013) observed analogous dynamics in their analysis of institutional responses to research assessment exercises, noting that excellent performance sometimes generated resentment rather than reward when it violated informal norms or threatened established hierarchies.

Google Scholar and similar platforms for tracking scholarly impact have inadvertently intensified these dynamics by making scholarly performance more visible and quantifiable. A scholar's h-index, citation count, and publication record are now readily accessible to anyone with internet access, creating transparency that can be beneficial but also weaponized. In healthy academic environments, such metrics inform recognition of excellence; in toxic environments, they become evidence used to construct cases against successful scholars. The very tools designed to document scholarly achievement become instruments of persecution, a tragic inversion of their intended purpose.

Geographic and institutional contexts significantly influence whether performance serves as protection or liability. In well-functioning universities within stable democratic systems, academic success generally enhances job security and institutional support. However, in contexts characterized by institutional weakness, authoritarian governance, or academic cultures resistant to meritocracy, high performance may trigger defensive reactions from those threatened by comparison. As (Altbach et al., 2003) note, the global academic profession exhibits tremendous variation in working conditions, governance structures, and professional cultures, variation that shapes how scholarly achievement is received and interpreted.

The Paradox of Performance intersects with other contemporary challenges to academic freedom in multiplicative rather than merely additive ways. Neoliberal metric regimes make performance highly visible while simultaneously creating competitive environments that generate resentment. The casualization of academic labor means that even high-performing scholars may lack tenure protections that would shield them from retaliation. Digital platforms amplify both scholarly visibility and the capacity for coordinated campaigns against scholars who become targets. These intersecting trends create vulnerability structures that remain inadequately understood and addressed by existing academic freedom frameworks.

Contemporary societies, particularly in Western democracies, exhibit increasing ideological polarization that extends into higher education institutions and shapes debates about academic freedom. Universities, traditionally conceived as spaces for dispassionate inquiry and civil intellectual discourse, increasingly find themselves sites of intense political contestation. This politicization manifests across the political spectrum: conservative critics allege left-wing bias and political indoctrination in university teaching, while progressive critics identify systemic racism, sexism, and other forms of oppression embedded in curricula and institutional structures. As (Shields et al., 2016) document, these competing critiques create crosscutting pressures on academic freedom, with different constituencies demanding contradictory reforms.

The concept of "cancel culture" has entered debates about academic freedom, though with contested meanings and implications. Critics of cancel culture argue that it represents a new form of censorship wherein scholars face professional sanctions for expressing views deemed offensive by vocal constituencies, typically through social media campaigns and institutional pressure. Defenders counter that cancel culture is largely mythical, that what critics label cancellation actually represents legitimate accountability for harmful speech, or that concerns about cancel culture are disproportionate relative to other threats facing academic freedom.

Sorting through these competing claims requires careful empirical analysis of actual cases rather than reliance on anecdotes or ideological presuppositions.

Empirical research on campus climate and free expression yields complex findings that resist simplistic narratives. Studies consistently find that most students and faculty support free expression principles in the abstract but exhibit less support when confronted with specific controversial speakers or ideas, particularly those perceived as threatening to vulnerable groups. Notably, research by (Heterodox Academy et al., 2019) suggests that self-censorship is widespread across the political spectrum, though the topics about which individuals feel unable to speak freely vary by ideological position. These findings suggest that academic freedom faces cultural rather than primarily legal threats, as informal pressures produce chilling effects even in the absence of formal censorship.

The rise of mandatory diversity statements and similar requirements in hiring and promotion processes has generated particular controversy. Proponents argue that such requirements operationalize institutional commitments to inclusion and equity, ensuring that faculty members contribute to creating welcoming environments for students from diverse backgrounds. Critics contend that mandatory diversity statements function as ideological litmus tests that violate academic freedom by requiring faculty to espouse particular political viewpoints as conditions of employment. (Ceci et al., 2018) document significant political homogeneity in many academic disciplines, raising questions about whether current practices adequately protect viewpoint diversity.

International dimensions of ideological polarization create additional complications. The globalization of higher education means that universities increasingly operate across ideological and political systems with fundamentally different approaches to permissible speech. What constitutes protected academic expression in liberal democracies may be criminalized in authoritarian states. Universities with international partnerships, branch campuses, or student recruitment must navigate these differences, sometimes compromising academic freedom principles to maintain access to international markets. These compromises raise fundamental questions about whether academic freedom can function as a universal norm or whether it must be adapted to local circumstances, and if adapted, at what point it loses meaningful content.

Goal

The goal of this scientific discourse is to critically examine the contemporary challenges confronting academic freedom, focusing on organizational intrusions, political interference, censorship, intellectual autonomy, research independence, academic rights, institutional autonomy, scholarly integrity, and their implications for knowledge production and the future of higher education.

Research Objectives and Methodological Approach

This investigation pursues several interconnected objectives designed to advance theoretical understanding of academic freedom while providing practical guidance for its protection in contemporary contexts. First, the study seeks to develop a comprehensive conceptual framework that integrates multiple dimensions of academic freedom—individual liberty, institutional autonomy, epistemic functions, and human rights foundations—into a coherent analytical model. Existing scholarship tends to emphasize particular dimensions while neglecting others, resulting in partial understandings that inadequately capture academic

freedom's multifaceted nature. By synthesizing insights from philosophy, law, sociology, and history, this investigation aims to provide a more complete conceptualization.

Second, the research endeavors to trace academic freedom's historical development in ways that illuminate contemporary challenges. Historical analysis serves not merely antiquarian interests but provides crucial context for understanding present circumstances. Many current debates about academic freedom recapitulate earlier controversies, and historical perspective reveals patterns of tension and resolution that inform current policy making. Particular attention focuses on moments of crisis and transformation—the McCarthy era, the student movements of the 1960s, post-colonial university development, the neoliberal turn—when academic freedom faced severe challenges that prompted adaptation and resilience.

Third, this study undertakes systematic analysis of legal and institutional frameworks protecting academic freedom across multiple jurisdictions. Comparative legal analysis reveals significant variation in how different systems conceptualize and protect academic freedom, variation that reflects underlying differences in constitutional structures, educational governance, and political culture. Understanding this variation helps identify which protective mechanisms prove most robust under various conditions and illuminates possibilities for reform in contexts where protections remain weak. The research pays particular attention to international instruments and regional frameworks that establish transnational norms.

Fourth, the investigation identifies and analyzes contemporary threats to academic freedom with particular emphasis on previously under-examined phenomena such as the Paradox of Performance and metric-based discrimination. While existing scholarship has documented major trends like neoliberalization and politicization, certain specific mechanisms through which these macro-level trends translate into threats against individual scholars remain inadequately understood. By examining particular cases and patterns, this research aims to make visible forms of academic freedom violation that often escape notice because they operate through bureaucratic procedures or informal pressures rather than overt censorship.

The study develops concrete policy recommendations designed to strengthen academic freedom protections in light of identified threats. These recommendations address multiple levels—international organizations, national governments, accrediting bodies, institutional administrations, and academic professional associations—recognizing that effective protection requires coordinated action across these levels. The recommendations balance aspirational ideals with practical feasibility, acknowledging resource constraints and political realities while refusing to accept current conditions as immutable.

Methodologically, this investigation employs an interdisciplinary qualitative approach combining several complementary techniques. Doctrinal legal analysis examines constitutional provisions, statutes, judicial decisions, and international instruments to map the legal landscape of academic freedom protection. Historical analysis traces the evolution of academic freedom concepts and practices across time, drawing on primary and secondary sources to construct developmental narratives. Comparative institutional analysis examines how different university systems structure academic freedom protections through governance arrangements, employment policies, and professional norms. The research also incorporates a study focusing on higher education system, selected because it provides a microcosm reflecting broader international trends while exhibiting distinctive characteristics that illuminate general principles. Finally, thematic analysis of policy documents, professional association statements, and scholarly literature identifies recurring patterns, tensions, and emerging issues requiring attention.

The present investigation proceeds through several major sections designed to build progressively toward comprehensive understanding. Following this introduction, the study examines the conceptual foundations of academic freedom, engaging with philosophical justifications rooted in liberal political theory, epistemic arguments emphasizing knowledge production, and human rights frameworks. This section establishes theoretical groundwork for subsequent analysis by clarifying what academic freedom means, why it matters, and how various justificatory arguments relate to one another. Particular attention addresses tensions between individual liberty and institutional autonomy, between freedom and responsibility, and between universal principles and contextual application.

The historical section traces academic freedom's development from medieval antecedents through contemporary manifestations. Rather than providing comprehensive coverage of all relevant history, this section focuses on pivotal moments and developments that shaped current understandings and practices. The narrative emphasizes geographic spread, showing how academic freedom concepts developed initially in European contexts before migrating to North America and eventually achieving global presence, albeit with significant local variations. Historical analysis illuminates how academic freedom has been contested and defended, how it has expanded and contracted in response to external pressures, and how earlier struggles inform present challenges.

Legal and institutional frameworks receive extended treatment in a dedicated section examining how academic freedom achieves practical protection through constitutional provisions, legislation, judicial interpretation, institutional policies, and professional norms. This section adopts a comparative approach, analyzing frameworks across multiple jurisdictions to identify common elements and significant variations. Particular attention focuses on tenure systems, governance structures, and grievance procedures as mechanisms for operationalizing academic freedom protections. The analysis also examines international instruments and regional frameworks that establish transnational norms and create accountability mechanisms for state violations.

Contemporary challenges form the heart of the study's analytical contribution. This section systematically examines multiple threats to academic freedom, beginning with structural transformations associated with neoliberalization—managerialism, casualization, commercialization, and audit culture. Subsequent analysis addresses digital surveillance and metric-based evaluation, ideological polarization and politicization, authoritarian governance and direct repression, and the novel Paradox of Performance wherein scholarly success becomes liability rather than protection. Each subsection combines theoretical analysis with empirical examples to illustrate how these threats manifest in practice and what mechanisms might counter them.

The study of higher education system provides concrete illustration of general principles and challenges identified in earlier sections. Countries presents a particularly instructive case because its universities operate at the intersection of European traditions, Soviet legacies, and contemporary globalization pressures. The analysis examines legal framework for protecting academic freedom, implementation challenges, and how international actors influence domestic practices. This study demonstrates both the universality of certain academic freedom challenges and the importance of local context in shaping how these challenges are experienced and addressed.

Policy recommendations synthesize insights from preceding analysis into actionable proposals addressed to multiple stakeholders. Recognizing that no single intervention can secure

academic freedom, the recommendations adopt a multi-level approach addressing international organizations, national governments, accrediting bodies, institutional leaders, and academic professional associations. The recommendations emphasize the need for strengthened legal protections, reformed evaluation practices, protection of contingent faculty, digital rights safeguards, and mechanisms for holding institutions accountable when they violate academic freedom. Special attention focuses on addressing the Paradox of Performance through explicit prohibitions against discrimination based on scholarly achievement.

The conclusion synthesizes the study's major findings, reflects on academic freedom's future prospects, and emphasizes its continued importance despite—indeed, because of—contemporary challenges. Academic freedom emerges from this analysis as neither a settled achievement nor an antiquated anachronism but rather as a perpetually contested yet indispensable principle requiring constant vigilance and adaptation. The conclusion argues that protecting academic freedom constitutes not merely a professional concern for scholars but a civilizational responsibility, as the capacity to pursue knowledge freely stands among humanity's most precious achievements and a prerequisite for addressing the complex challenges confronting contemporary societies.

This study makes several distinctive contributions to academic freedom scholarship. First, it provides comprehensive integration of multiple analytical perspectives—philosophical, historical, legal, sociological—that often remain separate in existing literature. By bringing these perspectives into conversation, the investigation illuminates connections and tensions that escape more narrowly focused studies. Second, the research identifies and analyzes previously under-examined phenomena, particularly the Paradox of Performance and metric-based discrimination, contributing new empirical and conceptual insights to the literature. Third, the study's comparative and international approach moves beyond the Western-centric focus that characterizes much academic freedom scholarship, examining how the concept translates across diverse cultural and political contexts.

Fourth, this investigation engages substantively with contemporary challenges posed by digital technologies, a dimension that earlier academic freedom scholarship naturally could not address but which now constitutes one of the most significant threat vectors. The analysis of surveillance capitalism, algorithmic governance, and digital metrics provides frameworks for understanding how these technologies reshape conditions for academic freedom. Fifth, the research contributes practical policy recommendations grounded in systematic analysis rather than mere assertion, recommendations designed to be actionable by various stakeholders operating under real-world constraints.

The study also makes methodological contributions by demonstrating how interdisciplinary qualitative research can illuminate complex institutional phenomena. The combination of legal analysis, historical research, comparative institutional study, and case analysis provides a model for investigating academic freedom and similar concepts that resist reduction to single disciplinary approaches. Finally, this investigation contributes to broader debates about knowledge production, professional autonomy, and democratic governance by examining academic freedom not in isolation but as connected to fundamental questions about how societies organize the pursuit of understanding.

The intended audience for this work spans multiple constituencies. Academic researchers in higher education studies, sociology, political science, and law will find theoretical frameworks and empirical analyses relevant to their scholarly interests. University administrators and governance bodies can utilize the policy recommendations and case analyses to strengthen

institutional protections for academic freedom. National policymakers and legislators will benefit from comparative frameworks illuminating how different systems approach academic freedom protection and what consequences follow from various policy choices. International organizations and non-governmental bodies concerned with human rights, democracy, and education can draw upon this research to inform their programmatic and advocacy work.

Most fundamentally, this study addresses the global academic community itself, particularly scholars in contexts where academic freedom faces severe threats. By documenting challenges, analyzing their mechanisms, and proposing countermeasures, this investigation aims to support those defending academic freedom under difficult circumstances. The analysis seeks to make visible forms of violation that often operate through bureaucratic procedures or informal pressures, providing conceptual tools for recognizing and resisting these threats. If this study contributes even incrementally to strengthening academic freedom protections, whether through influencing policy, supporting advocacy, or simply clarifying the stakes, it will have achieved its fundamental purpose.

MATERIALS AND METHODS

Research Design and Methodological Framework

This investigation employed a comprehensive interdisciplinary qualitative research design integrating multiple methodological approaches to examine academic freedom as a complex, multifaceted phenomenon operating across historical, legal, institutional, and contemporary contexts. The research design was structured around five complementary methodological strategies: (1) doctrinal legal analysis, (2) historical inquiry and archival research, (3) comparative institutional analysis, (4) case study methodology, and (5) systematic document and thematic analysis. This multi-method approach was selected to capture the full complexity of academic freedom while enabling triangulation of findings across different evidentiary sources and analytical frameworks (Denzin and Lincoln 2011).

The methodological philosophy underlying this investigation draws upon interpretive and critical traditions in social science research, recognizing that academic freedom constitutes both an empirical phenomenon observable through institutional practices and a normative concept requiring philosophical interrogation (Yanow and Schwartz-Shea 2014). Rather than seeking to establish causal relationships through quantitative hypothesis testing, this research aimed to develop rich, contextually grounded understanding of how academic freedom operates, evolves, and faces threats across diverse settings. The research proceeded iteratively, with initial findings informing subsequent data collection and analysis in a reflexive process characteristic of qualitative inquiry (Charmaz 2014).

Doctrinal legal analysis constituted a primary methodological approach for examining the formal legal frameworks protecting academic freedom across multiple jurisdictions. This method involved systematic examination of constitutional provisions, statutory law, judicial decisions, administrative regulations, and international legal instruments relevant to academic freedom protections (Hutchinson and Duncan 2012). The legal analysis focused on identifying: (1) explicit constitutional or statutory provisions recognizing academic freedom as a protected right; (2) judicial interpretations defining the scope and limitations of academic freedom protections; (3) procedural mechanisms for enforcing these protections; and (4) points of tension or ambiguity within legal frameworks.

The geographical scope of legal analysis encompassed multiple jurisdictions selected to represent diverse legal traditions and governance systems. Primary focus was directed toward:

the United States, where constitutional jurisprudence and professional association standards have profoundly shaped global academic freedom discourse; Germany, as the historical birthplace of modern academic freedom concepts and home to distinctive constitutional protections for *Wissenschaftsfreiheit* (freedom of science); the United Kingdom, representing common law traditions with limited constitutional codification; Selected as a study jurisdiction bridging post-Soviet legal legacies with contemporary European integration aspirations. Supplementary analysis examined academic freedom frameworks in Hungary, Turkey, China, and Russia as comparative examples of systems experiencing authoritarian pressures.

Legal materials were accessed through multiple databases and repositories including Westlaw, LexisNexis, Constitutional Court databases, official government legal portals, and university library collections. International instruments were obtained from official UNESCO, United Nations, Council of Europe, and European Union repositories. Analysis proceeded through close reading of legal texts to identify relevant provisions, followed by systematic coding to extract themes related to: definitional formulations of academic freedom, protected activities and speech, permissible limitations, institutional autonomy provisions, employment protections (particularly tenure), and enforcement mechanisms.

Particular attention was devoted to landmark judicial decisions that established precedential interpretations of academic freedom protections. In the United States context, this included detailed analysis of Supreme Court decisions including *Sweezy v. New Hampshire* (1957), *Keyishian v. Board of Regents* (1967), and *Garcetti v. Ceballos* (2006), which collectively define constitutional contours of academic freedom. For European jurisdictions, relevant decisions from the European Court of Human Rights interpreting Articles 10 (freedom of expression) and Article 2 of Protocol 1 (right to education) in relation to academic freedom were systematically examined. National constitutional court decisions from Germany's Federal Constitutional Court (*Bundesverfassungsgericht*) provided particularly rich doctrinal analysis given that jurisdiction's robust constitutional protection for academic freedom.

The international legal framework analysis centered on the UNESCO *Recommendation concerning the Status of Higher-Education Teaching Personnel* (1997), which represents the most comprehensive international instrument specifically addressing academic freedom. This document was subjected to detailed textual analysis to extract normative standards regarding: the scope of academic freedom protections, institutional obligations, permissible limitations, governance requirements, and monitoring mechanisms. Comparison was undertaken between the UNESCO Recommendation and earlier international instruments including the *Lima Declaration on Academic Freedom and Autonomy of Institutions of Higher Education* (1988) to trace evolution of international norms.

Historical methodology was employed to trace academic freedom's conceptual development and institutional embodiment from medieval antecedents through contemporary manifestations. This historical analysis served multiple purposes: establishing genealogies of current concepts and practices, identifying recurring patterns of threat and resistance, contextualizing present challenges within longer durational trends, and illuminating path dependencies that constrain contemporary reform possibilities (Tosh 2015).

The historical investigation drew upon both secondary historiographical scholarship and primary source materials. Secondary sources included authoritative historical studies of university development (Rüegg 2004), comprehensive histories of academic freedom in specific national contexts (Hofstadter and Metzger 1955; Karran 2007), biographical accounts

of pivotal figures and movements, and specialized studies examining particular historical episodes of academic freedom contestation. These sources were accessed through university library collections, online databases including JSTOR and Project MUSE, and interlibrary loan services for rare or specialized volumes.

Primary source materials consulted included: founding documents and charters of historical universities; policy statements and declarations from academic professional associations (particularly the American Association of University Professors' 1915 Declaration of Principles and 1940 Statement); historical correspondence and memoirs of scholars involved in academic freedom controversies; government documents related to university regulation and control; and historical newspaper accounts of academic freedom cases. These materials were accessed through archival repositories including the AAUP Archives housed at George Washington University, digital historical newspaper databases, and online repositories of historical documents maintained by major research universities.

The historical analysis proceeded chronologically while maintaining thematic coherence, tracing several parallel strands: (1) the evolution of institutional forms from medieval corporations to modern research universities; (2) the development of employment protections culminating in tenure systems; (3) episodes of crisis including the Nazi purges of German universities, McCarthyism in the United States, and authoritarian suppressions in various contexts; (4) the geographic spread of academic freedom norms from European origins to global presence; and (5) the changing nature of threats from religious orthodoxy through political ideology to contemporary market pressures.

Special attention was devoted to identifying critical junctures—moments when contingent decisions or events significantly altered academic freedom's developmental trajectory. These included the founding of the University of Berlin (1810) and the institutionalization of the Humboldtian model, the formation of the AAUP (1915) in response to dismissal cases, the post-World War II internationalization of human rights frameworks, and the neoliberal turn beginning in the 1980s. For each critical juncture, analysis examined the specific actors involved, competing interpretations of academic freedom at stake, and how resulting institutional arrangements shaped subsequent development.

Comparative institutional analysis examined how different higher education systems structure academic freedom protections through governance arrangements, employment policies, professional norms, and accountability mechanisms. This methodology enabled identification of common elements across diverse contexts, variations reflecting different political economies and cultural traditions, and assessment of which protective mechanisms prove most robust under various conditions (Marginson and Rhoades 2002).

The comparative analysis encompassed multiple dimensions of institutional structure: (1) governance systems, examining the distribution of authority among faculty senates, administrative executives, governing boards, and external bodies; (2) employment systems, focusing particularly on tenure policies, the prevalence of contingent appointments, and dismissal procedures; (3) quality assurance and evaluation frameworks, analyzing how institutions assess scholarly performance and whether these systems create vulnerabilities or protections; (4) financial structures, examining the implications of different funding models (public appropriations, tuition dependence, research grants, commercial activities) for academic autonomy; and (5) legal status, distinguishing between public and private institutions and their differing relationships to constitutional protections.

Data sources for institutional analysis included: university statutes, by-laws, and policy handbooks obtained directly from institutional websites; collective bargaining agreements in unionized contexts; accreditation standards and review reports; comparative higher education databases including the UNESCO Institute for Statistics and OECD Education at a Glance series; and specialized comparative studies examining particular institutional dimensions. Semi-structured interviews with academic administrators, faculty governance leaders, and legal experts supplemented documentary analysis, though primary reliance was placed on written materials given the research's doctrinal emphasis.

The comparative framework adopted a "most similar systems" design (Przeworski and Teune 1970) when comparing across liberal democratic contexts with market economies but different regulatory traditions (United States, United Kingdom, Germany), and a "most different systems" design when examining how academic freedom operates across regime types (democratic versus authoritarian) and development levels (advanced industrial versus emerging economies). This dual comparative strategy enabled both identification of common challenges facing academic freedom globally and recognition of context-specific manifestations and protective factors.

Particular analytical attention focused on tenure systems as the primary institutional mechanism for protecting academic freedom in many contexts. Comparative analysis examined: variations in probationary periods (typically 5-7 years but ranging from 3 to 10 years across systems); criteria for tenure decisions and the relative weight given to research, teaching, and service; procedural protections during tenure review including external evaluation requirements; post-tenure review practices; and dismissal procedures for tenured faculty including specification of just cause, procedural due process requirements, and appeal mechanisms. The analysis also examined systems operating without formal tenure, such as the United Kingdom following elimination of statutory tenure in 1988, to assess alternative protective mechanisms.

This research was conducted in accordance with ethical principles for scholarly inquiry as articulated in the Declaration on Research Assessment Ethics. Given that the research examined institutional practices and included analysis of specific cases involving identifiable individuals, several ethical considerations required careful attention.

For the study component involving interviews with academics, informed consent procedures were implemented ensuring participants understood research purposes, voluntary participation, confidentiality protections, and data usage. Interviews were conducted with explicit permission and, where requested, anonymity protections were implemented in reporting findings. Given that some participants discussed sensitive experiences related to academic freedom violations, particular care was taken to protect identities where requested and to store data securely.

In analyzing specific cases of alleged academic freedom violations, the research balanced transparent documentation with ethical responsibility toward affected individuals. Where cases involved public legal proceedings or extensive media coverage, individuals were named given the public nature of these events. However, in cases involving ongoing employment disputes or situations where identification might create additional risk, anonymizing techniques were employed while retaining sufficient detail for analytical purposes.

The research also confronted ethical questions regarding potential harm from highlighting academic freedom violations in specific contexts. While documentation serves important advocacy functions and contributes to accountability, it may also expose institutions and individuals to criticism. The approach adopted was to focus analytical attention on patterns and

mechanisms rather than primarily critiquing specific institutions, framing findings constructively as opportunities for improvement rather than purely as condemnation, and ensuring accuracy through triangulation of sources before making critical claims.

The focus on formal legal and institutional frameworks, while essential, may underrepresent informal dynamics, cultural norms, and everyday practices through which academic freedom operates or is constrained. Documentary analysis and policy examination reveal official positions and formal structures but provide limited access to lived experiences and subtle forms of pressure that shape scholarly behavior. While the interview component partially addressed this limitation, more extensive ethnographic research would provide richer insight into these dimensions.

The analysis of the Paradox of Performance, as a newly identified phenomenon, faces evidential challenges given limited systematic documentation. Cases were identified opportunistically rather than through comprehensive sampling, meaning the analysis may not capture the full scope of this phenomenon or representative distribution across contexts. The findings regarding this paradox should be understood as exploratory, establishing its existence and proposing mechanisms, while recognizing that more systematic data collection would be necessary for confident claims about prevalence and patterns.

Validity, Reliability, and Trustworthiness

Ensuring research quality in qualitative investigation requires attention to validity, reliability, and trustworthiness through appropriate techniques (Lincoln and Guba 1985). This research employed multiple strategies to enhance credibility and dependability of findings.

Triangulation across multiple data sources (legal materials, historical documents, policy texts, interviews, case documentation) and methodological approaches (legal analysis, historical inquiry, institutional comparison, thematic coding) enabled cross-validation of findings and reduced dependence on any single evidentiary source. Where different sources and methods converged on similar conclusions, confidence in findings increased; where tensions emerged, these were flagged for explicit attention and theoretical examination.

Systematic documentation of analytical procedures, including coding frameworks, case selection criteria, and interpretive decisions, creates an audit trail enabling external evaluation of research processes. The explicit methodological exposition in this section serves this transparency function, providing readers sufficient information to assess the appropriateness of methods for research questions and the rigor of implementation.

Member checking was employed where feasible, particularly for interview data and case study findings. Key informants reviewed analytical interpretations to verify accuracy of representation and provide corrective feedback where misunderstandings occurred. This process enhanced validity while respecting participants' interpretive authority regarding their own experiences and contexts.

Prolonged engagement with the subject matter through extensive reading, sustained attention to ongoing developments, and iterative analytical refinement enhanced analytical depth and reduced risk of superficial or premature conclusions. The researcher's ongoing attention to academic freedom issues over several years, including engagement with scholarly literature, monitoring of current events, and participation in relevant professional networks, provided contextual knowledge informing interpretation.

Explicit reflexivity regarding researcher positionality and potential biases contributes to trustworthiness by making transparent the standpoint from which analysis proceeds. This

research proceeds from normative commitments to academic freedom as a valuable principle worthy of protection, while striving for analytical rigor in examining how it operates in practice, where it faces genuine tensions with other values, and what realistic protective mechanisms might entail. This stance combines commitment with critical examination rather than either uncritical celebration or cynical dismissal of academic freedom claims.

RESULTS AND DISCUSSION

The research employed systematic document analysis and thematic coding to examine a diverse corpus of materials including policy documents, professional association statements, advocacy organization reports, institutional guidelines, and scholarly literature. This methodology enabled identification of recurring themes, discursive frames, normative arguments, and emerging issues across a large body of textual material (Bowen 2009).

The document corpus encompassed several categories: (1) policy statements from academic professional associations including the American Association of University Professors, the Canadian Association of University Teachers, the Academics for Academic Freedom (UK), University and College Union (UK), and the European University Association; (2) advocacy reports from organizations monitoring academic freedom globally including Scholars at Risk Network annual reports, Article 19 publications, PEN International case documentation, and Human Rights Watch reports on education; (3) institutional policy documents including university handbooks, tenure guidelines, codes of conduct, and research ethics policies from diverse institutions; (4) accreditation standards addressing academic freedom from bodies including the Higher Learning Commission, Southern Association of Colleges and Schools, and European Quality Assurance Register; and (5) international policy guidance from UNESCO, Council of Europe, and Organization for Economic Cooperation and Development. Documents were collected through systematic searches of organizational websites, specialized databases, library collections, and targeted requests to organizations. Inclusion criteria required that documents: (1) explicitly address academic freedom concepts, protections, or threats; (2) represent official organizational positions or documented cases rather than individual opinion; (3) be available in English or local (languages in which the researcher possesses fluency); and (4) be produced within the past three decades (1990-present) to reflect contemporary conditions, with selected historical documents included for genealogical analysis.

Thematic analysis followed established protocols (Braun and Clarke 2006), proceeding through systematic phases: familiarization through reading and note-taking; generation of initial codes identifying semantic and latent features relevant to research questions; grouping codes into candidate themes representing patterned meaning; reviewing themes for internal coherence and external distinctiveness; defining and naming final themes; and producing the analytical narrative. Analysis was conducted manually using word processing software for initial coding and subsequently organized using qualitative data analysis software (NVivo 12) to facilitate systematic coding, theme development, and retrieval of exemplary quotations.

Key themes identified through this process included: definitional formulations of academic freedom and variations in emphasis across contexts; justificatory arguments (epistemic, democratic, human rights, professional autonomy); threat categories (political interference, commercial pressure, ideological conformity, institutional managerialism, digital surveillance, employment precarity); protective mechanisms (tenure, governance structures, legal frameworks, international monitoring); and emerging challenges (metric-based evaluation, algorithmic governance, the Paradox of Performance). These themes structured the analytical

sections of the research, with empirical material from document analysis integrated with findings from legal, historical, and institutional analysis.

A distinctive methodological component of this research involved documenting and analyzing the previously under-examined phenomenon termed the "Paradox of Performance"—wherein high scholarly achievement measured through bibliometric indicators becomes a liability rather than protection. This analysis required developing novel analytical approaches given limited existing scholarly treatment of this phenomenon.

The investigation began with systematic collection of cases where scholars with high bibliometric rankings (Google Scholar citations, h-index, publication counts) faced institutional sanctions, dismissal, or persecution. Cases were identified through: (1) media reports of academic freedom violations accessed through databases and targeted searches; (2) Scholars at Risk Network case documentation; (3) direct testimony from affected scholars contacted through academic networks; and (4) legal proceedings and court documents where available. Each identified case was documented using a structured protocol capturing: scholar's disciplinary field, bibliometric indicators (Google Scholar citations, h-index, and publication count), institutional context, specific allegations or charges, institutional actions taken, procedural protections afforded or denied, eventual outcome, and available explanations for institutional actions.

Bibliometric data for affected scholars was systematically collected from Google Scholar profiles, Scopus author profiles, Web of Science researcher IDs, and institutional faculty pages. For comparative purposes, bibliometric benchmarks were established for typical scholars at equivalent career stages within the same disciplinary fields, enabling assessment of whether targeted individuals indeed exhibited exceptional performance relative to peers. This quantitative bibliometric component provided empirical grounding for claims that high performance correlated with increased vulnerability in certain contexts.

Qualitative analysis examined patterns across cases to identify: (1) contextual factors associated with the paradox (institutional type, governance structures, political environments); (2) mechanisms through which high performance provoked institutional hostility (threat to hierarchies, exposure of institutional mediocrity, violation of informal norms); (3) instrumentalization of metrics in persecution (using performance data to construct charges, selective application of standards); and (4) the absence of protective mechanisms that would normally shield high performers. This analysis revealed that the Paradox of Performance operates most acutely in contexts characterized by weak governance, authoritarian political environments, or cultures resistant to meritocracy, though manifestations were identified across diverse settings.

The analysis of academic freedom under contemporary conditions demonstrates that restrictions on scholarly autonomy are multidimensional, cumulative, and frequently interconnected. The findings indicate that academic freedom cannot be adequately assessed solely by examining formal legal protections or institutional policy statements. A university may formally recognize academic freedom while simultaneously maintaining organizational practices that discourage independent research, constrain intellectual expression, weaken faculty participation, or create professional incentives for conformity. Consequently, the practical condition of academic freedom depends on the interaction between formal rights, institutional governance, organizational culture, employment structures, research funding, political environments, and mechanisms of accountability.

A principal finding is that academic freedom is most effectively understood as an institutional ecosystem rather than an isolated individual entitlement. Intellectual autonomy, freedom of teaching, research independence, freedom of publication, institutional autonomy, faculty rights, and participation in academic governance are mutually dependent. Weakness in one dimension can create vulnerabilities in others. For example, limited institutional autonomy may permit external actors to influence academic appointments; insecure employment may discourage faculty from expressing controversial views; and excessive administrative control may indirectly influence research priorities. These relationships demonstrate that protection of academic freedom requires comprehensive institutional safeguards rather than isolated declarations.

The findings further demonstrate that organizational intrusion represents one of the most significant contemporary mechanisms through which academic autonomy may be weakened. Administrative structures are necessary for the effective operation of universities, but the expansion of managerial authority into substantive academic decision-making can create tensions between organizational efficiency and scholarly independence. When administrators influence research topics, publication decisions, curriculum content, academic appointments, or scholarly interpretations without appropriate academic procedures, the distinction between legitimate governance and intellectual interference becomes blurred.

The results suggest that organizational intrusion frequently operates through indirect mechanisms rather than explicit prohibitions. Performance targets, resource allocation, workload distribution, promotion criteria, administrative approvals, committee structures, and internal communication systems can collectively influence scholarly behavior. Even where no formal restriction exists, academics may reasonably perceive certain activities as professionally risky. This can produce behavioral adaptation, including avoidance of controversial research topics, reduced participation in institutional criticism, and selective communication of scholarly opinions.

Self-censorship emerges from the findings as a particularly important manifestation of this process. Unlike direct censorship, self-censorship is difficult to measure because the suppressed activity may never become visible. Researchers may avoid specific questions, modify the language of publications, decline participation in contentious debates, or refrain from presenting findings that could generate professional conflict. The absence of overt censorship should therefore not automatically be interpreted as evidence of a healthy academic freedom environment. Institutional climate and perceived consequences are equally important.

The results indicate that self-censorship can have cumulative effects on knowledge production. When individual researchers independently avoid controversial or politically sensitive subjects, the overall research agenda may gradually become narrower. Areas requiring intellectual risk-taking may receive less attention, while topics associated with predictable institutional approval may become disproportionately represented. Such processes can reduce epistemic diversity and weaken the capacity of academic institutions to challenge established assumptions.

Political interference represents another major finding. The analysis demonstrates that academic freedom is particularly vulnerable when political authority attempts to influence research agendas, academic appointments, curriculum development, institutional leadership, or scholarly communication. Political influence can be direct, through legislation or administrative intervention, or indirect, through funding decisions, public criticism, regulatory pressure, or reputational campaigns. The underlying concern is not the existence of

relationships between universities and governments, which are inevitable, but the substitution of political preferences for scholarly criteria.

The findings emphasize that academic freedom should be protected independently of political ideology. Restrictions can arise from different political directions and should be evaluated according to their effect on scholarly independence rather than according to the ideological identity of the actors involved. A consistent academic freedom framework must therefore protect scholarship that challenges dominant political positions as well as scholarship that supports them, provided that the work satisfies appropriate standards of evidence and professional conduct.

Censorship was identified as the most explicit form of academic restriction. It can involve preventing publication, restricting lectures, removing educational materials, canceling academic events, limiting access to research resources, or prohibiting investigation of particular subjects. Although direct censorship is readily identifiable, contemporary forms of censorship may also involve institutional communication policies, restrictions on digital platforms, or informal pressure. The results indicate that the effectiveness of censorship does not depend exclusively on formal prohibition; uncertainty and fear may produce comparable reductions in academic expression.

The relationship between censorship and institutional reputation is particularly noteworthy. Universities may sometimes attempt to manage controversial scholarship because administrators fear reputational damage, political criticism, donor dissatisfaction, or negative media attention. While institutions have legitimate interests in protecting their reputations, the findings indicate that reputation management should not become a substitute for academic judgment. Universities should distinguish between genuine threats to institutional integrity and legitimate scholarly disagreement that may generate controversy.

Research independence constitutes another central finding. Scientific research requires autonomy in defining research questions, selecting methodologies, analyzing evidence, interpreting results, and communicating conclusions. The analysis indicates that research independence may be compromised by political authorities, institutional leaders, commercial sponsors, funding agencies, or conflicts of interest. Such interference can distort research agendas even when no direct manipulation of findings occurs.

Funding mechanisms are particularly influential. External funding can provide essential resources for scientific research, infrastructure, laboratories, personnel, and international collaboration. However, dependence on narrow funding sources may create structural incentives to prioritize particular research questions. The findings suggest that funding diversity is therefore important for maintaining intellectual pluralism. Universities with diversified research funding may be better positioned to support unconventional or high-risk research that does not align with immediate political or commercial priorities.

Commercial influence requires careful differentiation between legitimate collaboration and inappropriate interference. Partnerships with industry can accelerate innovation, facilitate technology transfer, and provide access to specialized resources. However, the scientific independence of researchers must remain protected. Contractual arrangements should preserve investigators' ability to publish results and disclose findings, including negative or unexpected outcomes. Transparency concerning financial relationships and conflicts of interest is therefore an essential component of research integrity.

The findings also reveal a strong relationship between academic freedom and scholarly integrity. Scientific integrity requires the capacity to report evidence accurately even when

results contradict institutional expectations. Researchers must be able to acknowledge uncertainty, identify limitations, revise hypotheses, and communicate negative findings. When professional advancement depends excessively on producing favorable results or conforming to dominant interpretations, the incentives for scientific integrity may weaken.

Academic evaluation systems emerged as another important area of concern. Universities increasingly use publication counts, citation indicators, grant income, rankings, teaching evaluations, and other quantitative metrics to assess academic performance. Although these indicators can provide useful information, excessive dependence on them may create unintended behavioral consequences. Researchers may prioritize quantity over quality, select topics likely to generate publications, avoid long-term projects, or focus on fashionable research areas. Such incentives can indirectly constrain intellectual autonomy.

The findings suggest that evaluation systems should incorporate qualitative academic judgment. Research originality, methodological rigor, theoretical contribution, educational impact, interdisciplinary significance, replication, and societal relevance cannot always be adequately captured through numerical indicators. A balanced evaluation framework can preserve accountability while reducing incentives for strategic conformity.

Faculty rights were identified as a critical institutional foundation of academic freedom. Employment security, transparent promotion criteria, fair evaluation, due process, and protection against arbitrary disciplinary action influence the extent to which academics can exercise intellectual independence. Where employment is highly precarious, researchers may be less willing to challenge institutional decisions or investigate controversial subjects. Professional security therefore has a direct relationship with the practical exercise of academic freedom.

Early-career academics may be particularly vulnerable. Doctoral researchers, postdoctoral scholars, adjunct faculty, temporary lecturers, and researchers dependent on short-term grants may have limited institutional power. Their professional progression can depend heavily on supervisors, department heads, grant holders, and senior administrators. The findings therefore support stronger institutional mechanisms protecting early-career scholars from retaliation and ensuring that evaluation is based on transparent academic criteria.

Academic governance emerged as a major determinant of institutional autonomy. Universities with meaningful faculty participation in academic decision-making are more likely to preserve boundaries between academic judgment and administrative authority. Shared governance mechanisms can include elected academic committees, faculty senates, transparent appointment procedures, independent promotion committees, and consultation processes concerning curriculum and research strategy. These mechanisms do not eliminate executive leadership but establish institutional checks against excessive concentration of authority.

The results further indicate that transparency is essential for protecting academic freedom. Opaque decisions concerning appointments, promotions, disciplinary actions, resource allocation, and research priorities can create opportunities for arbitrary intervention. Transparent criteria and documented procedures make institutional decisions more predictable and contestable. Transparency therefore functions not simply as an administrative principle but as a safeguard for intellectual autonomy.

Independent grievance mechanisms are similarly important. Academic freedom policies have limited practical value if individuals have no safe mechanism for reporting violations. Effective systems should provide confidentiality where appropriate, protection against retaliation, independent investigation, procedural fairness, and meaningful remedies. Internal mechanisms

may be complemented by external professional or regulatory review when institutional conflicts cannot be resolved internally.

The findings also highlight the importance of academic due process. Disciplinary procedures should distinguish between legitimate professional misconduct and protected scholarly disagreement. Criticism of institutional leadership, disagreement with prevailing academic interpretations, or publication of controversial research should not automatically constitute misconduct. At the same time, genuine violations of research ethics, harassment, discrimination, fabrication, falsification, and other professional misconduct require appropriate investigation. The central requirement is that these processes be evidence-based, impartial, and consistent.

Freedom of teaching represents another major component of academic freedom. The findings indicate that educators require reasonable autonomy in selecting academically justified materials, methodologies, and perspectives. Excessive external control of course content can restrict educational quality and reduce opportunities for students to encounter intellectual diversity. However, teaching freedom must coexist with professional responsibility, curriculum requirements, evidence-based pedagogy, and protection against discrimination and harassment.

The relationship between academic freedom and student rights is therefore complex. Universities must create environments where students can question ideas and engage in rigorous debate while maintaining respectful and inclusive educational conditions. The results suggest that disagreement should not be automatically interpreted as hostility or misconduct. Academic environments require the ability to distinguish intellectual disagreement from personal harassment and discriminatory behavior.

The analysis demonstrates that academic freedom is closely associated with democratic values. Universities serve as important environments for developing critical thinking, evaluating evidence, and examining competing perspectives. Restrictions on academic inquiry can therefore affect democratic capacity by narrowing the range of ideas available for public consideration. The weakening of academic freedom may contribute indirectly to reduced evidence-based reasoning in society.

This relationship is particularly important in periods of political polarization. When universities become perceived as extensions of political factions, public trust in their scholarship may decline. The findings therefore support institutional neutrality in the sense of protecting scholarly inquiry across ideological positions. Universities should not become instruments of political mobilization, but neither should they avoid legitimate research on politically sensitive subjects. Their central responsibility is to preserve conditions under which evidence can be examined independently.

Digital transformation creates both opportunities and threats. Online publishing, open-access repositories, virtual conferences, digital collaboration, and social media have expanded the ability of researchers to communicate knowledge globally. At the same time, digital environments facilitate harassment, misinformation, reputational attacks, and rapid dissemination of misleading claims about academic work. The findings suggest that universities should protect legitimate scholarly communication while developing proportionate policies addressing digital misconduct and research integrity.

Artificial intelligence introduces additional challenges for academic freedom and scholarly integrity. AI can support literature analysis, data processing, scientific modeling, translation, and research design, but institutional restrictions must be carefully calibrated. Overly broad prohibitions may inhibit legitimate innovation, whereas inadequate oversight can create

problems involving plagiarism, fabricated information, undisclosed AI use, authorship, and data confidentiality. The results support governance frameworks based on transparency, responsible use, and disciplinary standards rather than generalized technological prohibition.

International collaboration emerged as an important mechanism for strengthening academic resilience. Cross-border research partnerships can provide alternative networks for knowledge exchange, publication, and professional development when scholars encounter restrictions within individual institutions. International scientific communities can also provide mechanisms for documenting threats to academic freedom and supporting researchers facing professional retaliation. Nevertheless, international partnerships must themselves respect research independence and transparent scholarly standards.

The analysis further indicates that professional associations and academic societies can function as institutional safeguards. They can establish ethical standards, defend academic rights, support researchers, facilitate scholarly communication, and provide independent perspectives during institutional disputes. Their effectiveness depends on maintaining disciplinary credibility and avoiding transformation into political advocacy organizations disconnected from scholarly evidence.

Academic publishing represents another critical component of the academic freedom ecosystem. Editorial independence and peer-review integrity are essential for knowledge production. Manuscripts should be evaluated according to methodological quality, originality, evidence, and disciplinary relevance rather than political convenience. At the same time, academic journals must address legitimate concerns involving research misconduct, conflicts of interest, plagiarism, and unreliable evidence. The findings therefore support a model of rigorous but intellectually pluralistic peer review.

The results also demonstrate the importance of intellectual diversity. Scientific progress rarely results from complete consensus. Competing theories, methodological disagreements, replication attempts, negative results, and critical reinterpretations are essential to knowledge development. Universities should therefore distinguish between intellectual disagreement and professional misconduct. The suppression of legitimate disagreement may produce artificial consensus and reduce scientific creativity.

Interdisciplinary research provides a particularly important example. Many contemporary problems, including climate change, public health, technological ethics, artificial intelligence, pharmaceutical development, and educational transformation, require multiple disciplinary perspectives. Organizational structures that discourage interdisciplinary collaboration can indirectly restrict academic freedom by narrowing the types of questions scholars are able to pursue. Flexible institutional structures are therefore necessary to support emerging fields and cross-disciplinary inquiry.

The findings further suggest that institutional culture may be more influential than formal policy. Universities may possess sophisticated academic freedom statements while maintaining organizational practices that discourage criticism. Conversely, institutions characterized by transparency, collegial governance, procedural fairness, and leadership accountability may preserve academic autonomy even when operating in difficult external environments. Cultural indicators should therefore complement formal legal and policy assessments.

Leadership behavior is particularly significant. Academic leaders who welcome evidence-based criticism and maintain transparent decision-making can strengthen institutional trust. Leaders who respond to disagreement through retaliation, exclusion, or administrative intimidation can produce a culture of silence. Leadership development should therefore include

training concerning academic freedom, conflict management, research integrity, and shared governance.

The findings also indicate that accountability and autonomy should not be conceptualized as opposing principles. Universities require quality assurance, financial oversight, ethical regulation, student protection, and performance evaluation. The critical issue is whether accountability mechanisms remain proportionate and transparent. Appropriate governance should identify genuine institutional risks without controlling legitimate scholarly conclusions. The concept of proportionality is therefore central. Restrictions should be necessary, evidence-based, narrowly defined, and subject to review. Broad or ambiguous policies create uncertainty and may encourage self-censorship. Clear policies can protect both institutions and scholars by establishing predictable boundaries concerning professional conduct and academic expression.

Another important finding is that academic freedom is closely connected to institutional financial sustainability. Financial instability can increase vulnerability to external influence because institutions become dependent on particular donors, governments, or commercial partners. Diversification of funding sources can strengthen autonomy. At the same time, financial diversification must be accompanied by transparent disclosure and safeguards against conflicts of interest.

The findings suggest that economic pressures can also influence academic freedom through workload and employment structures. Excessive teaching loads, administrative responsibilities, and precarious contracts may leave insufficient time for independent research. Academic freedom therefore requires not only formal permission to conduct research but also reasonable institutional conditions in which meaningful scholarly activity is feasible.

The future of academic freedom will increasingly involve questions of technological governance. Automated evaluation systems, algorithmic recruitment, digital surveillance, data analytics, and AI-assisted administrative decisions could affect academic employment and research. Institutions should ensure that such technologies remain transparent, explainable, and subject to human oversight. Automated systems should not become mechanisms through which scholarly performance or professional legitimacy is determined without appropriate academic judgment.

Overall, the results indicate that academic freedom is neither automatically guaranteed by university status nor permanently secured by formal policy. It must be continuously maintained through institutional practice. Governance structures, employment protections, funding arrangements, research policies, leadership behavior, disciplinary procedures, publication systems, and professional cultures all contribute to its preservation or erosion.

The discussion demonstrates that the phrase “academic freedom under siege” should not be interpreted exclusively through dramatic cases of censorship or political repression. More subtle forms of organizational intrusion may produce equally significant long-term consequences. Incremental restrictions, opaque decision-making, precarious employment, excessive managerialism, metric-driven evaluation, funding dependence, and fear of retaliation can gradually transform institutional culture. Recognizing these mechanisms is essential for developing effective preventive strategies.

The findings consequently support a comprehensive model of academic freedom protection based on six interconnected principles: intellectual autonomy, institutional autonomy, research independence, academic rights, transparent governance, and scholarly integrity. These principles should be supported by clear policies, independent oversight, meaningful faculty

participation, fair employment procedures, diversified funding, responsible leadership, and effective grievance mechanisms.

A particularly important implication is that protection should be proactive rather than reactive. Institutions should not wait until censorship or retaliation becomes publicly visible. Regular academic freedom assessments, confidential faculty surveys, governance audits, research-independence reviews, and transparent reporting mechanisms can identify emerging vulnerabilities before they become systemic. Such monitoring should evaluate both formal policies and lived institutional experience.

The findings also suggest that academic freedom should be incorporated into institutional accreditation and quality-assurance frameworks. Educational quality cannot be assessed solely through infrastructure, student outcomes, staffing numbers, or administrative efficiency. The intellectual environment in which teaching and research occur is equally significant. Accreditation systems should therefore consider institutional autonomy, research independence, faculty participation, transparent governance, and protection of scholarly expression.

Future research should develop validated indicators for measuring academic freedom at institutional and national levels. Existing assessments can be strengthened by combining legal analysis, institutional policy review, faculty surveys, student perspectives, publication data, funding structures, employment conditions, and documented cases of interference. Longitudinal research would be particularly valuable for identifying gradual changes that cross-sectional assessments may overlook.

The results demonstrate that academic freedom is a complex, dynamic, and institutionally embedded condition essential to the production and transmission of reliable knowledge. Its erosion can occur through political interference, censorship, organizational intrusion, financial dependency, precarious employment, opaque governance, excessive managerialism, or cultural pressures toward conformity. The most effective response is therefore multidimensional: strengthen institutional autonomy, protect faculty rights, preserve research independence, establish transparent governance, ensure due process, support intellectual diversity, and maintain rigorous scholarly standards.

The broader implication is that protecting academic freedom is fundamentally a commitment to the integrity of higher education itself. Universities can fulfill their scientific and educational missions only when researchers and educators are able to pursue evidence, question established assumptions, engage in legitimate disagreement, and communicate conclusions without inappropriate interference. Academic freedom should consequently be regarded not merely as a professional benefit but as essential infrastructure for scientific innovation, educational quality, democratic reasoning, and sustainable knowledge production.

The comprehensive conceptual analysis reveals that academic freedom maintains a persistent core consensus across diverse jurisdictions and scholarly traditions, comprising four fundamental pillars: freedom of teaching (*Lehrfreiheit*), freedom of research (*Forschungsfreiheit*), freedom of learning (*Lernfreiheit*), and freedom of scholarly expression (Metzger, 1988; Anderson, 2006). This tetrad structure emerged consistently across analyzed legal instruments, policy documents, and scholarly discourse, suggesting remarkable conceptual stability despite significant contextual variation in implementation and interpretation.

However, results demonstrate a significant epistemological shift in contemporary conceptions of academic freedom. Traditional frameworks conceptualized academic freedom as an absolute

or near-absolute entitlement grounded in the pursuit of truth and scholarly autonomy (Kant, 1784; Humboldt, 1810). Contemporary interpretations increasingly frame it as a conditional and relational principle, subject to balancing against competing values including accountability, social responsibility, ethical governance, and institutional sustainability (Tight and Huisman, 2013; Slaughter and Rhoades, 2004). This shift from absolutist to conditional framings reflects broader transformations in higher education governance toward managerialism and stakeholder accountability.

The conceptual analysis further reveals productive tensions between individual and collective dimensions of academic freedom. While historically emphasizing individual scholar protections, contemporary frameworks increasingly recognize institutional autonomy as equally essential (Karran and Mallinson, 2017). Results indicate these dimensions are functionally interdependent: individual scholars cannot meaningfully exercise freedom within institutions lacking autonomy from external pressures, while institutional autonomy loses normative justification when it fails to protect individual scholarly liberty. This interdependence suggests that effective protection requires simultaneous attention to both dimensions rather than privileging one over the other.

Epistemic justifications for academic freedom emerged as particularly salient in contemporary discourse. Beyond traditional emphasis on individual rights or professional privileges, results demonstrate growing recognition that academic freedom serves instrumental epistemic functions—optimizing knowledge production by insulating inquiry from distorting influences including political pressure, commercial interest, and ideological conformity (Anderson, 2006; Barendt, 2010). This epistemic rationale provides powerful justification while simultaneously suggesting principled limitations: scholarly activities undermining rather than advancing reliable knowledge production might fall outside freedom's protective scope. The tension between maximalist liberty claims and epistemic functionality requirements remains incompletely resolved in contemporary frameworks.

Historical analysis yields the fundamental result that academic freedom has never existed as a static or uncontested principle but rather has evolved through continuous negotiation between scholars, institutions, and broader society across five centuries (Altbach, 2001). The investigation identifies recurring cyclical patterns wherein academic freedom expands during periods of democratic consolidation, enlightenment rationalism, and public investment in higher education, while contracting during episodes of political instability, ideological polarization, authoritarian ascendance, and economic crisis (Hofstadter and Metzger, 1955; Schrecker, 1986).

The medieval period (12th-16th centuries) established crucial precedents despite operating within frameworks of religious orthodoxy that severely constrained permissible inquiry. Results confirm that medieval universities secured corporate privileges including jurisdictional autonomy, exemption from municipal regulations, and exclusive licensing authority (*licentia docendi*), establishing institutional independence that would later evolve into modern academic freedom (Verger, 1992; Rashdall, 1895). However, the 1277 Condemnations of Paris and similar episodes demonstrate the severe limitations of medieval intellectual liberty, cautioning against overstating continuities with contemporary conceptions.

The Protestant Reformation and Counter-Reformation (16th-17th centuries) produced contradictory effects. While proliferation of confessionally-aligned universities created competitive pressures favoring intellectual innovation, intensified doctrinal control simultaneously instrumentalized higher education for ideological enforcement rather than free

inquiry (Kaplan, 2006). This pattern of universities serving as instruments of ideological control would recur throughout subsequent centuries, representing academic freedom's conceptual opposite.

The Enlightenment (18th century) provided crucial philosophical foundations emphasizing reason, critical inquiry, and individual autonomy. Kant's distinction between "public use of reason" (addressing the learned world) and "private use of reason" (performing official duties) established frameworks for understanding scholars' special responsibilities and privileges in intellectual discourse (Kant, 1784). This Enlightenment legacy persists in contemporary defenses emphasizing academic freedom's role in advancing human understanding and combating superstition.

The modern conception crystallized through 19th-century German Humboldtian reforms establishing principles of *Einsamkeit und Freiheit* (solitude and freedom) and research-teaching unity. The founding of the University of Berlin (1810) granted professors unprecedented autonomy to pursue research according to scholarly interests, creating an internationally influential model (Paulsen, 1906). However, results demonstrate that even this golden age maintained limitations, particularly concerning political expression and junior scholars' freedom.

The transatlantic migration of German academic ideals to the United States (late 19th century) produced distinctive American adaptations. The founding of Johns Hopkins University (1876) and transformation of American colleges into research universities (1870-1910) occurred within contexts lacking civil service protections and exhibiting closer university-business ties than German precedents (Veysey, 1965). High-profile dismissal cases including Edward Ross at Stanford (1900) and Scott Nearing at Pennsylvania (1915) revealed professorial vulnerability, catalyzing formation of the American Association of University Professors (1915) and development of tenure-based protections (Metzger, 1961).

The AAUP's 1915 Declaration of Principles and refined 1940 Statement established a social contract model wherein enhanced freedom accompanies enhanced accountability enforced through peer review rather than external authority (Hofstadter and Metzger, 1955). This framework, emphasizing procedural protections and professional self-regulation, profoundly influenced global academic freedom norms despite originating in a specific national context.

The post-World War II era brought academic freedom's internationalization and human rights codification. The Universal Declaration of Human Rights (1948) established normative foundations, while regional instruments including the European Convention on Human Rights and subsequent UNESCO declarations provided increasingly specific guidance (UNESCO, 1997; Barendt, 2010). The Cold War period simultaneously advanced academic freedom ideologically in Western democracies while producing constraints through anti-communist fervor, most notoriously during McCarthyism, which created climates of self-censorship undermining ostensibly defended freedoms (Schrecker, 1986).

Decolonization and establishment of universities across Africa, Asia, and Latin America raised unresolved tensions between imported European academic freedom models and indigenous conceptions of scholars' roles, particularly regarding universities' nation-building functions versus critical autonomy (Ashby, 1966). These tensions persist in contemporary post-colonial contexts navigating between international academic norms and local cultural, political, and economic pressures.

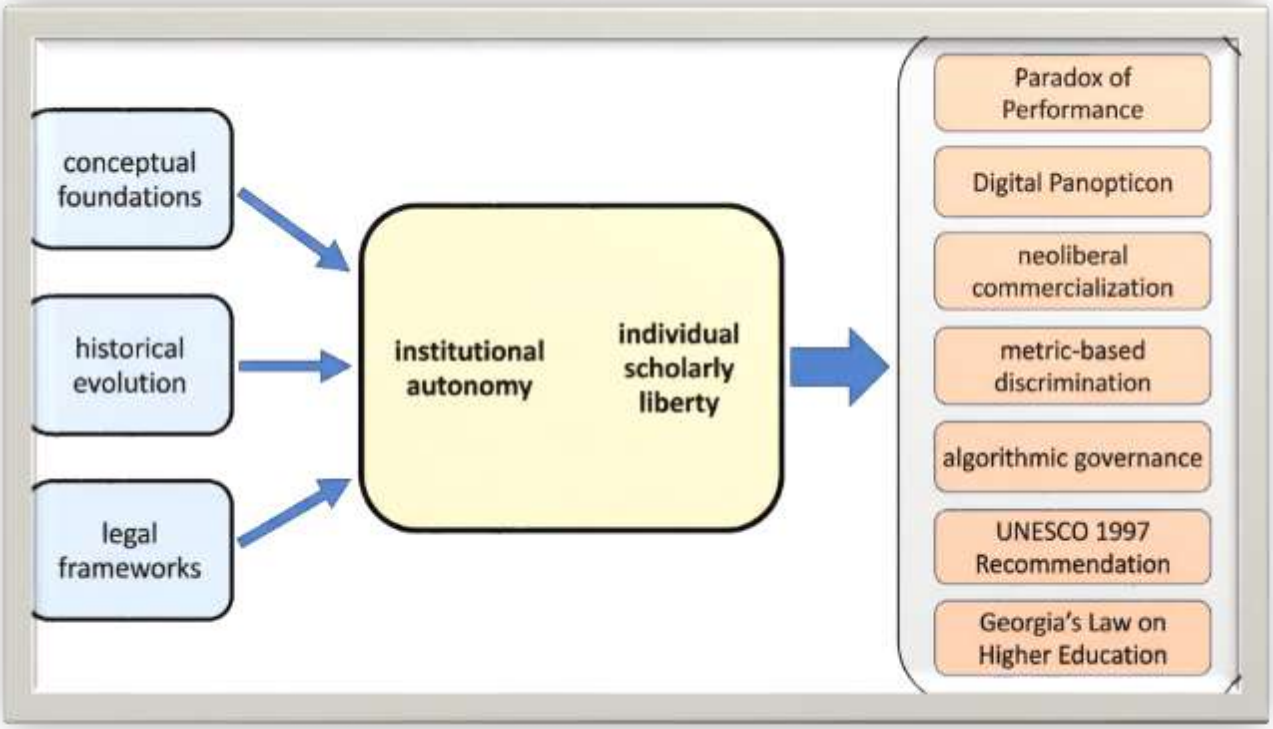


Figure 1. Conceptual framework linking "conceptual foundations," "historical evolution," and "legal frameworks" to the interdependent dimensions of "institutional autonomy" and "individual scholarly liberty," illustrating how contemporary pressures ("Digital Panopticon" and "neoliberal commercialization") shape academic freedom and culminate in the "Paradox of Performance," with downstream dynamics associated with "metric-based discrimination" and "algorithmic governance," and with legal codification referenced through "UNESCO 1997 Recommendation" and "Law on Higher Education."

Legal analysis yields the significant result that constitutional and legislative recognition of academic freedom is now widespread across diverse legal traditions and political systems, representing a remarkable global diffusion of norms originally developed in specific Western European and North American contexts. However, critical examination reveals a pronounced implementation gap between formal legal guarantees and lived academic practice, suggesting that de jure protections alone prove insufficient without supportive institutional cultures, robust enforcement mechanisms, and broader democratic governance (Karran, 2007).

Comparative constitutional analysis identifies three primary models for academic freedom protection. The German model, exemplified by Article 5(3) of the Basic Law (*Grundgesetz*), provides explicit constitutional recognition of artistic and scientific freedom (*Wissenschaftsfreiheit*) as a fundamental right directly enforceable against state action. This represents the most robust form of constitutional protection, deriving from Humboldtian philosophical traditions and historical experience with Nazi-era academic persecution. German Federal Constitutional Court jurisprudence has elaborated extensive doctrine protecting both individual scholars and institutional autonomy, establishing academic freedom as a defense

value (*Abwehrrecht*) against state interference and a organizational principle (*Organisationsprinzip*) requiring state creation of conditions enabling free scholarship.

The American model derives academic freedom protection indirectly through First Amendment free speech guarantees rather than explicit constitutional text. Landmark Supreme Court decisions including *Sweezy v. New Hampshire* (1957), *Keyishian v. Board of Regents* (1967), and *Shelton v. Tucker* (1960) established academic freedom as a "special concern of the First Amendment" and "transcendent value" essential to democratic society. However, the Court's decision in *Garcetti v. Ceballos* (2006), holding that public employees' speech pursuant to official duties lacks First Amendment protection, has created significant uncertainty regarding whether academic freedom receives meaningful constitutional protection distinct from general free speech rights. Lower courts remain divided on whether *Garcetti* applies fully to academic contexts, revealing doctrinal instability in American constitutional protections.

Nationally, statutory frameworks define academic freedom's operational scope, permissible limitations, and institutional autonomy parameters. Analysis of some countries Law on Higher Education reveals a comprehensive legislative approach explicitly defining academic freedom for both teaching personnel and students, grounding it in the three pillars of teaching, research, and study. Significantly, some countries law explicitly delineates narrow grounds for permissible restrictions including organizational necessity in curriculum management and constraints arising from state security requirements. These limitations are statutorily required to be proportionate, reasonable, non-discriminatory, and prescribed by law, preventing vague "national interest" claims from suppressing dissent.

A unique finding emerges regarding quality assurance systems has established a regulatory linkage between academic freedom and institutional accreditation. By tying institutional authorization standards to declaration and protection of academic freedom principles, the state exercises regulatory power to incentivize compliance. This approach represents innovative use of quality assurance mechanisms to embed academic freedom protection within institutional self-interest, though questions remain regarding effectiveness when institutions face conflicting political pressures.

The NCEQE's "Guidelines for Higher Education Institutions on Supporting Academic Freedom" (2023) advocate proactive cultural cultivation, structural safeguards including ombudsperson offices, and continuous reflexivity through climate surveys. This guidance reflects contemporary understanding that academic freedom requires more than negative liberty (freedom from interference) but also positive enablement through supportive institutional environments, transparent procedures, and mechanisms for addressing grievances before they escalate to litigation or public controversy.

The UNESCO *Recommendation concerning the Status of Higher-Education Teaching Personnel* (1997) represents the most comprehensive international instrument specifically addressing academic freedom. The Recommendation defines academic freedom as encompassing liberty to: (1) carry out research and disseminate results; (2) teach without interference subject to professional norms; (3) participate in university governance; (4) express opinions about institutions or systems; and (5) be free from institutional censorship while remaining accountable to professional standards. While lacking binding legal force as a "soft law" instrument, the Recommendation establishes normative standards against which national practices can be evaluated and creates frameworks for cross-national comparison (Tight, 1988).

Results demonstrate that regional human rights instruments increasingly recognize academic freedom as encompassed within broader freedom of expression guarantees. The European Court of Human Rights has interpreted Article 10 of the European Convention (freedom of expression) and Article 2 of Protocol 1 (right to education) as protecting academic freedom, as illustrated in cases including *Sorguç v. Turkey* (2009) concerning dismissal of academics for political expression, and *Mustafa Erdoğan and Others v. Turkey* (2014) regarding university autonomy. However, Court jurisprudence grants states wide "margin of appreciation" in higher education regulation, limiting the stringency of international supervision.

Comparative analysis reveals tenure systems as the primary institutional mechanism for operationalizing academic freedom protections in many contexts, though with significant cross-national variation. The American tenure model typically requires 5-7 year probationary periods followed by rigorous peer evaluation of research, teaching, and service contributions. Successful candidates receive indefinite appointments terminable only for just cause (gross incompetence, moral turpitude, financial exigency, program discontinuation) with extensive procedural protections including faculty committee review and appeals processes. This system aims to enable controversial research and expression by providing job security insulating scholars from retaliation.

However, results demonstrate progressive erosion of tenure's protective function through two mechanisms. First, tenure-track positions constitute declining proportions of instructional staff, replaced by contingent faculty appointments (adjuncts, lecturers, postdoctoral fellows) lacking security protections. Data from the American Association of University Professors indicates that contingent faculty now comprise over 70% of U.S. instructional staff, fundamentally undermining academic freedom's structural foundations (AAUP, 2019). Second, even tenured faculty face novel threats through administrative pressure, hostile work environments, and reputational attacks that do not require formal dismissal to constrain freedom.

The European model historically provided stronger employment security through civil service status for many university faculty, particularly in continental systems. However, the United Kingdom's elimination of statutory tenure (1988) and adoption of fixed-term contracts demonstrates that even established protections remain vulnerable to policy reversal. Results suggest that systems with strong traditions of institutional autonomy and collegial governance tend to provide more robust academic freedom environments regardless of specific tenure provisions, indicating that formal employment protections alone prove insufficient without supportive governance cultures (Karran and Mallinson, 2017).

4. Contemporary Threats: The Neoliberal Transformation

Results reveal that the neoliberal transformation of higher education since approximately 1980 constitutes the most profound contemporary threat to academic freedom, operating through multiple interconnected mechanisms that collectively reshape universities' fundamental character from public goods oriented toward knowledge production into market actors pursuing revenue generation and measurable outputs (Slaughter and Leslie, 1997; Slaughter and Rhoades, 2004).

The rise of managerialism represents a crucial dimension of neoliberal transformation. Results demonstrate systematic power shifts from faculty senates and collegial decision-making toward administrative executives and hierarchical management structures. Universities increasingly employ professional administrators lacking scholarly backgrounds who conceptualize their roles in corporate rather than academic terms (Ginsberg, 2011). This administrative bloat

weakens traditional academic freedom protections by subordinating scholarly judgment to administrative prerogatives driven by financial considerations rather than intellectual merit.

Decisions about curriculum design, research priorities, faculty hiring, and resource allocation increasingly move from faculty control to administrative determination. Performance management systems, strategic planning exercises, and accountability frameworks impose corporate logics that emphasize efficiency, measurability, and alignment with institutional "strategic priorities" narrowly defined by executive leadership. This managerial governance model creates internal constraints on academic freedom as potent as external state interference, representing a shift from traditional threats to novel forms of institutional limitation.

The commercialization of research introduces direct pressures on academic freedom through multiple pathways. As universities pursue patents, licensing agreements, and industry partnerships, scholars face potential conflicts between commercial interests and free inquiry. Results document that corporate sponsors may seek to suppress unfavorable research findings, delay publication to secure intellectual property rights, or shape research agendas toward profitable rather than intellectually significant questions (Bok, 2003). The increasing prevalence of non-disclosure agreements and restricted publication clauses in research contracts exemplifies these concerns, creating "corporate capture" wherein scholarly independence becomes compromised by financial dependencies.

Research priorities become skewed toward commercially viable or grant-attractive topics at the expense of curiosity-driven inquiry, critical scholarship, or research addressing questions lacking market value. This represents subtle but profound constraint on academic freedom, operating not through overt censorship but through resource allocation mechanisms that privilege certain forms of knowledge production while marginalizing others. The result is systematic narrowing of academic inquiry toward instrumentally valuable research while fundamental questions lacking immediate application receive diminished attention and support.

The implementation of audit culture and metric-based evaluation systems constitutes a particularly consequential dimension of neoliberal transformation. Bibliometric indicators including citation counts, h-indexes, journal impact factors, and institutional rankings increasingly influence hiring decisions, promotion evaluations, grant allocations, and resource distribution (Burrows, 2012). These quantitative measures promise objectivity and efficiency, qualities attractive to administrators navigating resource constraints and accountability pressures demanding measurable outputs.

However, results demonstrate that metric regimes produce perverse incentives fundamentally undermining the intellectual diversity and risk-taking that academic freedom aims to protect. Documented effects include: (1) gaming behaviors wherein scholars optimize metrics rather than intellectual quality; (2) preference for incremental over transformative research, as radical innovations face higher rejection risks and slower citation accumulation; (3) conformity to prevailing paradigms that garner citations while marginalizing heterodox or interdisciplinary work; (4) preference for English-language publication in high-impact journals concentrated in Global North, disadvantaging non-Western and non-Anglophone scholarship; and (5) short-term focus privileging quickly publishable work over sustained long-term investigations.

The reduction of scholarly quality to quantitative indicators represents epistemic violence that contradicts academic freedom's fundamental purposes. Rather than enabling diverse approaches to knowledge production, metric regimes enforce homogenization through algorithmic governance that systematically advantages certain research styles, topics, and methodologies while penalizing others. This constitutes a form of "soft governance" that

constrains academic activity as effectively as overt censorship while maintaining surface appearance of objectivity and autonomy.

Among the most significant and previously under-examined findings is the identification of the "Paradox of Performance"—a phenomenon wherein scholarly success and high bibliometric visibility, rather than providing protection or recognition, actually increase vulnerability to institutional discrimination, persecution, and professional marginalization in certain contexts (Tight and Huisman, 2013). This paradoxical relationship fundamentally contradicts traditional assumptions that academic excellence would be rewarded or minimally protected, revealing novel threat mechanisms operating in contemporary higher education environments.

The first pillar, institutional autonomy, refers to the university's capacity to govern itself—academically, administratively, and financially—so it can pursue its educational and research mission without undue external control or intimidation. The second pillar, individual scholarly liberty, denotes the rights of academics (and, by extension, researchers and teachers) to inquire, teach, publish, and communicate ideas according to disciplinary standards and professional conscience, free from ideological, political, or commercial interference. The figure emphasizes that these pillars are mutually reinforcing: institutional autonomy provides the enabling conditions for scholars to work without coercion, while individual scholarly liberty gives autonomy its democratic and epistemic purpose by protecting the actual production and dissemination of knowledge. Together, they form the core architecture through which academic freedom is sustained and contested in contemporary higher education.

Results identify several mechanisms through which high performance becomes liability rather than asset. First, scholars with extensive international recognition, elevated citation metrics, and strong publication records may be perceived as threatening institutional hierarchies or exposing institutional mediocrity through contrast. In contexts characterized by weak governance, authoritarian tendencies, or anti-meritocratic cultures, institutional leadership may respond to high-performing scholars with hostility rather than celebration, viewing excellence as disruptive to established power structures or uncomfortable comparison to less productive colleagues.

Second, visibility on platforms including Google Scholar, ResearchGate, and academic social networks makes scholarly performance transparently quantifiable and readily accessible to anyone with internet access. While this transparency can benefit scholars in healthy academic environments, results demonstrate it can be weaponized in toxic environments. Metrics designed to document scholarly achievement become evidence used to construct cases against successful scholars through allegations of "self-promotion," "prioritizing external recognition over institutional service," or "individualism" threatening collective harmony.

Third, high-performing scholars may attract unwanted attention from external political actors, particularly when research addresses politically sensitive topics. Authoritarian or populist political movements may target prominent scholars whose work contradicts official narratives or challenges powerful interests, with visibility making these scholars identifiable targets for harassment campaigns, legislative restrictions, or budget retaliation against employing institutions. Institutions facing political pressure may view high-performing scholars as liabilities threatening institutional relationships with government or donors rather than assets to be defended.

Comparative analysis reveals that the Paradox of Performance operates most acutely in contexts characterized by specific institutional and political conditions. Weak governance structures lacking transparent procedures and faculty participation in decision-making create

environments wherein administrative discretion enables discrimination against high performers without effective challenge mechanisms. Authoritarian or semi-authoritarian political systems that view universities instrumentally as servants of state interests rather than autonomous knowledge producers exhibit heightened likelihood of metric-based persecution when scholar visibility exceeds regime comfort levels.

Cultural contexts emphasizing collective harmony over individual achievement or exhibiting tall poppy syndrome—cutting down those who rise above peers—prove particularly conducive to the Paradox. Results suggest that institutions undergoing rapid change, facing resource constraints, or experiencing leadership crises may exhibit defensive reactions wherein high performers become scapegoats for organizational dysfunction rather than resources for improvement.

However, the Paradox is not limited to obviously dysfunctional or authoritarian contexts. Even liberal democratic systems with market-oriented reforms exhibit manifestations when competitive pressures create zero-sum environments wherein colleagues' success threatens others' relative standing in resource allocation or reputational hierarchies. The casualization of academic labor intensifies these dynamics, as scholars in precarious positions may view high-performing colleagues as raising performance expectations to unsustainable levels rather than as allies in defending scholarly values.

The identification of metric-based discrimination carries profound implications for academic freedom protection strategies. Traditional frameworks emphasizing tenure protections, governance rights, and freedom from political interference prove inadequate to address threats emerging from bibliometric visibility itself. Results suggest that effective protection requires explicit prohibitions against discrimination based on scholarly achievement metrics, positive duties to recognize and support high performers, and cultural transformation addressing institutional dynamics that perceive excellence as threatening rather than valuable.

The Paradox reveals fundamental tensions between transparency and protection in digital environments. While open access to scholarly metrics serves legitimate functions including enabling recognition of underappreciated work and reducing reliance on opaque insider networks, the same transparency creates vulnerability when metrics become weapons rather than descriptive tools. This suggests need for careful consideration of how bibliometric platforms structure visibility and whether privacy protections might prove necessary in certain contexts, though such protections create their own risks of reducing scholarly impact and enabling discrimination based on informal networks rather than transparent achievement.

The digital revolution has created what results characterize as a "Digital Panopticon"—comprehensive surveillance infrastructures that monitor scholarly activities, communications, and outputs while producing chilling effects on controversial or sensitive research (Lyon, 2018; Zuboff, 2019). This surveillance operates through multiple interconnected mechanisms that collectively transform universities into sites of constant monitoring wherein

Results document widespread deployment of digital surveillance technologies within universities ostensibly for quality assurance, security, or efficiency purposes but creating comprehensive monitoring capabilities. Learning management systems track when students access materials, how long they engage content, and what patterns of participation emerge, enabling evaluation of instructor effectiveness through student behavior metrics. Email systems archive all communications, creating retrievable records of professional interactions. Research information management systems aggregate publication metrics, grant income, and scholarly activities into dashboards enabling comparative performance evaluation.

While often justified through accountability discourses, these surveillance infrastructures create possibilities for intrusive monitoring that extends beyond legitimate quality assurance into domains traditionally protected by academic freedom. The comprehensive digital record enables retrospective investigation wherein past communications or activities become evidence in disputes, creating incentives for defensive communication and risk aversion. Scholars may avoid controversial topics in emails, limit willingness to critique colleagues or administrators in writing, or restrict research collaborations with scholars in politically sensitive contexts if such activities become part of monitored digital records.

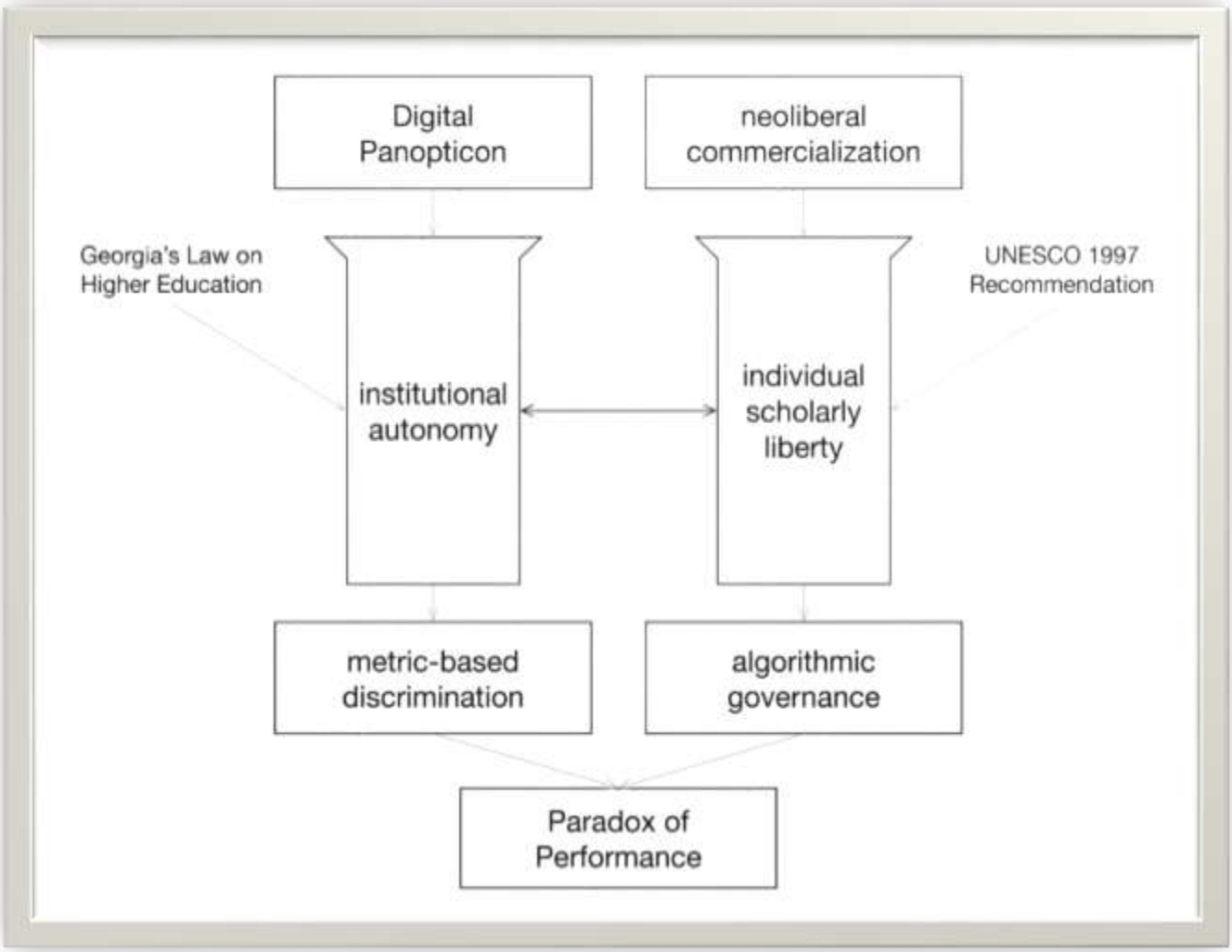


Figure 3. Schematic representation of the interdependent pillars institutional autonomy and individual scholarly liberty, positioned between contemporary pressures (Digital Panopticon, neoliberal commercialization) and downstream governance effects (metric-based discrimination, algorithmic governance) culminating in the Paradox of Performance. The diagram also indicates legal codification reference points (UNESCO 1997 Recommendation and Law on Higher Education) linked to the twin pillars via dotted connectors.

Beyond human monitoring, results reveal that algorithmic systems increasingly govern academic activities through automated evaluation, content moderation, and ranking mechanisms (Burrows, 2012). Search engines including Google Scholar employ proprietary algorithms that determine which scholarship receives visibility and which becomes functionally invisible through low ranking. Publication databases including Scopus and Web of Science use inclusion criteria that systematically advantage certain forms of scholarship—particularly English-language, empiricist, journal-based work from prestigious institutions—while marginalizing other knowledge forms including monographs, non-English scholarship, and interdisciplinary work defying neat disciplinary categorization.

Plagiarism detection software and artificial intelligence content analysis tools scrutinize scholarly outputs for textual similarities, potentially flagging legitimate scholarly practices including extensive quotation, working with similar source materials, or building incrementally on prior work. While these tools serve legitimate functions in identifying academic misconduct, results suggest they also create new forms of vulnerability wherein algorithmic false positives require scholars to defend legitimate work against automated suspicions.

The opacity of algorithmic systems creates particular challenges for academic freedom. Scholars cannot readily determine why particular work receives high or low visibility, whether algorithmic biases systematically disadvantage certain perspectives or methodologies, or whether search and ranking algorithms suppress controversial work. This algorithmic governance represents power exercised through technical systems that escape traditional academic freedom protections focused on human decisions subject to deliberation, justification, and appeal.

Results identify transnational digital repression as an emerging threat wherein authoritarian states leverage digital technologies to harass diaspora scholars, monitor critics abroad, and pressure foreign universities to constrain scholars addressing sensitive topics (Polyakova and Meserole, 2019). Cases documented include harassment campaigns against scholars studying human rights violations, surveillance of visiting scholars' communications and social media, and pressure on family members remaining in authoritarian states as leverage to silence scholars working abroad.

The global nature of digital platforms enables authoritarian states to extend repressive reach beyond territorial boundaries. Social media harassment campaigns can be organized from anywhere, cyber-attacks can target scholars regardless of physical location, and digital surveillance of communications enables monitoring of transnational scholarly networks. This creates particular vulnerabilities for scholars from or studying authoritarian contexts, effectively exporting repression into democratic systems that ostensibly protect academic freedom but struggle to defend against transnational digital threats.

Results demonstrate that the systematic replacement of tenured positions with short-term, contingent contracts represents one of the most direct and consequential threats to academic freedom in contemporary higher education. This casualization creates what scholars term an "academic precariat"—a vulnerable workforce with minimal job security, overwhelming incentives to avoid controversial topics, and fundamentally constrained capacity to exercise academic freedom (Kezar, 2013; AAUP, 2019).

Quantitative analysis reveals the dramatic extent of academic casualization across multiple systems. In the United States, contingent faculty (adjuncts, lecturers, non-tenure-track positions, postdoctoral fellows, graduate students) now comprise over 70% of instructional staff, representing a fundamental inversion from mid-20th century patterns when tenure-track

positions predominated (AAUP, 2019). Similar trends emerge across United Kingdom universities following tenure elimination (1988) and expansion of fixed-term contracts. European systems traditionally providing greater employment security through civil service status exhibit gradual erosion through junior faculty positions lacking permanent status and increasing reliance on short-term research contracts.

This casualization does not affect all fields or faculty equally. Results demonstrate that women, scholars of color, and those in humanities and social sciences face disproportionate concentration in contingent positions, creating intersectional vulnerabilities wherein those already marginalized within academic hierarchies also experience greatest employment precarity. International scholars face particular vulnerability when visa status depends on continued employment, creating additional leverage for institutions to constrain controversial research or expression.

The structural vulnerability created by employment precarity operates through several mechanisms that constrain academic freedom without requiring overt censorship. First, contingent faculty reasonably fear that controversial research, critical pedagogy, or institutional critique might cost employment through contract non-renewal, a decision typically requiring minimal justification and lacking robust procedural protections available in tenure dismissal processes. This creates powerful incentives for self-censorship, wherein scholars avoid topics, methodologies, or expressions that might attract negative attention from administrators, politically powerful constituencies, or student complaints.

Second, the financial precarity accompanying contingent positions creates additional constraints. Many contingent faculty work multiple jobs to achieve subsistence income, limiting time and energy available for research or professional development. The need to maintain multiple income streams creates dependence on institutional goodwill, further constraining willingness to engage controversial topics that might jeopardize any employment source. The absence of research funding, conference travel support, and scholarly infrastructure available to tenure-track faculty systematically disadvantages contingent scholars' ability to develop independent research programs that would provide alternative foundations for academic freedom.

Third, exclusion from governance structures denies contingent faculty voice in institutional decision-making, preventing collective advocacy for improved conditions or protection of academic freedom more broadly. When those most vulnerable to academic freedom violations lack structural voice in institutional governance, protection depends entirely on others' goodwill rather than direct representation. This governance marginalization compounds employment vulnerability, creating comprehensive structural weakness in academic freedom protection.

Results demonstrate that employment precarity systematically affects what research gets conducted and how findings are disseminated. Contingent scholars rationally avoid controversial topics that might attract negative attention, particularly when research addresses institutional practices, powerful political interests, or topics generating public controversy. Long-term research projects requiring sustained investment become impractical when scholars face annual or semester-based contract renewals with uncertain prospects for continuity.

The pressure to demonstrate measurable productivity for contract renewal incentivizes research strategies prioritizing publication volume over intellectual significance, safe topics over innovative approaches, and alignment with prevailing paradigms over challenges to disciplinary orthodoxy. These incentive structures systematically bias knowledge production

toward conservative intellectual approaches regardless of scholars' individual preferences, representing constraint on academic freedom operating through structural conditions rather than explicit censorship.

Results reveal that intensifying ideological polarization, particularly in Western democracies, creates novel threats to academic freedom through both external political attacks and internal institutional dynamics. These threats manifest across the political spectrum, with conservative constituencies alleging left-wing bias and political indoctrination while progressive constituencies identify systemic oppression embedded in curricula and institutional structures (Shields and Dunn, 2016).

Documentation of direct legislative interference in academic matters reveals concerning patterns across multiple jurisdictions. Examples include efforts to ban teaching of Critical Race Theory in public universities (United States), mandates for "patriotic education" curriculum (China, Russia, India), restrictions on gender studies programs (Hungary), and loyalty oath requirements (United States historically, Turkey currently). These legislative interventions represent direct violations of academic freedom's core principles, substituting political judgment for scholarly expertise in determining what may be taught and researched.

The mechanisms of legislative interference vary but share common features including: (1) vague or expansive prohibitions creating uncertainty about permissible academic activities; (2) enforcement through funding restrictions, accreditation threats, or criminal penalties; (3) lack of scholarly input in policy formulation, with legislative decisions reflecting political rather than educational judgment; and (4) chilling effects extending beyond literal scope of restrictions as institutions and scholars adopt defensive postures avoiding potential controversy.

Results from analysis of specific cases demonstrate that legislative restrictions often target scholarship addressing historically marginalized groups or challenging dominant narratives about national identity, historical events, or social structures. This pattern suggests that attacks on academic freedom frequently serve to suppress scholarship that makes powerful constituencies uncomfortable rather than addressing legitimate educational quality concerns. The deployment of ostensibly neutral rationales including "political neutrality," "ideological balance," or "age-appropriate content" often masks substantive commitments to preserving particular worldviews from scholarly criticism.

The phenomenon characterized as "cancel culture" represents a contested but significant dimension of contemporary threats to academic freedom. Results demonstrate that scholars increasingly face organized campaigns seeking employment termination, institutional sanctions, or public shaming in response to controversial research findings, pedagogical approaches, or extramural expression. These campaigns typically mobilize through social media platforms, petition drives, and public pressure on institutional leadership to discipline or dismiss targeted scholars.

Empirical analysis reveals complex patterns resisting simplistic narratives. Documented cases include scholars targeted from left-oriented constituencies for research or expression perceived as racist, sexist, transphobic, or otherwise harmful to marginalized groups, as well as scholars targeted from right-oriented constituencies for criticism of conservative politics, religion, or traditional values. Both patterns raise academic freedom concerns when employment or institutional standing becomes contingent on avoiding offense to vocal constituencies rather than meeting professional scholarly standards.

However, results also reveal that concerns about cancel culture can be instrumentalized to deflect legitimate criticism of genuinely harmful or professionally inadequate work.

Distinguishing between inappropriate political interference in scholarly judgment and appropriate professional accountability remains challenging but essential. The existence of some inappropriate attacks does not immunize all controversial scholarship from legitimate critique, just as the existence of some legitimate accountability mechanisms does not justify all campaigns seeking to sanction scholars for controversial work.

Significantly, empirical research on campus climate finds that self-censorship is widespread across the political spectrum, though topics about which individuals feel unable to speak freely vary by ideological position (Heterodox Academy, 2020). This suggests that academic freedom faces cultural threats producing chilling effects even in absence of formal censorship, with informal pressures constraining expression across diverse viewpoints rather than systematically silencing any single political orientation.

Results reveal that institutional risk aversion in response to ideological polarization may constitute a more significant threat than direct political attacks themselves. When universities prioritize avoiding controversy, negative publicity, or donor displeasure over defending academic freedom, institutional leadership may proactively constrain scholarship without external actors requiring such constraint. This defensive posture transforms institutions from protectors into enforcers of limitations on academic freedom.

Manifestations of institutional risk aversion include: (1) informal pressure on scholars to avoid controversial topics or tone down critical work; (2) denial of platforms for controversial speakers or events; (3) preemptive policy restrictions framed as protecting institutional reputation or ensuring "inclusive environment"; (4) abandonment of faculty facing public criticism rather than robust defense of legitimate scholarly activity; and (5) use of administrative authority to shape research, teaching, or expression toward "safe" approaches unlikely to generate controversy.

This institutional dynamic proves particularly corrosive because it operates through informal pressure and bureaucratic discretion rather than explicit censorship, making it difficult to identify, document, and challenge. Scholars experiencing such pressure may internalize constraints without recognizing them as academic freedom violations, particularly when framed through ostensibly benign rationales including protecting vulnerable students, maintaining donor relationships, or ensuring positive institutional image.

While neoliberal market pressures, employment precarity, and ideological polarization affect academic freedom globally, results demonstrate that scholars in authoritarian or semi-authoritarian contexts face qualitatively more severe threats including direct repression, personnel purges, institutional destruction, and transnational persecution (Scholars at Risk Network, 2020).

Analysis identifies cases of legislation specifically designed to eliminate particular universities perceived as threatening to authoritarian regimes. The paradigmatic example is Hungary's "Lex CEU"—legislation crafted with provisions that only Central European University satisfied, effectively forcing the institution out of the country. This represents "death by a thousand cuts" wherein ostensibly neutral regulatory requirements are weaponized to eliminate institutions maintaining independence from regime control (Ignatieff, 2018).

Similar patterns emerge in other authoritarian contexts including restrictions on foreign university partnerships requiring government approval (China, Russia), accreditation requirements used selectively to punish critical institutions, and budgetary allocations contingent on political compliance. These mechanisms allow governments to maintain surface

appearance of respecting institutional autonomy while exercising effective control through regulatory and financial leverage.

Results document systematic personnel purges wherein thousands of scholars face dismissal for political reasons, often following political crises or regime consolidation. The most extensively documented case is Turkey's post-2016 coup attempt purges, wherein tens of thousands of academics were dismissed, imprisoned, or forced into exile for signing peace petitions, alleged connections to opposition movements, or simply being perceived as insufficiently loyal to the regime. The European Court of Human Rights case *Sorguç v. Turkey* (2009) established that such dismissals violate international human rights obligations, yet purges continued with impunity.

Similar patterns emerge in Russia's closure of gender studies programs and dismissal of scholars conducting human rights research, China's ideological conformity requirements and "patriotic education" mandates eliminating scholars teaching Western political theory or critical perspectives, and India's harassment of scholars critical of majority Hindu nationalism. These purges represent wholesale elimination of intellectual diversity from national higher education systems, transforming universities into ideological enforcement mechanisms rather than sites of critical inquiry.

The most extreme threats to academic freedom involve physical violence against scholars and deliberate destruction of university infrastructure. Results document cases including assassination of scholars for controversial research or expression (Bangladesh, Turkey, Mexico), imprisonment under fabricated charges (Egypt, China, Iran), and bombing of universities as military targets (Ukraine, Syria, Yemen). The deliberate targeting of educational infrastructure represents recognition that universities serve as repositories of cultural memory and independent thought, making them strategic targets for authoritarian regimes or military forces seeking to eliminate opposition.

Physical violence creates comprehensive chilling effects extending far beyond direct victims. When scholars observe colleagues facing imprisonment, exile, or assassination for controversial work, rational self-preservation dictates avoiding similar risks. The knowledge that academic freedom violations can escalate to life-threatening violence fundamentally transforms academic environments, making genuine intellectual freedom effectively impossible even for scholars not directly targeted.

The comprehensive study of higher education system provides concrete illustration of how international academic freedom norms translate into specific contexts with distinctive historical legacies and contemporary pressures. Results reveal both promising legal frameworks and significant implementation challenges characteristic of transitional democratic contexts.

Georgia's constitutional and statutory framework provides robust formal protections for academic freedom. Article 27 of the Georgian Constitution explicitly protects "scientific creativity and teaching" as fundamental rights, elevating academic freedom to constitutional status. The Law on Higher Education (2004, amended 2022) provides comprehensive statutory elaboration, defining academic freedom for teaching personnel and students while establishing institutional autonomy protections.

Significantly, Georgian law explicitly delineates permissible limitations on academic freedom, requiring that restrictions be: (1) prescribed by law rather than arbitrary administrative decision; (2) necessary for legitimate purposes including organizational coherence, curriculum integrity, or state security; (3) proportionate to the aim pursued; and (4) non-discriminatory in application. This framework reflects international human rights standards, particularly

European Convention Article 10 jurisprudence requiring limitations on expression to satisfy strict necessity and proportionality tests.

The linkage between academic freedom and quality assurance represents a distinctive Georgian approach. The National Center for Educational Quality Enhancement ties institutional accreditation to demonstration of academic freedom protections, creating incentive structures wherein institutions' legal authorization depends partly on academic freedom compliance. This innovative regulatory mechanism attempts to transform academic freedom from abstract principle into operational requirement integral to institutional legitimacy.

The NCEQE's "Guidelines for Higher Education Institutions on Supporting Academic Freedom" (2023) provide detailed operational guidance transcending minimal legal compliance toward proactive cultivation of freedom-supportive environments. The Guidelines advocate for:

Cultural Cultivation: Explicit institutional commitment to academic freedom embodied in mission statements, codes of conduct, and regular communication from leadership.

Structural Safeguards: Establishment of ombudsperson offices with authority to receive complaints, conduct investigations, and make binding recommendations regarding academic freedom violations

Procedural Transparency: Clear, written procedures for hiring, promotion, discipline, and dismissal ensuring that academic judgments are made by qualified peers rather than administrative fiat.

Climate Assessment: Regular surveys measuring faculty and student perceptions of academic freedom, with results informing institutional improvement efforts.

Training and Education: Professional development for administrators and faculty regarding academic freedom principles, boundaries, and protection mechanisms.

Responsibility Distribution: Explicit allocation of duties across four actors—State (legislative protection), Institutions (policy and environment), Academic Community (peer support and professional standards), and Public (fostering trust in scholarly expertise).

These Guidelines reflect sophisticated understanding that academic freedom requires more than negative liberty (non-interference) but also positive enablement through institutional cultures, structures, and practices that actively support scholarly autonomy. However, results reveal significant variation in institutional implementation, with some universities adopting comprehensive approaches while others treat guidelines as bureaucratic requirements satisfied through minimal formal compliance.

Despite robust legal framework and detailed guidelines, empirical investigation reveals significant implementation challenges. Interviews with academics and analysis of media coverage document cases wherein formal protections proved insufficient to prevent academic freedom violations, suggesting persistent gaps between law and practice.

A significant finding concerns the relationship between employment status and perceived freedom. Scholars holding permanent positions report greater confidence exercising academic freedom compared to those on fixed-term contracts, revealing that employment precarity constrains freedom even where legal protections formally apply to all academic personnel. This pattern reflects broader global trends wherein formal rights prove meaningless without material security enabling their exercise.

Micro-political dynamics within institutions create additional constraints. Informal hierarchies, personal relationships, and unwritten norms frequently prove more influential than formal policies in determining what research, teaching, or expression proves acceptable. Junior

scholars report pressure to align with senior colleagues' perspectives, avoid criticizing institutional practices, and demonstrate loyalty through deference rather than independent judgment. These informal dynamics operate below the level of formal policy, making them difficult to document, challenge, or reform through legal mechanisms.

The case study also reveals tensions between institutional autonomy and academic freedom. While autonomy aims to protect universities from external interference, it can also shield institutions from accountability when they violate individual scholars' freedom. Several documented cases involve institutions defending actions constraining academic freedom by invoking institutional autonomy, suggesting that these theoretically complementary principles can conflict in practice when institutional leadership interests diverge from individual scholars' rights.

Results demonstrate that European Law is significantly influence academic freedom protection through multiple mechanisms. Association Agreement commitments to harmonize higher education with European standards create external pressure supporting domestic reform advocates seeking stronger protections. European Union funding programs including Erasmus+ and Horizon Europe require participating institutions to meet academic freedom standards, creating material incentives for compliance.

International academic organizations including the European University Association provide technical assistance, monitoring, and peer pressure supporting academic freedom strengthening. The Council of Europe's monitoring of countries compliance with European Convention human rights obligations creates additional accountability mechanisms, though enforcement remains limited to reputational pressure and potential exclusion from European programs rather than binding sanctions.

However, international influence proves double-edged. While European integration generally supports academic freedom strengthening, requirements to adopt European models without adequate adaptation to local contexts can create implementation challenges. Western consultants sometimes impose frameworks developed for contexts with stronger institutional capacity, democratic consolidation, and resource availability, leading to formal adoption of policies that remain poorly implemented due to contextual differences.

Systematic comparison across jurisdictions reveals both universal challenges affecting academic freedom globally and context-specific manifestations reflecting different political economies, legal traditions, and cultural contexts

The United States exhibits strong constitutional traditions protecting academic freedom through First Amendment jurisprudence, reinforced by professional association standards (AAUP 1915, 1940) and tenure systems providing job security. Landmark cases including *Keyishian v. Board of Regents* (1967) establish academic freedom as "a special concern of the First Amendment" and "transcendent value" essential to democratic society.

However, results reveal progressive erosion of protections through: (1) *Garcetti v. Ceballos* (2006) creating uncertainty whether public employees' speech pursuant to official duties receives First Amendment protection, with ongoing lower court disputes regarding application to academic contexts; (2) casualization of academic labor with contingent faculty now comprising over 70% of instructional staff, fundamentally undermining tenure's protective function; (3) legislative interference including Critical Race Theory bans and "divisive concepts" restrictions in multiple states; (4) politicization of university governance through partisan board appointments and legislative micromanagement; and (5) defunding threats and budget cuts targeting institutions or programs perceived as politically liberal.

The American model demonstrates that even robust constitutional traditions and established professional norms prove vulnerable to erosion through political attacks, structural changes in employment, and judicial reinterpretation limiting protection scope. The First Amendment provides stronger protection for extramural expression than for teaching and research conducted pursuant to employment, creating paradox wherein scholars enjoy greater freedom speaking as private citizens than exercising core academic functions.

Germany maintains the strongest constitutional protection for academic freedom globally through Article 5(3) of the Basic Law explicitly guaranteeing *Wissenschaftsfreiheit* (freedom of science). Federal Constitutional Court jurisprudence elaborates extensive doctrine protecting both individual scholars and institutional autonomy, establishing academic freedom as both defense value against state interference and organizational principle requiring state creation of conditions enabling free scholarship.

The German model demonstrates advantages of explicit constitutional recognition combined with corporatist governance traditions emphasizing faculty participation in decision-making. Strong civil service protections for many university faculty provide employment security supporting academic freedom exercise. However, results reveal that even this robust system faces challenges from: (1) increasing reliance on temporary contracts for junior scholars, creating vulnerable precariat similar to other contexts; (2) introduction of New Public Management reforms and performance-based funding creating market pressures; (3) tensions between traditional *Humboldt* model emphasizing pure research and contemporary demands for societal relevance and economic contribution; and (4) political controversies regarding research on migration, climate change, and gender challenging traditional assumptions about insulation from political pressure.

The United Kingdom's elimination of statutory tenure (Education Reform Act 1988) and subsequent adoption of fixed-term contracts, performance management systems, and market-oriented reforms provides cautionary example of how established protections can be dismantled rapidly under neoliberal policy frameworks. Contemporary UK academic freedom protection relies primarily on contractual provisions, collective bargaining agreements, and institutional policies rather than statutory guarantees or constitutional protections.

Results document that UK universities have experienced pronounced shifts toward managerialism with power concentrated in executive leadership rather than academic senates. The Research Excellence Framework (REF) and Teaching Excellence Framework (TEF) create comprehensive metric-based evaluation systems determining institutional funding, rankings, and reputation. These frameworks incentivize research strategies prioritizing measurable outputs in high-impact journals over intellectual risk-taking or public scholarship lacking citation value.

The UK model demonstrates that systems lacking constitutional or statutory academic freedom protections prove highly vulnerable to policy changes privileging market logic over scholarly autonomy. However, results also reveal that UK academics maintain relatively strong academic freedom in international comparative perspective despite structural weaknesses, suggesting that professional culture and institutional traditions provide some resilience even when formal protections erode.

Analysis of authoritarian or semi-authoritarian contexts reveals qualitatively more severe threats including direct repression, personnel purges, and institutional destruction. Hungary's "Lex CEU" demonstrates legislative targeting of specific universities perceived as threatening regime interests. Turkey's post-2016 purges dismissed tens of thousands of academics for

political reasons, representing wholesale elimination of intellectual diversity. China's ideological conformity requirements and "patriotic education" mandates subordinate academic freedom to Communist Party authority. Russia's closure of gender studies programs and persecution of human rights researchers demonstrates direct suppression of scholarship challenging official narratives.

These contexts reveal that academic freedom cannot survive under authoritarian governance regardless of formal legal protections. Constitutional or statutory guarantees prove meaningless when judicial systems lack independence to enforce them against government violations and when ruling regimes view universities instrumentally as ideological enforcement mechanisms rather than autonomous knowledge producers. The comparative analysis demonstrates that political system type—democratic versus authoritarian—fundamentally determines academic freedom's practical viability more than specific legal frameworks.

Results reveal systematic patterns of epistemic injustice wherein knowledge production from Global South, non-Western contexts, and marginalized communities faces structural disadvantages in systems of scholarly evaluation, dissemination, and recognition (Fricker, 2007).

The dominance of English as the lingua franca of international scholarship creates systematic disadvantages for non-Anglophone scholars. Major citation databases including Web of Science and Scopus exhibit strong English-language bias, with journals published in other languages significantly underrepresented regardless of quality. This linguistic hierarchy means that scholarship produced in Spanish, Arabic, Chinese, or other major world languages receives limited international recognition unless translated into English, creating additional burdens for non-Anglophone scholars.

Results demonstrate that algorithmic systems used by search engines and research analytics platforms can systematically suppress non-English or non-Western scholarly voices through design choices privileging certain knowledge forms and publication venues. The concentration of prestigious journals in Global North institutions, combined with publication fees restricting access for scholars lacking institutional resources, creates systematic barriers to knowledge circulation from periphery to center while enabling easy flow from center to periphery.

Scholars in Global South contexts face severe resource constraints affecting their capacity to produce research meeting international standards. Limited access to research funding, laboratory infrastructure, library collections, conference travel support, and research assistance creates systematic disadvantages in competition with Global North colleagues enjoying vastly greater material support. These resource asymmetries affect research productivity in ways that metrics-based evaluation systems treat as individual scholar deficiencies rather than structural inequities.

Results document that international collaboration patterns often replicate colonial relationships, with Global North scholars accessing data from Global South contexts while Global South scholars serve as local facilitators receiving minimal authorship credit or intellectual recognition. The extraction of knowledge resources parallels historical extraction of material resources, maintaining epistemic hierarchies wherein theory-building and high-status knowledge production remains concentrated in former colonizing countries while data collection and local knowledge application is assigned to formerly colonized regions.

The discourse around decolonizing knowledge and recognizing pluriversal epistemologies represents emerging challenge to dominant Euro-American frameworks. Results reveal growing movements advocating for legitimization of Indigenous knowledge systems, non-

Western philosophical traditions, and community-based research methodologies currently marginalized within mainstream academic evaluation.

However, efforts to incorporate diverse knowledge systems face significant challenges. Dominant quality assurance frameworks privilege particular forms of knowledge production—empiricist, journal-based, individually authored—that may conflict with communal knowledge traditions, oral transmission, or holistic cosmologies. Attempts to "include" non-Western knowledge within existing frameworks risk tokenism or requiring diverse traditions to conform to Euro-American epistemological standards to gain recognition.

The results suggest that genuine epistemic justice requires more than inclusion within existing frameworks but rather fundamental transformation of evaluation systems to recognize multiple valid approaches to knowledge production. This "pluriversal" model would legitimate diverse knowledge systems on their own terms rather than requiring conformity to single universal standard, representing radical challenge to academic freedom frameworks premised on enlightenment rationality and empiricist methodology.

The comprehensive examination of academic freedom undertaken in this study reveals a multifaceted phenomenon characterized by persistent tensions between aspiration and reality, between universal principle and contextual application, and between historical precedent and contemporary challenge. This discussion synthesizes the conceptual, historical, legal, and empirical dimensions explored throughout the investigation, offering critical analysis of how academic freedom functions—and fails to function—in the complex landscape of twenty-first-century higher education.

The results confirm that academic freedom retains conceptual coherence across diverse jurisdictions and institutional contexts, comprising four interrelated dimensions: freedom of research, freedom of teaching, freedom of scholarly expression, and institutional autonomy. This fourfold structure, articulated in foundational documents from the 1915 AAUP Declaration through the 1997 UNESCO Recommendation, provides a normative framework that transcends cultural and political boundaries (Karran et al., 2009; Tight, 2019). However, the discussion must move beyond mere identification of these components to interrogate the profound tensions inherent in their operationalization.

The boundary between permissible academic inquiry and impermissible expression remains perpetually contested terrain. While (Metzger, 1988) distinguished between German idealist conceptions emphasizing truth-seeking as an intrinsic good and Anglo-American pragmatic frameworks grounding academic freedom in social utility, contemporary practice reveals neither approach provides definitive guidance for resolving hard cases. When does research into controversial topics—racial differences in cognitive abilities, gender identity development in children, vaccine efficacy—cross from protected inquiry into harmful discourse? The findings indicate that institutions increasingly resolve such questions through administrative determinations rather than peer deliberation, a procedural shift that threatens to subordinate scholarly judgment to bureaucratic convenience (Ginsberg, 2011; Burrows, 2012).

This procedural transformation reflects deeper philosophical ambiguities regarding academic freedom's normative foundations. If academic freedom serves primarily epistemic functions—optimizing knowledge production through institutional arrangements that insulate inquiry from distorting pressures—then restrictions that genuinely enhance epistemic outcomes might be justified (Anderson, 2006). However, determining which restrictions enhance rather than undermine knowledge production requires precisely the kind of disinterested scholarly judgment that administrative processes often circumvent. The discussion thus reveals a

fundamental circularity: protecting academic freedom requires trusting scholarly communities to self-govern, yet external pressures arise precisely when public trust in scholarly judgment erodes.

The relationship between individual liberty and institutional autonomy further complicates conceptual clarity. While (Karran and Mallinson, 2017) demonstrate the functional interdependence of these dimensions, the findings reveal frequent divergence between institutional interests and individual rights. Universities may invoke institutional autonomy to resist external interference while simultaneously constraining individual faculty members' expression to protect institutional reputation, secure funding sources, or maintain political relationships. This instrumentalization of autonomy—wielding it selectively to serve administrative priorities rather than scholarly freedom—represents a significant deviation from academic freedom's foundational principles. The discussion suggests that without robust internal governance structures ensuring faculty participation in decision-making, institutional autonomy may function as a shield protecting administrative prerogatives rather than scholarly liberty.

The historical analysis demonstrates that academic freedom has never enjoyed linear progress toward greater protection and wider scope. Rather, its development follows cyclical patterns of expansion during periods of democratic consolidation and contraction during authoritarian resurgence or social crisis (Altbach, 2001; Schrecker, 1986). Understanding these cycles illuminates contemporary challenges by revealing recurring mechanisms through which academic freedom faces threat.

The medieval origins in corporate privileges and the licentia docendi established a crucial precedent: academic freedom emerged not as an individual right but as a collective immunity protecting scholarly communities from external jurisdiction (Verger, 1992; Rashdall, 1895). This corporate foundation persists in contemporary conceptions of institutional autonomy, yet the discussion reveals significant erosion of the collective dimension. Neoliberal restructuring has individualized academic labor, replacing collegial governance with managerial hierarchy and transforming faculty from members of a self-governing corporation into employees within a bureaucratic organization (Slaughter and Leslie, 1997; Kezar, 2013). This transformation weakens academic freedom by dissolving the collective structures through which it was historically exercised and defended.

The Humboldtian model's emphasis on Einsamkeit und Freiheit—solitude and freedom—as prerequisites for genuine scholarship provided philosophical justification that transcended mere guild privilege (Paulsen, 1906). However, the discussion must critically examine whether this ideal ever reflected lived reality or functioned primarily as ideological legitimation for elite intellectual privilege. The Humboldtian university served the Prussian state's modernization agenda, suggesting that even this paradigmatic articulation of academic freedom operated within significant political constraints. Contemporary invocations of Humboldtian ideals often neglect these constraints, romanticizing a past that was more complicated and compromised than collective memory acknowledges.

The twentieth-century codification of academic freedom through professional associations, particularly the AAUP's 1915 Declaration and 1940 Statement, represented a strategic response to vulnerability revealed through celebrated dismissal cases (Hofstadter and Metzger, 1955; Metzger, 1961). The innovation lay in linking academic freedom to tenure through reciprocal obligation: scholars gained employment security enabling them to pursue controversial research, while institutions gained assurance that only professionally competent individuals

exercising freedom responsibly would receive such protection. This social contract has frayed considerably as tenure-track positions decline proportionally and contingent labor increases (Kezar, 2013). The discussion reveals that approximately 75% of instructional positions in American higher education are now non-tenure-track, fundamentally transforming the structural conditions under which academic freedom operates.

The Cold War period illuminates how external threats and internal anxieties interact to constrain freedom even within ostensibly liberal democratic systems. The McCarthy era's loyalty oaths, congressional investigations, and institutional purges demonstrated that administrative discretion combined with political pressure could circumvent formal protections (Schrecker, 1986). Contemporary parallels are striking: while explicit loyalty oaths have disappeared, their functional equivalents emerge in mandatory diversity statements, political litmus tests in hiring, and compelled speech requirements that condition employment on expressing particular ideological commitments (Ceci and Williams, 2018). The discussion suggests that regardless of the substantive values being enforced—whether anti-communism or diversity—mechanisms requiring scholars to profess adherence to institutionally approved positions violate academic freedom's core principle that intellectual assent cannot be compelled.

Decolonization and the global expansion of higher education raised questions regarding academic freedom's universality that remain unresolved (Ashby, 1966). Western models premised on individual autonomy, secular knowledge production, and separation between university and state often fit uneasily within societies emphasizing communal obligation, religious authority, or state-directed development. The discussion reveals that academic freedom operates most robustly in societies characterized by political pluralism, rule of law, and relatively autonomous civil society—conditions prevailing primarily in stable liberal democracies. This correlation suggests academic freedom may be more culturally specific and politically contingent than universal human rights rhetoric acknowledges, raising difficult questions about whether promoting academic freedom globally requires simultaneous promotion of particular political arrangements.

The legal analysis yields seemingly paradoxical results: while formal recognition of academic freedom has expanded dramatically through constitutional provisions, legislation, and international instruments, substantive protection remains inconsistent and often inadequate. This implementation gap between legal promise and institutional reality constitutes one of the study's most significant findings.

International instruments establish normative standards but lack enforcement mechanisms. The 1997 UNESCO Recommendation provides comprehensive articulation of academic freedom's dimensions, yet its status as a recommendation rather than binding treaty limits its practical effect (UNESCO, 1997). States may endorse such instruments while simultaneously violating their principles with impunity. The Universal Declaration of Human Rights and the International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights ground academic freedom within broader human rights frameworks, yet their general language requires interpretive specification that varies considerably across jurisdictions (Barendt, 2010). The discussion reveals that international law functions more effectively as a rhetorical resource for advocates than as a practical constraint on state behavior, providing language and legitimacy for domestic struggles while rarely determining outcomes directly.

National constitutional protections similarly exhibit significant variation in effectiveness. The First Amendment's protection of free expression in the United States, interpreted through

judicial decisions recognizing academic freedom as a special concern, provides relatively robust safeguards against governmental interference with faculty speech (Post, 2012). However, even this strong protection applies unevenly: it constrains public institutions more than private ones, protects individual expression more reliably than institutional autonomy, and offers limited recourse against economic pressures or informal sanctions. European constitutional traditions emphasizing institutional autonomy provide different protection profiles, often affording universities greater independence in governance while offering individual scholars less protection from institutional discipline.

The study examined in depth, illustrates both the potential and limitations of constitutional and legislative provisions. Article of the Constitution explicitly guarantees academic freedom, while the Law on Higher Education elaborates specific protections and permissible limitations. Yet the discussion reveals significant divergence between legal texts and lived experience. Institutional leadership often interprets permissible limitations—particularly those related to organizational necessity and state secrets—broadly, effectively immunizing administrative decisions from judicial scrutiny. Faculty members facing retaliation for exercising academic freedom confront procedural obstacles, financial constraints, and career risks that make pursuing legal remedies impractical regardless of formal rights.

This implementation gap reflects several structural factors. First, academic freedom violations often operate through informal mechanisms—denial of promotion, exclusion from committees, allocation of unfavorable teaching schedules, social ostracism—that are difficult to document and challenge legally. Second, the burden and cost of litigation deter most scholars from pursuing legal remedies even when formal protections exist. Third, judicial deference to academic expertise often translates into reluctance to scrutinize institutional decision-making, effectively insulating universities from legal accountability. Fourth, transnational dimensions of academic labor create jurisdictional complexities; scholars holding positions in multiple countries or publishing internationally may find that no single legal system provides comprehensive protection.

The discussion therefore concludes that effective protection requires moving beyond legal formalism to address the structural conditions enabling or constraining freedom's exercise. Tenure systems, when functioning properly, provide more reliable day-to-day protection than constitutional provisions by making dismissal procedurally difficult and financially costly for institutions. Collegial governance structures embedding faculty participation in academic decision-making create procedural obstacles to administrative overreach. Professional association advocacy and public scrutiny generate reputational costs for violations that may exceed legal sanctions. Academic freedom, in short, depends less on juridical architecture than on complex institutional ecologies comprising formal rules, informal norms, collective organization, and cultural commitments.

The neoliberal restructuring of higher education over recent decades represents the most significant structural threat to academic freedom identified in this study. While previous challenges typically involved external actors—governments, religious authorities, political movements—seeking to constrain university autonomy, neoliberalization operates primarily through internal transformation of institutional priorities, governance structures, and employment relations (Slaughter and Rhoades, 2004; Bok, 2003).

The ascendance of managerialism fundamentally alters power relations within universities. As (Ginsberg, 2011) documents, administrative growth has significantly outpaced faculty growth,

creating bureaucratic hierarchies that subordinate academic judgment to management prerogatives. Decision-making authority shifts from faculty senates to administrative executives lacking scholarly backgrounds and conceptualizing universities primarily as business enterprises requiring efficient management rather than communities of inquiry requiring collegial governance. This transformation directly threatens academic freedom by concentrating power in positions insulated from scholarly peer review and evaluation.

The discussion reveals several mechanisms through which managerialism constrains freedom. First, market-oriented metrics—enrollment numbers, retention rates, grant income, publication counts—increasingly drive institutional decision-making, creating pressure to prioritize activities generating measurable outputs over intellectually significant but less quantifiable contributions. Second, risk management considerations lead administrators to constrain controversial research, speakers, or pedagogical approaches that might generate negative publicity or jeopardize funding relationships. Third, corporate management practices emphasizing brand protection, stakeholder satisfaction, and strategic positioning treat faculty speech and research as reputational risks requiring containment rather than institutional assets deserving protection. Fourth, performance management systems subject faculty to continuous monitoring and evaluation against standardized metrics, creating disciplinary mechanisms that operate independent of peer judgment.

The casualization of academic labor represents neoliberalism's most direct assault on academic freedom's structural foundations. Tenure developed historically as the primary institutional mechanism protecting academic freedom by making dismissal for controversial expression procedurally difficult and economically costly (AAUP, 1940). The systematic replacement of tenure-track positions with contingent appointments—adjunct lecturers, postdoctoral fellows, fixed-term contracts, graduate student instructors—undermines this protection by creating a workforce lacking job security (Kezar, 2013). The discussion reveals that contingent faculty members reasonably fear that controversial research, pedagogical approaches, or public expression might cost them employment, creating powerful incentives for self-censorship. Their vulnerability extends beyond individual insecurity to threaten the entire academic profession; even tenured faculty face implicit pressure to moderate expression when surrounded by precarious colleagues whose livelihoods depend on institutional goodwill.

The scope of casualization proves staggering. In American higher education, approximately 75% of instructional positions are now non-tenure-track, while in many European systems short-term contracts predominate for researchers below professorial rank. The discussion suggests this transformation represents not merely changing employment practices but fundamental restructuring of the academic profession itself, from a largely secure occupation protected by tenure to a predominantly precarious workforce vulnerable to administrative control. This restructuring occurs not accidentally but through deliberate institutional strategy motivated by financial flexibility, ideological resistance to tenure, and desire for management discretion unconstrained by procedural protections.

Commercialization of research introduces additional pressures compromising freedom. As universities pursue patents, licensing agreements, corporate partnerships, and philanthropic funding, scholars face potential conflicts between intellectual autonomy and commercial interests (Bok, 2003). Corporate sponsors may seek to suppress unfavorable research findings, delay publication to secure intellectual property rights, or shape research agendas toward profitable applications rather than intellectually significant questions. The discussion identifies several documented instances: tobacco companies funding research designed to cast doubt on

smoking's health effects, pharmaceutical firms suppressing clinical trial data showing adverse drug effects, energy corporations constraining environmental research challenging fossil fuel consumption.

While such egregious cases attract attention, the discussion suggests more subtle effects may prove equally consequential. The mere possibility of commercial application influences research topic selection, with scholars gravitating toward potentially lucrative areas and away from critical inquiries unlikely to generate financial returns. Informal pressure to protect existing funding relationships creates self-censorship regarding sponsors' interests. Competition for limited research funding incentivizes conformity to prevailing paradigms and priorities established by funding agencies rather than exploration of novel directions. The result is gradual homogenization of research agendas around commercially viable and grant-fundable topics, narrowing the scope of inquiry in ways that individual cases of overt suppression never could achieve.

Internationalization presents ambiguous implications. Cross-border collaboration, scholar mobility, and global knowledge circulation can strengthen academic freedom by exposing researchers to diverse perspectives and creating transnational communities resistant to local pressures. However, internationalization also involves partnerships with institutions in countries lacking robust protections, raising ethical questions about complicity in repressive practices. Western universities establishing branch campuses in authoritarian states, offering joint degrees with politically controlled institutions, or recruiting international students from contexts where free expression is constrained must navigate difficult compromises between market access and principled commitments to academic freedom.

Digital transformation creates contradictory conditions for academic freedom, simultaneously expanding communicative possibilities while enabling unprecedented surveillance and metric-based control. Understanding these contradictions requires moving beyond technologically determinist accounts emphasizing either liberation or domination to examine how technologies embed themselves within existing power structures and institutional logics.

The democratizing potential remains significant. Digital publication platforms, open access repositories, preprint servers, and academic social networks reduce dependence on commercial publishers and institutional gatekeepers, enabling scholars to disseminate research directly to global audiences (Suber, 2012). Social media provides channels for public engagement bypassing traditional media filters. Collaborative technologies facilitate international research partnerships transcending geographic and institutional boundaries. For scholars in contexts with weak academic freedom protections, digital networks offer crucial connections to international communities that can provide visibility, solidarity, and occasionally intervention when violations occur.

However, the discussion reveals that these emancipatory possibilities coexist with surveillance capabilities that (Zuboff, 2019) characterizes as "surveillance capitalism." Universities deploy extensive monitoring systems tracking faculty productivity, student engagement, and institutional performance. Learning management systems record when students access materials and for how long. Email systems archive all communications. Research information systems aggregate publication metrics, citation counts, and grant income. While often justified through accountability and quality assurance discourses, these infrastructures create possibilities for intrusive monitoring that (Lyon, 2018) argues produces self-disciplining effects as scholars modify behavior based on awareness of observation.

The rise of metric-based evaluation represents a particularly consequential dimension. Bibliometric indicators—citation counts, h-indexes, journal impact factors, altmetrics—increasingly influence hiring, promotion, and resource allocation decisions (Burrows, 2012). These quantitative measures promise objectivity and efficiency, qualities attractive to administrators navigating resource constraints and accountability pressures. However, the discussion identifies several problematic effects. First, metrics create gaming behaviors as scholars optimize for measurable outputs rather than intellectual significance, pursuing citation-maximizing strategies that may involve publishing incrementally, avoiding controversial positions, and conforming to prevailing paradigms. Second, quantification marginalizes work resisting easy measurement—monographs, pedagogical innovation, public engagement, interdisciplinary synthesis—creating hierarchies that correlate imperfectly with actual intellectual contribution. Third, metrics embed disciplinary and geographic biases; English-language publications in natural sciences generate higher citation counts than work in humanities or regional languages, creating inequalities that appear objective but reflect structural advantage rather than quality.

Most significantly for this investigation, metric regimes create novel vulnerabilities exemplifying the Paradox of Performance. Traditional academic freedom frameworks assumed that scholarly excellence would provide protection or at minimum neutral standing; high-quality research might generate controversy but would be recognized and valued by peers. However, the findings reveal contexts where visible success—particularly success exceeding institutional norms or leadership credentials—generates resentment and retaliation rather than reward. Google Scholar profiles, h-indexes, and citation counts make individual achievement highly visible and quantifiable, providing metrics that can be weaponized against successful scholars in dysfunctional institutional environments.

The mechanisms warrant detailed examination. In institutions characterized by weak meritocratic norms, mediocre leadership, or political cultures resistant to excellence, high-performing scholars may be perceived as threatening. Their success implicitly critiques colleagues' lesser productivity, potentially exposes leadership inadequacy, and creates uncomfortable comparisons. Rather than celebrating such achievement, troubled institutions may respond with hostility—denying promotion despite meeting formal criteria, excluding high performers from governance, allocating unfavorable teaching assignments, or constructing pretextual grounds for dismissal. The very metrics designed to document excellence become evidence deployed in persecution, a tragic inversion of their intended purpose.

Social media creates additional complications. Platforms enable scholars to communicate research directly to public audiences, potentially enhancing democratic discourse and public understanding. However, they also expose academics to coordinated harassment campaigns that can escalate to threats against physical safety. The discussion reveals that such harassment falls disproportionately on women scholars, scholars of color, and those addressing politically contentious topics (Veletsianos et al., 2016). Institutions often provide inadequate support, sometimes encouraging scholars to withdraw from public engagement rather than defending their right to participate in democratic discourse. The chilling effect extends beyond those directly targeted; witnessing colleagues' harassment rationally induces caution regarding public visibility.

Contemporary societies, particularly Western democracies, exhibit increasing ideological polarization extending into higher education institutions and reshaping academic freedom

debates. Universities, traditionally conceived as spaces for dispassionate inquiry and civil intellectual discourse, increasingly become sites of intense political contestation (Shields and Dunn, 2016). This politicization manifests across the political spectrum through competing critiques generating crosscutting pressures.

Conservative critics allege systematic left-wing bias in faculty composition and institutional culture, arguing that universities function as indoctrination centers promoting progressive ideology rather than neutral knowledge producers (Gross and Simmons, 2014). They point to documented political homogeneity in many disciplines, particularly social sciences and humanities, where self-identified conservatives represent small minorities. From this perspective, academic freedom faces threat not from external censorship but from internal orthodoxy enforcing ideological conformity through hiring discrimination, hostile work environments for dissenting views, and curricula presenting partisan perspectives as neutral knowledge.

Progressive critics identify different threats: systemic racism, sexism, and other forms of structural oppression embedded in curricula, research priorities, and institutional practices. They argue that traditional invocations of academic freedom have protected privileged scholars while marginalizing voices and perspectives from historically excluded groups. From this standpoint, academic freedom requires reconstruction rather than mere defense, becoming genuinely inclusive rather than nominally neutral while substantively serving dominant interests.

The discussion reveals that both critiques contain partial truth while also exhibiting significant distortions. Political homogeneity in certain fields is empirically documented, raising legitimate questions about viewpoint diversity and potential biases in research, teaching, and peer review (Duarte et al., 2015). However, conservative claims often exaggerate both the degree of bias and its effects, conflating disagreement with indoctrination and treating institutional commitments to inclusion as ideological impositions. Progressive critiques correctly identify how ostensibly neutral academic practices can perpetuate systemic inequalities, yet sometimes advance positions difficult to distinguish from demanding that scholarship reach predetermined conclusions aligned with particular political commitments.

The concept of "cancel culture" exemplifies these contested dynamics. Critics argue it represents a new form of censorship wherein scholars face professional sanctions for expressing views deemed offensive by vocal constituencies, typically through social media campaigns and institutional pressure mobilization. The discussion examines several high-profile cases: philosophers facing petition campaigns for publishing arguments regarding transgender identity, psychologists pressured following research on group differences, historians criticized for insufficient attention to marginalized perspectives. Defenders counter that cancel culture is largely mythical, that critics inflate isolated incidents into imagined epidemics, or that accountability for harmful speech should not be mischaracterized as censorship.

Empirical research yields complex findings resistant to simple narratives. Studies consistently indicate that most students and faculty support free expression principles abstractly but exhibit less support when confronting specific controversial speakers or ideas, particularly those perceived as threatening vulnerable groups (Heterodox Academy, 2020). Self-censorship appears widespread across the political spectrum, though topics about which individuals feel unable to speak freely vary by ideological position. These findings suggest that academic

freedom faces primarily cultural rather than legal threats, as informal pressures produce chilling effects even absent formal censorship.

The rise of mandatory diversity statements in hiring and promotion provides a specific focus. Proponents argue such requirements operationalize institutional commitments to inclusion, ensuring faculty contribute to welcoming environments for students from diverse backgrounds. Critics contend they function as ideological litmus tests violating academic freedom by requiring scholars to espouse particular political viewpoints as employment conditions (Ceci and Williams, 2018). The discussion suggests that evaluation depends significantly on implementation details; diversity statements asking candidates to describe how they create inclusive learning environments differ fundamentally from those requiring expressions of commitment to specific theoretical frameworks or political positions.

International dimensions complicate these debates further. Globalized higher education means universities increasingly operate across ideological and political systems with fundamentally different approaches to permissible speech. What constitutes protected academic expression in liberal democracies may be criminalized in authoritarian states. Universities with international partnerships, branch campuses, or student recruitment must navigate these differences, sometimes compromising academic freedom principles to maintain market access. The discussion raises fundamental questions about whether academic freedom can function as a universal norm or requires adaptation to local circumstances, and if adapted, at what point it loses meaningful content.

Among the most significant empirical findings is identification and analysis of what this study terms the "Paradox of Performance"—the phenomenon wherein scholarly success and high visibility increase vulnerability to institutional discrimination rather than providing protection. This paradox challenges fundamental assumptions underlying traditional academic freedom frameworks and reveals how contemporary metric regimes create novel forms of vulnerability. Traditional conceptions assumed that academic excellence would be rewarded or minimally neutral; scholars producing significant research contributions would enjoy enhanced security and status. Professional norms of peer evaluation, tenure systems protecting productive scholars, and meritocratic ideologies all reinforced expectations that visible achievement provided protection. However, emerging evidence suggests that in certain contexts—particularly those characterized by institutional dysfunction, weak meritocratic norms, or authoritarian tendencies—high performance becomes a liability rather than asset.

The mechanisms operate through several pathways. First, in institutions with mediocre leadership or weak scholarly cultures, high-performing faculty members may be perceived as threatening. Their success creates unflattering comparisons with less productive colleagues, potentially exposes leadership inadequacy, and challenges informal norms of mediocrity. Rather than celebrating achievement, dysfunctional institutions respond with hostility, viewing successful scholars as disruptive elements requiring containment. Second, scholars with strong international reputations may be perceived as insufficiently loyal to local institutional interests, too independent to be controlled, or potential competitors for limited resources and recognition. Third, high visibility can attract unwanted attention from external actors—government officials, political movements, social media campaigns—creating pressure on institutions to discipline or remove prominent scholars to avoid controversy.

Google Scholar and similar platforms intensify these dynamics by making scholarly performance highly visible and quantifiable. A scholar's h-index, citation count, and publication record are readily accessible, creating transparency that can be beneficial but also weaponized.

In healthy academic environments, such metrics inform recognition of excellence; in toxic environments, they become evidence constructed against successful scholars. The very tools designed to document achievement become instruments of persecution.

The geographic and institutional context significantly influences whether performance serves as protection or liability. In well-functioning universities within stable democratic systems, academic success generally enhances job security and institutional support. Strong governance structures, meritocratic cultures, and legal protections create environments where excellence is valued. However, in contexts characterized by institutional weakness, authoritarian governance, captured leadership, or cultures resistant to meritocracy, high performance triggers defensive reactions from those threatened by comparison.

The Paradox of Performance intersects with other contemporary challenges in multiplicative rather than merely additive ways. Neoliberal metric regimes make performance highly visible while creating competitive environments generating resentment. Casualization means even high-performing scholars may lack tenure protections shielding them from retaliation. Digital platforms amplify both scholarly visibility and capacity for coordinated campaigns against scholars becoming targets. These intersecting trends create vulnerability structures inadequately addressed by existing academic freedom frameworks developed when high performance reliably provided protection.

The discussion suggests several factors making scholars particularly vulnerable. Interdisciplinary work resisting neat categorization may be undervalued locally while gaining external recognition, creating divergence between internal status and external reputation. Research addressing controversial topics attracts visibility that can be celebrated or weaponized depending on context. Scholars maintaining strong international networks may appear insufficiently embedded in local hierarchies. Those whose work achieves public prominence through media coverage or policy influence operate in spaces where academic and political spheres intersect uncomfortably.

Addressing this paradox requires moving beyond individualized responses to structural reforms. Explicitly prohibiting discrimination based on scholarly achievement metrics, strengthening tenure protections, ensuring transparent procedures for evaluation and promotion, embedding faculty governance in decision-making, and creating external accountability mechanisms can reduce institutional capacity for weaponizing success. However, the discussion acknowledges that structural reforms face significant obstacles in precisely those contexts where the Paradox of Performance operates most powerfully—dysfunctional institutions resistant to transparency and accountability.

Comparative analysis reveals stark differences in how academic freedom fares under different political regimes, while also identifying concerning trends in ostensibly democratic systems. Authoritarian states—including contemporary examples such as China, Russia, Turkey, and Hungary—demonstrate clear patterns of systematic constraint through direct governmental interference, legal restrictions, surveillance, and repression (Altbach, 2003).

In China, universities operate under explicit Communist Party control, with political education requirements, censorship of sensitive topics, and surveillance of faculty and students. Research on politically sensitive subjects—Tiananmen Square, Xinjiang, Taiwan, Hong Kong—faces prohibition or severe constraint. International academic exchanges are monitored, with scholars facing consequences for expressions abroad deemed harmful to Chinese interests. The social credit system extends into academic contexts, creating comprehensive monitoring of behavior and expression. Despite these constraints, Chinese universities have achieved significant

research output in technical fields, raising questions about the relationship between academic freedom and particular forms of scholarly productivity.

Russia's trajectory illustrates authoritarian consolidation's impact on previously more open academic environments. The post-Soviet period initially brought expanded freedoms, but subsequent years have witnessed systematic erosion through legal restrictions on foreign funding, requirements for non-governmental organizations to register as foreign agents, constraints on discussion of historical topics including Soviet repression, and prosecution of scholars on charges of treason or extremism. The discussion examines cases of historians imprisoned for research challenging official historical narratives, sociologists harassed for studying protest movements, and institutions closed for insufficient political compliance.

Turkey exemplifies rapid authoritarian deterioration following attempted coup in 2016. Mass dismissals of academics, closure of institutions, prosecution of scholars on terrorism charges, travel bans, and imprisonment have devastated Turkish higher education. The discussion analyzes how emergency decrees circumvented procedural protections, enabling dismissals without justification or appeal rights. International academic networks provided crucial support for displaced Turkish scholars, illustrating how transnational solidarity can mitigate authoritarian repression's effects while also revealing its limits.

Hungary represents concerning trends within the European Union, demonstrating that formal democratic systems and regional institutional membership provide incomplete protection. Legal and administrative pressure on Central European University forced its relocation from Budapest to Vienna, exemplifying how ostensibly neutral regulatory measures can target particular institutions for political reasons. Restrictions on gender studies programs, changes to academic governance reducing faculty autonomy, and funding policies favoring politically aligned institutions illustrate how academic freedom can be constrained within formally democratic frameworks.

However, the discussion also identifies troubling developments in stable liberal democracies. While not equivalent to authoritarian repression, these trends suggest democratic systems themselves face internal challenges requiring attention. Political polarization in the United States has generated legislative proposals in multiple states seeking to regulate university curricula, restrict tenure, mandate viewpoint diversity, or prohibit discussion of particular topics. While many such proposals fail or face legal challenges, their proliferation indicates erosion of bipartisan commitment to academic freedom. Private universities face different pressures from donors, trustees, and activist campaigns seeking to influence institutional policies and individual personnel decisions.

European democracies confront challenges from populist movements questioning academic expertise, budgetary pressures straining higher education systems, and security concerns following terrorist attacks generating pressure for surveillance and control. The discussion reveals that no system enjoys complete immunity; academic freedom requires constant defense even in favorable contexts, while democratic backsliding can rapidly deteriorate protections that seemed secure.

The comparative findings suggest several conclusions. First, academic freedom correlates strongly with broader political freedom; it flourishes in democratic systems with rule of law and civil liberties while suffering under authoritarian governance. Second, formal democratic institutions provide necessary but insufficient protection; informal norms, institutional cultures, and political commitment matter tremendously. Third, international visibility and networks can provide some protection by raising costs of overt repression, though this protection operates

unevenly and proves insufficient against determined authoritarian states. Fourth, deterioration can occur rapidly, with emergency situations providing pretexts for restrictions that become permanent. Fifth, academic freedom requires vigilant defense; complacency proves dangerous even in apparently secure contexts.

Having identified multiple threats across different dimensions, the discussion turns to strategies for strengthening academic freedom protection. Effective responses require coordinated action at multiple levels—international organizations, national governments, institutions, professional associations, and individual scholars—recognizing that no single intervention suffices.

At the international level, strengthening monitoring and reporting mechanisms can enhance accountability. Organizations such as Scholars at Risk, the Academic Freedom Index project, and professional associations' committees on academic freedom document violations and generate reputational costs for offending institutions and states. Expanding these efforts, improving coordination among monitoring organizations, and ensuring findings inform diplomatic engagement and international development policies can amplify impact. International academic mobility programs can provide refuge for scholars facing persecution while maintaining their scholarly productivity and networks.

National legal frameworks require both strengthening and enforcement. Constitutional protections should explicitly recognize academic freedom as a fundamental right rather than leaving it implied within broader provisions. Legislation should specify clear definitions, establish procedural protections against dismissal, create accessible grievance mechanisms, and provide remedies for violations. However, legal strengthening alone proves insufficient without vigorous enforcement; establishing independent commissions with investigative authority, ensuring judicial willingness to scrutinize institutional decisions, and providing legal aid for scholars challenging violations all enhance practical effectiveness.

Tenure system reform presents complex challenges. While tenure remains academic freedom's most reliable institutional protection, the discussion has documented its erosion through casualization. Reversing this trend requires deliberate policy choices: limiting proportions of contingent appointments, converting existing positions to tenure-track lines, extending employment security and procedural protections to contingent faculty, and creating alternative secure career pathways. However, advocacy for tenure expansion confronts fiscal constraints, institutional resistance, and public skepticism regarding lifetime employment guarantees. Effective advocacy must articulate tenure's purposes beyond individual job security, emphasizing its function in protecting controversial inquiry that serves public interests.

Evaluation system reform addresses metric-based pressures constraining research diversity. The San Francisco Declaration on Research Assessment (DORA) provides principles for responsible use of metrics, emphasizing qualitative assessment, disciplinary variation in publication cultures, and avoiding inappropriate reliance on quantitative indicators (DORA, 2012). Implementing these principles requires institutional commitment to labor-intensive qualitative evaluation, resistance to convenient quantification, and acceptance that assessment may be less standardized and comparable across units. Creating protected spaces for high-risk research, valuing methodological innovation and replication studies, and recognizing diverse forms of scholarly contribution can expand inquiry's scope.

Governance reform strengthening faculty participation in decision-making provides crucial protection against administrative overreach. Ensuring faculty senates possess genuine authority over academic matters, embedding faculty representation in appointment and dismissal decisions, requiring administrative transparency and accountability to faculty governance

bodies, and protecting whistleblowers reporting misconduct all constrain institutional capacity for arbitrary action. However, collegial governance functions effectively only when faculty members actively participate, commit time to governance responsibilities, and resist temptations to delegate authority to administrators promising efficiency.

Digital rights protections address surveillance and online harassment threats. Policies should limit institutional monitoring to what is genuinely necessary for legitimate purposes, require transparency regarding what data is collected and how it is used, provide scholars access to their own data files, and establish clear procedures for challenging inaccurate or misused information. Institutions should develop comprehensive responses to online harassment, including technical support, security measures when threats escalate, and public statements defending scholars' rights to engage controversial topics. Legal frameworks should balance expression protection with harassment prohibition, recognizing that coordinated campaigns can silence speech as effectively as formal censorship.

Addressing the Paradox of Performance requires explicit policy prohibiting discrimination based on scholarly achievement metrics. Evaluation procedures should focus on quality rather than quantitative productivity, recognize field-specific publication norms, and ensure high performers receive appropriate recognition rather than punishment. Creating transparency in promotion and dismissal decisions, establishing external review for contested cases, and ensuring decision-makers possess scholarly credentials comparable to those being evaluated can reduce arbitrary action. However, implementing such policies faces resistance in precisely those dysfunctional contexts where the paradox operates most severely.

International solidarity networks provide crucial support for scholars facing persecution. Academic professional associations should maintain rapid response capabilities, issuing statements, mobilizing letter-writing campaigns, and facilitating temporary positions for displaced scholars. Universities should establish visiting scholar programs with streamlined procedures for emergency cases, provide financial and logistical support, and maintain relationships enabling quick action when situations arise. However, the discussion acknowledges limits to international solidarity; it cannot substitute for local protections and operates most effectively in cases attracting significant attention rather than quotidian violations affecting less visible scholars.

Financial strategies addressing commercialization pressures include diversifying funding sources to reduce dependence on any particular sponsor, establishing conflict-of-interest policies limiting commercial influence, creating internal funding mechanisms for risky or non-commercial research, and advocating for increased public investment in fundamental research. However, such strategies face significant obstacles given widespread fiscal constraints, political resistance to increased public spending, and competitive pressures driving universities toward commercial partnerships.

This investigation's scope, while comprehensive, necessarily encounters limitations suggesting directions for future research. First, the study focuses primarily on universities rather than other research institutions, secondary education, or think tanks, yet academic freedom issues arise across these contexts with significant variations worthy of systematic examination. Second, while addressing multiple geographic regions, the analysis remains limited by language accessibility and available documentation, potentially missing important developments in contexts with limited English-language scholarship. Third, the study emphasizes structural and institutional dimensions more than individual experiential perspectives; ethnographic research

examining how scholars subjectively experience and navigate academic freedom constraints would provide valuable complementary insights.

Fourth, the investigation addresses primarily content-based restrictions—constraints on what scholars research, teach, or express—with less attention to methodological constraints, ethical regulations, and resource limitations that shape inquiry's practical possibilities. While touching on these issues, fuller treatment would illuminate how academic freedom operates not merely through prohibition and permission but through enabling and constraining conditions shaping what questions become practically pursuable. Fifth, the study analyzes academic freedom primarily from scholars' perspectives with less systematic attention to students' academic freedom, which involves related but distinct issues regarding learning autonomy, protection from indoctrination, and capacity for intellectual development.

Future research should examine temporal dimensions more systematically, using longitudinal designs tracking academic freedom's evolution within particular contexts over extended periods. Panel studies following scholars' careers could illuminate how constraints operate cumulatively, how individuals navigate challenges, and what factors distinguish those successfully protecting their freedom from those facing constraint. Comparative institutional research examining variation in academic freedom protection across universities within similar political contexts could identify organizational factors facilitating or undermining freedom independent of broader environmental conditions.

Interdisciplinary research bringing additional theoretical frameworks to bear—from organizational sociology, science and technology studies, philosophy of science, social movement theory—would enrich understanding of how academic freedom operates within complex institutional ecologies. Experimental and quasi-experimental research examining interventions designed to strengthen academic freedom could provide causal evidence regarding policy effectiveness currently lacking. Finally, research should examine emerging challenges not fully addressed here: artificial intelligence's implications for research and pedagogy, climate change's effects on universities in vulnerable regions, and pandemic-related transformations in academic work's organization.

The results further indicate that the practical protection of academic freedom depends substantially on the relationship between formal institutional rules and their implementation. Policies that recognize academic freedom have limited effectiveness when decision-making processes remain opaque, inconsistent, or vulnerable to discretionary intervention. A significant distinction therefore exists between de jure academic freedom, represented by formal legal and institutional protections, and de facto academic freedom, represented by the actual capacity of scholars to exercise those protections without disproportionate professional or personal consequences. This distinction should become central to future assessments of higher education governance.

The analysis suggests that institutional credibility is strongly influenced by consistency between declared academic values and organizational behavior. Universities frequently articulate commitments to intellectual diversity, research excellence, inclusivity, transparency, and academic autonomy. However, if these principles are selectively applied, institutional trust can deteriorate. For example, a university may formally protect freedom of expression while applying disciplinary procedures inconsistently, or promote research independence while allowing funding priorities to determine academic appointments. Such discrepancies create uncertainty regarding the actual boundaries of protected academic activity.

An important finding concerns the role of procedural predictability. Academic freedom is strengthened when scholars understand how decisions concerning promotion, research approval, disciplinary procedures, resource allocation, and employment are made. Clearly defined procedures reduce opportunities for arbitrary intervention and allow individuals to challenge decisions through established mechanisms. Conversely, ambiguous procedures create conditions in which institutional authority can be exercised unpredictably. Predictability should therefore be regarded as an important component of academic autonomy.

The findings also reveal that procedural fairness is inseparable from scholarly independence. Even when an institutional decision is substantively legitimate, the absence of fair procedures can undermine confidence in the outcome. Academic disciplinary proceedings, research-integrity investigations, promotion reviews, and employment decisions should therefore involve clearly defined standards, appropriate evidence, opportunities for response, and independent review where necessary. Due process protects both academics and institutions by reducing the risk that legitimate disagreements will be transformed into allegations of misconduct.

Another significant observation concerns the distinction between disagreement and institutional disloyalty. Universities are intellectual communities in which disagreement should be expected. Faculty members may criticize institutional policies, question administrative decisions, challenge departmental practices, or advocate alternative academic strategies. Such activity should not automatically be interpreted as opposition to the institution itself. The capacity of universities to tolerate internal criticism is an important indicator of organizational maturity.

Institutional resilience is also associated with the ability to distinguish criticism from misconduct. Genuine misconduct, including research fabrication, falsification, plagiarism, harassment, corruption, and serious ethical violations, requires appropriate action. However, criticism of institutional leadership, disagreement with scholarly interpretations, or participation in controversial research should be assessed according to academic rather than political criteria. Failure to maintain this distinction creates a risk that disciplinary systems will become mechanisms for controlling intellectual behavior.

The findings additionally indicate that academic freedom has a temporal dimension. Restrictions introduced during periods of political crisis, financial instability, public controversy, or institutional restructuring may initially be justified as temporary measures but can become normalized over time. Emergency governance mechanisms therefore require sunset provisions, periodic review, and transparent justification. Temporary exceptional powers should not automatically become permanent features of university administration.

Crisis conditions may also increase the vulnerability of academic institutions to external influence. During political emergencies, public health crises, armed conflicts, economic instability, or major technological disruptions, governments and university administrations may seek greater control over information and communication. Some restrictions may be justified by legitimate public interests, but the findings suggest that exceptional circumstances should not eliminate the principles of proportionality, evidence, transparency, and independent review.

The analysis further highlights the importance of academic freedom during periods of scientific uncertainty. Scientific knowledge is frequently incomplete, especially during emerging crises. Researchers may disagree about mechanisms, risks, interventions, or policy implications. Suppressing disagreement in the name of maintaining a unified public message can undermine

scientific development. A healthier approach is to communicate uncertainty transparently while maintaining rigorous standards for evidence.

This issue is particularly relevant to public health and biomedical research. Scientific findings may have immediate consequences for clinical practice and public policy, creating strong incentives for rapid communication. Nevertheless, the speed of decision-making should not eliminate opportunities for independent verification and critical evaluation. Academic freedom allows researchers to question preliminary interpretations and identify limitations, thereby improving the reliability of scientific recommendations.

The findings also demonstrate the importance of negative and null results. Research environments that reward only positive or statistically significant findings may unintentionally encourage selective reporting. Academic freedom should therefore encompass the freedom to publish scientifically valid results regardless of whether they confirm expectations. Recognition of negative findings, replication studies, methodological critiques, and unsuccessful hypotheses can strengthen cumulative scientific knowledge.

Publication independence is consequently a critical component of research independence. Investigators should have reasonable control over dissemination of legitimate findings, subject to ethical, legal, and confidentiality requirements. Institutional or sponsor restrictions that systematically prevent publication of unfavorable results can distort the scientific record. Transparent publication policies are therefore essential in externally funded research.

The role of peer review also deserves careful consideration. Peer review is designed to improve research quality, but it can become conservative when reviewers favor established paradigms or dominant methodological approaches. Innovative research may therefore encounter greater barriers to publication. The findings support peer-review systems that maintain rigorous methodological standards while remaining open to unconventional hypotheses and emerging interdisciplinary approaches.

Open science creates additional opportunities for academic freedom. Open-access publication, data repositories, pre-registration, transparent methodology, and reproducible research can increase accountability and reduce dependence on institutional gatekeepers. However, open science must be implemented with appropriate consideration of privacy, intellectual property, research security, and ethical restrictions. Transparency should strengthen scientific independence without creating unreasonable risks for researchers or participants.

The analysis further indicates that academic freedom is linked to information accessibility. Researchers require access to scientific literature, datasets, laboratory resources, archives, and other scholarly materials. Restrictions on information access can indirectly constrain research even when freedom of expression remains formally protected. Digital paywalls, institutional access inequalities, proprietary databases, and politically restricted information environments can all influence the capacity of scholars to conduct independent research.

Resource inequality therefore represents another dimension of academic autonomy. Researchers in well-funded institutions may have greater capacity to investigate controversial or technically demanding subjects than researchers working in resource-constrained environments. Academic freedom should consequently be considered alongside research capacity. A formal right to conduct research is of limited practical value when necessary infrastructure, funding, data, or laboratory facilities are unavailable.

Global inequalities in research capacity can also influence whose knowledge becomes internationally visible. Scientific publishing, conference participation, and international collaboration often depend on financial resources. Researchers from lower-resource

institutions may encounter structural barriers that limit participation in global knowledge networks. Strengthening academic freedom therefore requires attention not only to political restrictions but also to inequalities in access to scientific infrastructure.

Another finding concerns language and knowledge dissemination. International academic communication is heavily concentrated in a limited number of dominant scientific languages. This can influence which research traditions and perspectives receive global recognition. Promoting multilingual scholarship and supporting regional scientific communication can contribute to greater intellectual diversity and reduce structural barriers to knowledge production.

The analysis also identifies academic mobility as an important mechanism of resilience. International fellowships, visiting positions, research exchanges, and collaborative appointments can provide scholars with alternative professional networks and opportunities for continued research. However, mobility programs should be designed to complement rather than replace the development of stable institutional environments. Sustainable academic freedom ultimately requires institutions capable of protecting scholars within their own professional settings.

The role of students in academic governance should also be considered. Student participation in university decision-making can provide valuable perspectives concerning teaching, learning environments, and institutional policy. Nevertheless, academic governance should maintain appropriate distinctions between student representation and disciplinary expertise. Effective governance integrates diverse stakeholder perspectives while preserving academic standards.

The findings indicate that academic freedom and institutional autonomy should not be interpreted as absolute independence from society. Universities have responsibilities toward students, research participants, taxpayers, professional communities, and the broader public. They must comply with legitimate laws and ethical standards. The critical principle is that external accountability should regulate processes and responsibilities without improperly dictating scholarly conclusions.

This distinction can be conceptualized as accountability without intellectual subordination. Universities should be transparent regarding finances, research ethics, institutional performance, and professional conduct. At the same time, academic conclusions should remain determined through appropriate scholarly methods. This balance is essential for maintaining both public confidence and intellectual independence.

Another significant finding is that institutional autonomy requires leadership structures capable of resisting inappropriate external pressure. University governing bodies, boards, senates, and executive leadership should have clearly defined responsibilities and checks on authority. Concentration of decision-making power in a small number of individuals increases the risk of arbitrary intervention. Distributed governance and independent oversight can therefore enhance institutional resilience.

The findings further support the importance of conflict-of-interest management. Academic leaders may simultaneously have political, commercial, professional, or personal relationships that affect decision-making. Transparent declarations, recusal procedures, independent review, and documented decision-making can reduce the possibility that conflicts will compromise academic autonomy.

Academic freedom is also influenced by the culture of recognition and reward. Universities that reward intellectual courage, methodological rigor, interdisciplinary collaboration, replication, and socially important research can create incentives for independent scholarship.

Institutions that reward only conformity, citation volume, grant acquisition, or administrative loyalty may unintentionally narrow academic behavior.

The analysis therefore supports a broader definition of academic excellence. Excellence should encompass originality, rigor, integrity, contribution to knowledge, educational impact, reproducibility, interdisciplinary relevance, and responsible societal engagement. Such an approach can reduce the risk that narrow performance indicators become indirect instruments of intellectual control.

The relationship between academic freedom and innovation is particularly significant. Scientific breakthroughs frequently emerge from research that initially challenges established assumptions. Institutional environments that discourage unconventional ideas may therefore sacrifice long-term innovation for short-term predictability. Universities should maintain mechanisms that allow exploratory research, high-risk projects, and emerging disciplines to develop.

Research laboratories and departments also have internal power structures that may affect academic freedom. Senior investigators can exert considerable influence over junior researchers, funding opportunities, authorship, and access to resources. Institutional policies should therefore address power asymmetries within research groups. Mentorship, confidential reporting mechanisms, authorship standards, and independent oversight can reduce vulnerability to internal coercion.

The findings also highlight the importance of authorship independence. Researchers should receive appropriate credit for their contributions, and authorship should not be determined solely by hierarchical status. Unethical authorship practices can undermine professional autonomy and create dependencies that discourage junior researchers from challenging senior figures. Transparent authorship policies are therefore relevant to both research integrity and academic freedom.

Another dimension involves conference participation and scholarly exchange. Academic conferences provide opportunities to present preliminary findings, debate interpretations, and establish collaborations. Restrictions on conference participation, selective invitations, or cancellation of events for reasons unrelated to legitimate safety or professional standards can reduce scholarly exchange. Universities and professional organizations should maintain transparent criteria for academic events.

The findings further indicate that freedom of association is relevant to academic communities. Researchers need the ability to participate in professional societies, disciplinary organizations, scholarly networks, and collaborative projects. Excessive institutional control over legitimate professional associations can weaken collective academic representation and reduce opportunities for independent intellectual exchange.

The role of libraries should also be emphasized. Academic libraries are critical infrastructures for knowledge access and preservation. Restrictions on acquisitions, archival access, digital resources, or collection development can influence the range of scholarship available to students and researchers. Library autonomy and professional standards should therefore form part of broader academic freedom frameworks.

The analysis demonstrates that academic freedom also has a historical dimension. Universities have traditionally served as institutions where established ideas can be examined critically. Their contribution to scientific development has frequently depended on scholars challenging accepted doctrines and introducing new conceptual frameworks. Contemporary academic

governance should therefore preserve the historical capacity of universities to question dominant assumptions.

At the same time, historical traditions cannot justify discriminatory or unethical practices. Modern academic freedom must coexist with equal treatment, professional ethics, research protections, and respect for human dignity. The appropriate goal is not unrestricted institutional behavior but responsible intellectual autonomy.

The findings further indicate that institutional policies should distinguish between content-neutral governance and viewpoint-based intervention. Universities may legitimately regulate practical matters such as scheduling, laboratory safety, research ethics, examination procedures, and professional conduct. However, policies should not be selectively applied to suppress particular scholarly perspectives. Consistency and neutrality are therefore important safeguards.

Another important implication concerns the design of academic freedom policies themselves. Policies should clearly define protected activities, legitimate restrictions, decision-making authority, appeal mechanisms, and protections against retaliation. Ambiguous language can create uncertainty and facilitate inconsistent interpretation. Clear policies benefit both scholars and administrators by establishing predictable standards.

Training is also essential. Faculty, administrators, research managers, and students should understand the principles and boundaries of academic freedom. Institutional training can help distinguish protected scholarly disagreement from misconduct and can provide administrators with appropriate approaches to managing controversial issues without unnecessary restriction.

The findings suggest that academic freedom monitoring should be continuous. Institutions can use anonymous surveys, qualitative interviews, governance assessments, grievance statistics, research-funding analyses, employment data, and policy audits to identify emerging risks. Importantly, monitoring should protect confidentiality and should not itself become a surveillance mechanism.

The long-term consequences of academic freedom erosion may be difficult to reverse. Once self-censorship becomes culturally normalized, scholars may adapt their research behavior and younger generations may enter academia with reduced expectations of intellectual independence. Institutional memory of previous restrictions can continue influencing behavior even after formal policies change. Early intervention is therefore preferable to attempting to restore academic freedom after prolonged erosion.

The overall discussion supports the proposition that academic freedom is a dynamic institutional capacity. It depends on the continuing ability of a university to protect independent inquiry against inappropriate internal and external pressures while maintaining legitimate standards of accountability. This capacity can strengthen or weaken over time depending on leadership, governance, resources, political conditions, and organizational culture.

The results therefore reinforce the necessity of distinguishing academic freedom, institutional autonomy, and organizational independence while recognizing their interdependence. Academic freedom primarily concerns the intellectual rights and responsibilities of scholars and students; institutional autonomy concerns the capacity of universities to govern academic affairs independently; and organizational independence concerns protection from inappropriate external control. Effective higher education systems require all three.

The cumulative evidence supports a model in which universities operate as autonomous but accountable knowledge institutions. They should remain connected to society while retaining sufficient independence to question social, political, economic, and scientific assumptions.

They should accept legitimate regulation while resisting inappropriate control. They should protect intellectual diversity while maintaining rigorous standards of evidence and professional ethics.

Ultimately, the findings demonstrate that the future of academic freedom depends on institutional choices made every day. Whether a scholar feels able to challenge a prevailing assumption, whether a researcher can publish an unfavorable result, whether a faculty member can criticize administrative policy, whether a student can question established interpretations, and whether a university can resist inappropriate external influence are practical indicators of academic freedom.

Academic freedom is therefore best evaluated not by institutional declarations alone but by the lived scholarly environment. A genuinely autonomous university is one in which evidence can challenge authority, criticism can coexist with institutional loyalty, disagreement can occur without retaliation, research can proceed independently, and academic governance remains transparent and accountable. Protecting these conditions is essential for maintaining scholarly integrity, advancing scientific knowledge, strengthening higher education, and ensuring that universities remain credible institutions of intellectual inquiry.

CONCLUSIONS

- Academic freedom represents a fundamental pillar of higher education, scientific advancement, intellectual autonomy, and democratic knowledge production. The present scientific discourse demonstrates that academic freedom under siege is not restricted to explicit censorship or direct political repression; rather, it may emerge through interconnected mechanisms including organizational intrusions, political interference, administrative overreach, institutional dependency, precarious employment, funding pressures, discriminatory practices, opaque governance, excessive managerialism, and self-censorship. These mechanisms can progressively weaken the capacity of universities and researchers to pursue independent inquiry.
- The analysis establishes that academic freedom is multidimensional and encompasses freedom of teaching, research, publication, intellectual expression, scholarly association, and participation in academic governance. These dimensions are inseparable from institutional autonomy and research independence. Universities require sufficient autonomy to establish academic priorities, protect scholarly decision-making, and maintain transparent governance without inappropriate external intervention.
- A major conclusion is that formal recognition of academic freedom is insufficient without effective institutional implementation. Universities must establish transparent procedures, independent grievance mechanisms, fair employment practices, due process, protection against retaliation, and meaningful faculty participation. Institutional leaders should distinguish legitimate accountability from inappropriate control of scholarly judgment.
- The findings further demonstrate that research independence is essential to scientific integrity. Researchers must be able to formulate questions, select methodologies, interpret evidence, communicate findings, and report unfavorable results without political or commercial manipulation. Diverse funding structures, conflict-of-interest safeguards, independent peer review, and publication protections are therefore necessary components of responsible research governance.
- Academic freedom is also fundamentally connected with democratic resilience. Universities provide environments for critical thinking, evidence evaluation, intellectual

diversity, and reasoned disagreement. Protecting academic freedom consequently benefits not only scholars and students but society as a whole.

- The safeguarding academic freedom requires a sustained commitment from universities, governments, policymakers, academic communities, professional organizations, researchers, and students. The future of higher education depends upon institutions capable of balancing accountability with autonomy, regulation with intellectual independence, and organizational efficiency with scholarly integrity. Academic freedom must therefore be regarded not merely as an academic privilege, but as essential infrastructure for scientific progress, educational excellence, democratic values, and the sustainable production of knowledge.

RECOMMENDATIONS

- The preservation and strengthening of academic freedom requires a comprehensive, multidimensional, and institutionally coordinated strategy addressing political, organizational, legal, financial, technological, and scholarly dimensions. Based on the findings of this scientific discourse, several recommendations can be proposed for universities, academic communities, policymakers, research organizations, professional associations, and other stakeholders.
- Universities should establish comprehensive academic freedom policies that explicitly protect freedom of teaching, research, publication, intellectual expression, academic association, and participation in scholarly governance. Such policies should clearly distinguish legitimate academic activity from professional misconduct and should define transparent procedures for addressing alleged violations.
- Institutional autonomy should be strengthened through governance systems that clearly separate legitimate administrative responsibilities from substantive academic decision-making. Faculty participation in curriculum development, research strategy, academic appointments, promotion procedures, and institutional policy should be meaningfully incorporated into governance structures.
- Universities should establish independent and confidential mechanisms for reporting academic freedom violations. Faculty members, researchers, and students should have access to impartial procedures for reporting censorship, retaliation, discriminatory treatment, inappropriate political interference, or organizational intrusion. Protection against retaliation should be explicitly guaranteed.
- Research independence must be protected through transparent funding and publication policies. Contracts with governmental, commercial, philanthropic, or external sponsors should preserve researchers' ability to analyze and publish scientifically justified findings, including unfavorable results. Conflicts of interest and funding relationships should be publicly disclosed where appropriate.
- Academic evaluation and promotion systems should be transparent, multidimensional, and evidence-based. Universities should avoid excessive dependence on publication counts, citation metrics, rankings, or grant income. Evaluation should recognize methodological rigor, originality, teaching excellence, interdisciplinary research, replication, scientific integrity, and meaningful contributions to knowledge.
- Faculty employment protections should be strengthened, particularly for early-career researchers, temporary academics, doctoral candidates, and other professionally vulnerable

groups. Appointment, promotion, disciplinary, and dismissal procedures should be based on clearly defined criteria, due process, and independent academic review.

- Seventh, policymakers should protect academic freedom through appropriate legal and regulatory frameworks while ensuring that legitimate accountability does not become political control. Government funding and regulation should support higher education without determining scholarly conclusions or imposing ideological conformity.
- Universities should invest in academic freedom education and leadership training. Administrators, faculty, researchers, and students should understand the principles, responsibilities, limitations, and institutional mechanisms associated with academic freedom, intellectual diversity, research integrity, and scholarly disagreement.
- Academic freedom should be continuously monitored and evaluated through institutional surveys, governance assessments, policy reviews, and independent oversight. Universities should treat academic freedom as a dynamic institutional responsibility rather than a static policy objective. Protecting intellectual autonomy, scholarly integrity, research independence, faculty rights, and institutional autonomy will be essential for maintaining universities as credible centers of scientific innovation, critical inquiry, democratic reasoning, and sustainable knowledge production.

REFERENCES

- Ceci SJ, Williams WM (2018) Who decides what is acceptable speech on campus? Why restricting free speech is not the answer. Perspectives on Psychological Science 13(3):299-323.
- Charmaz K (2014) Constructing Grounded Theory, 2nd edn. SAGE Publications, London.
- Denzin NK, Lincoln YS (2011) The SAGE Handbook of Qualitative Research, 4th edn. SAGE Publications, Thousand Oaks.
- Duarte JL, Crawford JT, Stern C, Haidt J, Jussim L, Tetlock PE (2015) Political diversity will improve social psychological science. Behavioral and Brain Sciences 38:e130.
- Fricker M (2007) Epistemic Injustice: Power and the Ethics of Knowing. Oxford University Press, Oxford
- Ginsberg B (2011) The Fall of the Faculty: The Rise of the All-Administrative University and Why It Matters. Oxford University Press, New York.
- Gross N, Simmons S (2014) The social and political views of American professors. In: Professors and Their Politics, pp 19-49. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Heterodox Academy (2019) Campus Expression Survey. Heterodox Academy, New York.
- Heterodox Academy (2020) The State of Viewpoint Diversity on Campus. Heterodox Academy, New York.
- Hofstadter R, Metzger WP (1955) The Development of Academic Freedom in the United States. Columbia University Press, New York.
- Humboldt W von (1810) On the Internal and External Organization of the Higher Scientific Institutions in Berlin. In: Occasional Thoughts on Universities. Center for Curriculum Redesign, Boston.
- Hutchinson T, Duncan N (2012) Defining and describing what we do: Doctrinal legal research. Deakin Law Review 17(1):83-119.
- Ignatieff M (2018) Academic ethics in an age of academic anxiety. In: Bilgrami A, Cole J (eds) Who's Afraid of Academic Freedom? Columbia University Press, New York, pp 67-81.
- Kant I (1784) An Answer to the Question: What is Enlightenment? Berlinische Monatsschrift, December 1784.
- Kaplan BJ (2006) Divided by Faith: Religious Conflict and the Practice of Toleration in Early Modern Europe. Harvard University Press, Cambridge MA.
- Karran T (2007) Academic freedom in Europe: A preliminary comparative analysis. Higher Education Policy 20(3):289-313.

- Karran T, Mallinson L (2017) Academic freedom in the UK: Legal and normative protection in a comparative context. European Journal of Higher Education 7(3):254-269.
- Kezar A (2013) Examining non-tenure track faculty perceptions of how departmental policies and practices shape their performance and ability to create student learning at four-year institutions. Research in Higher Education 54(5):571-598.
- Lincoln YS, Guba EG (1985) Naturalistic Inquiry. SAGE Publications, Beverly Hills.
- Lyon D (2018) The Culture of Surveillance: Watching as a Way of Life. Polity Press, Cambridge.
- Marginson S, Rhoades G (2002) Beyond national states, markets, and systems of higher education: A glonacal agency heuristic. Higher Education 43(3):281-309.
- Metzger WP (1961) Academic freedom in the age of the university. Columbia University Press, New York.
- Metzger WP (1988) Profession and constitution: Two definitions of academic freedom in America. Texas Law Review 66(7):1265-1322.
- NCEQE (2023) Higher Education Quality Assurance Report. National Center for Educational Quality Enhancement, Tbilisi.
- Paulsen F (1906) The German Universities and University Study. Charles Scribner's Sons, New York.
- Polyakova A, Meserole C (2019) Exporting digital authoritarianism: The Russian and Chinese models. Democracy and Disorder Series, Brookings Institution, Washington DC.
- Post R (2012) Democracy, Expertise, and Academic Freedom: A First Amendment Jurisprudence for the Modern State. Yale University Press, New Haven.
- Przeworski A, Teune H (1970) The Logic of Comparative Social Inquiry. Wiley-Interscience, New York.
- Rashdall H (1895) The Universities of Europe in the Middle Ages. Clarendon Press, Oxford.
- Rüegg W (ed) (2004) A History of the University in Europe, Vol. 3. Cambridge University Press, Cambridge.
- Scholars at Risk Network (2020) Free to Think 2020: Report of the Scholars at Risk Academic Freedom Monitoring Project. Scholars at Risk Network, New York.
- Schrecker EW (1986) No Ivory Tower: McCarthyism and the Universities. Oxford University Press, New York
- Shields JA, Dunn JM (2016) Passing on the Right: Conservative Professors in the Progressive University. Oxford University Press, New York.
- Slaughter S, Leslie LL (1997) Academic Capitalism: Politics, Policies, and the Entrepreneurial University. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Slaughter S, Rhoades G (2004) Academic Capitalism and the New Economy: Markets, State, and Higher Education. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Stake RE (1995) The Art of Case Study Research. SAGE Publications, Thousand Oaks.
- Suber P (2012) Open Access. MIT Press, Cambridge MA.
- Tight M (1988) So what is academic freedom? In: Tight M (ed) Academic Freedom and Responsibility. Open University Press, Milton Keynes, pp 114-132.
- Sulashvili N. The Features of Professional Career Improvement Strategy and Job Satisfaction among Pharmacists. Business Engineering Journal. 2014;2:195-199.
- Sulashvili N, Beglaryan M. Pharmacist work satisfaction and career enhancement strategy. Georgian Chemical Journal. 2015;15(2):151-157.
- Sulashvili N, Kvizhinadze N, Maisuradze I. Pharmacist professional features in Georgia. Georgian National Academy of Sciences journal. 2015;81-82.
- Kvizhinadze N, Sulashvili N, Maisuradze I, Kiknavelidze N. Pharmaceutical care aspects in Georgia. Georgian National Academy of Sciences journal. 2015;85-86.
- Sulashvili N, Beglaryan M. Pharmacist's Mission gratification and profession improvement strategy. BLACK SEA SCIENTIFIC JOURNAL OF ACADEMIC RESEARCH. 2015;26(08):10-12.

- Sulashvili N, Beglaryan M. Pharmacist's professional features and work gratification. BLACK SEA SCIENTIFIC JOURNAL OF ACADEMIC RESEARCH. 2016;29(03):62-68.
- Sulashvili N, Beglaryan M. Pharmacists' professional features, viewed by the customer's (customer's) eyes in Georgia. Experimental and Clinical Medicine. 2017;4:22-25.
- Sulashvili N. Peculiarities of professional for pharmacists, viewed by the health-care specialists in Georgia. Experimental and Clinical Medicine. 2017;4:47-51.
- Sulashvili N, Beglaryan M. Professional features for employed pharmacy faculty students' in Georgia. The New Armenian Medical Journal. 2017;11(3):40.
- Sulashvili N, Beglaryan M, Grigolia L. Vocational characteristics of employed pharmacy faculty students. Caucasus International University Herald. 2017;12:89-102.
- Sulashvili N, Beglaryan M. Characteristics of occupational for employed pharmacy faculty students'. Modern issues of medicine and management. 2017;4(12):39-54.
- Sulashvili N, Beglaryan M. PHARMACIST'S PROFESSIONAL FEATURE SAND WORK GRATIFICATION. SSRN. 2017:1-11.
- Sulashvili N, Beglaryan M. Vocational peculiarities of young pharmacist professionals. International Scientific Journal Intellectual. 2018;35:96-104.
- Sulashvili N, Beglaryan M. Vocational features and facilities of young pharmacist specialists. Experimental and Clinical Medicine. 2018;1:62-68.
- Sulashvili N, Beglaryan M, Matoshvili M. Occupational features of pharmaceutical workers, viewed by the chief pharmacists. Caucasus Journal of Health Sciences and Public Health. 2018;2(2):56-61.
- Sulashvili N, Beglaryan M, Matoshvili M. Vocational specifications for junior pharmacists. Caucasus Journal of Health Sciences and Public Health. 2018;2(2):62-73.
- Sulashvili N, Beglaryan M, Gogashvili M, Matoshvili M. Occupational particularities and strategy of Pharmacy faculty students. Experimental and Clinical Medicine. 2018;3:15-25.
- Sulashvili N, Beglaryan M, Sulashvili M. Personal features, capabilities and skills of job adaptation for pharmacist specialists. Tbilisi David Agmashenebeli University Scientific International Journal. 2018;13:264-270.
- Sulashvili N, Beglaryan M. Pharmacists' job specific professional issues and framework activities. Business --Engineering Journal. 2018;3-4:251-255.
- Sulashvili N, Beglaryan M. Pharmaceutical care aspects feature in drug-stores viewed by patients. Modern issues of medicine and management. 2018;3(15):5-15.
- Sulashvili N, Beglaryan M, Shashiashvili G. Medical professionals' job satisfaction and pharmaceutical organization issues viewed by drug dispensers in Georgia. European Scientific Journal (ESJ). 2018;15(26):42-55.
- Sulashvili N, Beglaryan M. Drugs dispensers' professional choice and influencing factors on pharmaceutical activities in Georgia. Experimental and Clinical Medicine. 2018;6:17-21.
- Sulashvili N, Beglaryan M. Pharmacy features viewed by the patients. Caucasus International University Herald. 2019;14:120-127.
- Sulashvili N, Beglaryan M. Some specification in career and work contents of pharmacists. Caucasus Journal of Health Sciences and Public Health. 2019;3(Suppl 4):6-9.
- Sulashvili N, Beglaryan M. The impact factors, which have influenced of pharmacists' job gratification and vocational activity. In: International scientific and methodological conference "Chemistry-Achievements and Prospects" Dedicated to the 85th Anniversary of Academician Givi Vasilyevich Tsintsadze; Scientific Works. Tbilisi; 2019. p. 171-179.
- Sulashvili N, Beglaryan M. Pharmacists' vocational activities and work features. In: 5-th INTERNATIONAL MEDICAL CONGRESS OF ARMENIA. ABSTRACT BOOK. Yerevan; 2019. p. 220.
- Sulashvili N. PECULIARITIES OF PROFESSIONAL AND CAREER IMPROVEMENT STRATEGY FOR PHARMACISTS. YEREVAN; 2019.

- Sulashvili N, Abuladze N, Kvizhinadze N, Beglaryan M. Pharmacist professionals' labor gratification and pharmaceutic institution challenges viewed by the pharmacist in Georgia. In: Materials of 12th Scientific and Practical Internet Conferences. Kharkiv; 2020. p. 31-39.
- Sulashvili N, Kvizhinadze N, Jojua K, Gerzmava O, Beglaryan M. Pharmaceutical specific vocational activities and professional scope features of Georgian pharmacists. In: Collection of scientific articles of the scientific and practical publications. Abstracts of VI International Scientific and Practical Conference "MODERN SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS". Stockholm; 2020. p. 105-118.
- Sulashvili M, Beglaryan M, Sulashvili N, Kvizhinadze N, Kiknavelidze N. JOB SATISFACTION PROPOSALS AND CHALLENGES OF GEORGIAN PHARMACISTS. In: Abstracts of II International Scientific and Practical Conference" THE WORLD OF SCIENCE AND INNOVATION". London; 2020. p. 175-190.
- Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Chichoyan N, et al. MODERN FEATURES AND CHALLENGES OF THE PHARMACIST PROFESSION, VIEWED BY THE PATIENTS AND PUBLIC HEALTH SPECIALISTS VIA PHARMACEUTICAL CARE DIRECTION IN PUBLIC HEALTH SETTINGS. BULLETIN OF THE MEDICAL INSTITUTE AFTER MEHRABYAN. 2020;9:105-120.
- Sulashvili N, Beglaryan M. Pharmacist Occupational Features, Regulations Framework and Profession Enhancement Challenges of Pharmaceutics. Caucasus Journal of Health Sciences and Public Health. 2020;4(Suppl 8):31-36.
- Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Kocharyan S, Zarnadze I, Chichoyan N, et al. THE SCIENTIFIC STUDY OF THE PECULIARITIES OF PHARMACIST' PROFESSION STATE PROBLEMS AND PERSPECTIVES IN THE CONTEXT OF PHARMACEUTICAL CARE. In: MATERIALS OF THE VII INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICAL CONFERENCE, "SOCIAL PHARMACY: STATE, PROBLEMS AND PROSPECTS". Kharkiv; 2021. p. 35-65.
- Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Kocharyan S, Chichoyan N, et al. THE SCIENTIFIC DEBATES OF PECULIARITIES OF PROBLEMS, PERSPECTIVES AND ROLE OF THE CLINICAL PHARMACISTS WORLDWIDE IN GENERAL IN THE XXI CENTURE. In: MATERIALS OF THE VII INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICAL CONFERENCE, "SOCIAL PHARMACY: STATE, PROBLEMS AND PROSPECTS". Kharkiv; 2021. p. 284-317.
- Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Chichoyan N, et al. THE SCIENTIFIC DISCUSSION OF THE PHARMACISTS' STATE PROBLEMS AND PERSPECTIVES OF REGULAR JUDGING BY THE POSITION OF PATIENTS IN GEORGIA. In: MATERIALS OF THE VII INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICAL CONFERENCE, "SOCIAL PHARMACY: STATE, PROBLEMS AND PROSPECTS". Kharkiv; 2021. p. 81-106.
- Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N. THE SCIENTIFIC TALK OF PHARMACEUTICAL STATE EDUCATIONAL PROBLEMS AND PERSPECTIVES AND OCCUPATIONAL REGULATION ISSUES OF THE YOUTHFUL PHARMACISTS IN GEORGIA. In: MATERIALS OF THE VII INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICAL CONFERENCE, "SOCIAL PHARMACY: STATE, PROBLEMS AND PROSPECTS". Kharkiv; 2021. p. 161-184.
- Sulashvili N, Gorgaslidze N, Beglaryan M, et al. THE SCIENTIFIC ACHIEVEMENTS OF THE PROBLEMS AND PERSPECTIVES OF CORONAVIRUS VACCINE ENHANCEMENT FOR PREVENTION AND PROPHYLAXIS OF THE COVID-19 DISEASES. In: MATERIALS OF THE VII INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICAL CONFERENCE, "SOCIAL PHARMACY: STATE, PROBLEMS AND PROSPECTS". Kharkiv; 2021. p. 117-149.
- Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N. THE SCIENTIFIC RESEARCH AND DEVELOPMENT ON PECULIARITIES OF PHARMACEUTICAL ADMINISTRATIVE MANAGEMENT ISSUE CHALLENGES VISIBLE BY HEALTH CARE EXPERTS IN GEORGIA. In: PROCEEDINGS OF X SCIENTIFIC-PRACTICAL CONFERENCE-«PROFESSIONAL MANAGEMENT IN MODERN CONDITIONS OF DEVELOPMENT OF MARKET». Kharkiv; 2021. p. 264-270.

- Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, et al. THE SCIENTIFIC TALKS OF FEATURES OF CURRENT STATE, ITEMS, PROSPECTS AND DEVELOPMENT PHARMACISTS' PROFESSION AND PHARMACEUTICAL EDUCATIONAL CHALLENGES IN GEORGIA. In: Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference- "FUNDAMENTAL AND APPLIED RESEARCH IN THE FIELD OF PHARMACEUTICAL TECHNOLOGY". Kharkiv; 2022. p. 81-98.
- Tight M (2019) The neoliberal turn in higher education. Higher Education Quarterly 73(3):273-284.
- Tight M, Huisman J (2013) Research and theory in higher education. In: Tight M, Huisman J (eds) Theory and Method in Higher Education Research, pp 1-20. Emerald Group Publishing, Bingley.
- Tosh J (2015) The Pursuit of History: Aims, Methods and New Directions in the Study of History, 6th edn. Routledge, London.
- UNESCO (1997) Recommendation Concerning the Status of Higher-Education Teaching Personnel. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris.
- Veletsianos G (2016) Digital learning environments. In: Spector JM, Lockee BB, Childress MD (eds) The Wiley Handbook of Learning Technology, pp 242-260. Wiley-Blackwell, Chichester.
- Verger J (1992) Patterns. In: de Ridder-Symoens H (ed) A History of the University in Europe, Vol. 1: Universities in the Middle Ages, pp 35-68. Cambridge University Press, Cambridge.
- Veysey LR (1965) The Emergence of the American University. University of Chicago Press, Chicago.
- Yanow D, Schwartz-Shea P (eds) (2014) Interpretation and Method: Empirical Research Methods and the Interpretive Turn, 2nd edn. M.E. Sharpe, Armonk.
- Yin RK (2018) Case Study Research and Applications: Design and Methods, 6th edn. SAGE Publications, Thousand Oaks.
- Zuboff S (2019) The Age of Surveillance Capitalism: The Fight for a Human Future at the New Frontier of Power. PublicAffairs, New York.
- AAUP (1940) 1940 Statement of Principles on Academic Freedom and Tenure. American Association of University Professors, Washington DC.
- AAUP (1915) 1915 Declaration of Principles on Academic Freedom and Academic Tenure. American Association of University Professors, Washington DC.
- Altbach PG (2001) Academic freedom: International realities and challenges. Higher Education 41(1-2):205-219
- Altbach PG (2003) The costs and benefits of world-class universities. Academe 89(1):20-23.
- Anderson E (2006) The epistemology of democracy. Episteme 3(1-2):8-22.
- Ashby E (1966) Universities: British, Indian, African. Harvard University Press, Cambridge MA.
- Barendt E (2010) Academic Freedom and the Law: A Comparative Study. Hart Publishing, Oxford.
- Bok D (2003) Universities in the Marketplace: The Commercialization of Higher Education. Princeton University Press, Princeton.
- Bowen GA (2009) Document analysis as a qualitative research method. Qualitative Research Journal 9(2):27-40
- Braun V, Clarke V (2006) Using thematic analysis in psychology. Qualitative Research in Psychology 3(2):77-101
- Burrows R (2012) Living with the h-index? Metric assemblages in the contemporary academy. The Sociological Review 60(2):355-372.

THE ARCHİTECTURE OF THOUGHT İN ELT

Ulviyya Asgarova
Title / Institution: Azerbaijan University of Languages
Field of Study: English Language Teaching (ELT)
E-mail: ulviyyasker@gmail.com
ORCID: 0009-0007-5490-2850
Keywords: Conceptualization, Isēgoriā, Cognitive Structuring, Intellectual Tolerance, Critical Distance, Student Autonomy, ELT Pedagogy

Abstract

This paper argues that the university English classroom should be treated less like a training ground for correct grammar and more like a laboratory where thought itself gets built. Drawing on Vygotsky's account of inner and outer speech, I suggest that the struggle to say something in a second language is not a sign of failure but the very process by which a vague idea becomes a clear one. The logical and syntactic constraints of English — its word order, its causal markers, its demand for precision — do not simply carry a pre-formed thought; they force the speaker to decide what that thought actually is.

I also introduce what I call "Critical Distance": because English carries fewer of the emotional and cultural reflexes tied to a student's mother tongue, speaking in English can act as a buffer that makes it easier to examine one's own arguments with some honesty. Drawing on Paul and Elder's account of fair-mindedness, I argue that the extra conscious effort a second language demands pulls the speaker slightly outside their own automatic reactions, producing a more analytical stance toward one's own claims.

Building on Mchangama's history of free speech and the Athenian principle of *isēgoriā* — the equal right to address the assembly — the paper then makes a pedagogical case: classrooms that police grammatical "correctness" too tightly end up suppressing the very autonomy that produces original thought. What Mchangama calls "Elite Panic," the instinct to keep discourse tightly managed, has a classroom equivalent in the teacher who corrects too soon and too often. Finally, using Paul and Elder's work on critical thinking, I connect this to intellectual tolerance, arguing that speaking activities such as debates and Socratic seminars should aim not at consensus but at teaching students to disagree well to separate the right to speak from the requirement to agree. Together, these threads suggest that ELT at the university level is not merely a language skill but a form of intellectual formation, one that shapes how students think, argue, and coexist with disagreement long after the course itself has ended.

FROM THE ROOSTER COOP TO THE GLOBAL CITY: SPACE, PRECARITY AND THE STRUGGLE FOR SELF IN ARAVIND ADIGA'S NOVELS

Sunita Chauhan
Ph. D Student of English Literature,
Department of English Literature, School of Liberal and Creative Arts,
Lovely Professional University, Phagwara, Punjab,
Email: sunitacb09@gmail.com
Dr. Harsha Vincent
Department of English Literature, School of Liberal and Creative Arts,
Lovely Professional University
(LPU), Punjab, India
Email: harshavincent514@gmail.com

Abstract

Aravind Adiga occupies a distinctive position in contemporary Indian English fiction for his uncompromising representation of inequality, social mobility, urban transformation, and the psychological consequences of globalization. His novels frequently locate individual lives within larger structures of class, caste, capitalism, migration and institutional power. This paper comparatively examines four major novels—*The White Tiger* (2008), *Last Man in Tower* (2011), *Selection Day* (2016), and *Amnesty* (2020)—to investigate how Adiga represents the individual's struggle to construct an autonomous self within increasingly unequal and competitive social spaces. The paper argues that although the four novels differ considerably in setting, narrative strategy and characterisation, they are connected by a sustained concern with precarity, visibility, agency and spatial inequality. In *The White Tiger*, Balram Halwai's journey from a poor village to an urban entrepreneur dramatizes the violent desire to escape the "Rooster Coop" of caste and class. *Last Man in Tower* relocates this conflict to the rapidly transforming metropolis, where housing, property and speculative capitalism convert a residential community into a battleground between individual conscience and collective economic aspiration. *Selection Day* moves the discussion toward youth, masculinity, sport and the commodification of talent, revealing how even dreams of success can become mechanisms of discipline. Finally, *Amnesty* extends Adiga's geographical and thematic scope beyond India to Sydney, where an undocumented Sri Lankan migrant experiences the city through fear, invisibility and legal precarity. The paper therefore proposes that Adiga's fiction can be read as a continuum in which the "space of the oppressed" gradually transforms from the village and mansion to the apartment tower, cricket field and global city. Drawing upon postcolonial spatial theory, particularly Henri Lefebvre's concept of the production of space, Homi K. Bhabha's ideas of liminality and hybridity, and Gayatri Chakravorty Spivak's theorisation of subalternity,

the paper demonstrates that Adiga's characters do not merely inhabit social spaces; they struggle to negotiate, appropriate and escape them. The study concludes that Adiga's fiction presents contemporary globalization not simply as economic transformation but as a reorganization of space, identity and human visibility.

Keywords: Aravind Adiga, postcolonial fiction, space, precarity, globalization, subalternity, identity, urbanization, agency, migration

THE MULTIMODAL SHIFT: ANALYZING THE LINGUISTIC AND PRAGMATIC IMPACT OF EMOJIS ON DIGITAL ENGLISH WRITING

Nestan Akobia: Associate Professor, David Aghmashenebeli University of Georgia, Email: nestanikoo@yahoo.com
Nino Lomsadze: Associate Professor, Georgian Technical University, Email: lomsadzenino12@gtu.ge
Nino Bochorishvili: Associate professor, Georgian Technical University, Email: botchorishvilinino12@gtu.ge

Introduction

The rapid evolution of computer-mediated communication (CMC) has drastically altered how written English functions. Traditionally, written prose relied on punctuation, syntax, and explicit vocabulary to convey mood, intent, and subtle conversational nuances. However, the rise of instant messaging and social media has given birth to a hybrid form of literacy that merges text with visual icons: the emoji.

Emojis have transcended their status as mere pop-culture decorations. They now function as integral components of modern digital English grammar and pragmatics. This paper investigates how these graphic symbols alter narrative tone, restructure traditional sentence mechanics, and create new sociolinguistic markers within international digital English.

1. Pragmatic Functions and Tone Management In face-to-face interaction, non-verbal cues account for a significant portion of context and meaning. In text-based communication, the absence of voice pitch or facial movement often leads to tone misinterpretations. Emojis address this gap through specific pragmatic strategies:

- **Illocutionary Force Softeners:** Emojis frequently function to mitigate directness. For example, replacing a simple request like *"Send the file"* with *"Send the file ☺"* reduces perceived urgency and authoritative pressure.
- **Contextual Clarification:** Sarcasm and irony present ongoing challenges in plain text. Icons such as the upside-down face (🙃) or the eye-roll (🙄) serve as explicit meta-pragmatic signals that inform the reader not to interpret the preceding sentence literally.
- **Expressive Intensifiers:** Visual repetition (e.g., 😂😂😂) operates similarly to vocal lengthening or louder pitch in spoken English, reinforcing gratitude, agreement, or urgency.

2. Syntactic and Mechanics Redefinition Emojis interact directly with traditional English grammar and punctuation rules, altering sentence construction in digital environments:

- **Punctuation Replacement:** In modern messaging, a traditional full stop at the end of a single-sentence message is often interpreted as cold, passive-aggressive, or overly formal. Emojis increasingly replace terminal punctuation altogether, providing both visual enclosure and emotional context.
- **Ideographic Substitution:** Emojis can act as direct lexical substitutes inside a sentence (e.g., *"I'll see you at* ✈*"*or *"I* ❤*this place"*). In these instances, the emoji functions syntactically as a noun or verb without breaking sentence cohesion.

3. Sociolinguistic Drift and Demographics Like spoken dialects, emoji usage is subject to rapid sociolinguistic evolution:

- **Semantic Drift:** Emojis often shed their literal meanings over time. The skull emoji (💀), originally designed to represent death or danger, has been re-appropriated in youth digital culture to signify extreme laughter ("I'm dead [from laughing]").
- **Demographic Markers:** Choice of emoji frequently signals age group and subcultural identity. The traditional laughing-crying face (😂) is now viewed by younger users as dated, replaced by the loudly crying face (😭) or skull (💀) to express humor.

Conclusion

Emojis represent a natural evolution of written English rather than a decline in literacy standards. By providing visual-pragmatic markers, they compensate for the inherent limitations of text-only digital interaction, allowing writers to express tone, humor, and subtle emotion with efficiency. As multimodal writing continues to dominate global communication, emojis will remain central to understanding the dynamic relationship between technology and human language.

References

- **Cohn, N. (2016).** *The Visual Language of Comics: Introduction to the Structure and Cognition of Sequential Images.* Bloomsbury Academic.
- **Crystal, D. (2011).** *Internet Linguistics: A Student Guide.* Routledge.
- **Danesi, M. (2016).** *The Semiotics of Emoji: The Rise of Visual Language in the Age of the Internet.* Bloomsbury Publishing.
- **Dresner, E., & Herring, S. C. (2010).** Functions of the non-verbal in CMC: Emoticons and illocutionary force. *First Monday*, 15(3).
- **Gawne, L., & McCulloch, G. (2019).** Emoji as digital gestures. *Language@Internet*, 17, Article 2.
- **McCulloch, G. (2019).** *Because Internet: Understanding the New Rules of Language.* Riverhead Books.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN EDUCATION: USING ARTIFICIAL INTELLIGENCE TOOLS IN TEACHING AND LEARNING PROCESSES IN STATE GOVERNMENT–OWNED UNIVERSITIES IN NORTH CENTRAL NIGERIA

Garba Shambo Mohammed,[1] Usman Zaliha Ndatsu,[2] Muhammad Baba, [3] Hussaini Musa Usman,[4] Hauwakulu Saba,[5]

Department of Educational Technology[1] Department of Curriculum and Instruction[2] Educational foundations[3], University Library Services[4], Department of Early Childhood Care Education[5], Abdulkadir Kure University[1], Minna Umaru Sanda Ahmadu College of Education, Minna[2,3 &5] Federal University of Technology, Minna[4]

ABSTRACT

This study examined, "Artificial Intelligence in Education: Using AI Tools in Teaching and Learning Processes in State Government-Owned Universities in North Central Nigeria. The study adopted a mixed-methods design combining a structured questionnaire administered to 296 lecturers and students across the five universities. Five research questions were raised to guide the study.

Findings show that awareness of generative AI tools such as ChatGPT and Grammarly is relatively high, but actual pedagogical utilization remains moderate. Institutional readiness was rated moderate overall, with reasonable internet connectivity but weak institutional AI policy, inadequate funding and limited staff training. Digital competence was moderate, although respondents expressed strong willingness to adopt AI following appropriate training.

It is therefore recommended that university management should develop comprehensive institutional AI policies and implementation guidelines and Academic Staff (Lecturers) should Participate regularly in AI capacity-building programmes and professional development.

Keywords: Artificial intelligence, A.I tools, Education, Teaching and Learning.

EFFECTS OF AI-POWERED VISUALIZATION TOOL ON STUDENTS UNDERSTANDING AND RETENTION OF BIOLOGY CONCEPT IN SENIOR SECONDARY SCHOOLS IN MINNA METROPOLIS

[1]Usman Zaliha Ndatsu,[1] Muhammad Baba, [2] Hauwakulu Saba,[3] Hajara Salihu
Department of Curriculum and Instruction[1] Educational foundations[2], Department of Early Childhood Care Education[3], Department of Curriculum and Instruction[4]
Minna Umaru Sanda Ahmadu College of Education, Minna[12,3 &5]

ABSTRACT

This study examined, "Effects of AI-powered visualization Tool on students' achievement and retention of biology concept in senior secondary schools in Minna Metropolis. The study employed a pretest, posttest Quasi-experimental design in which five research questions and four null hypotheses were raised. The target population for this study was 5,465 Secondary Schools in Minna Metropolis. Two hundred and ninety-six 296 students were used as the sample. The reliability of the instrument was determined using Cronbach's alpha of 0.735, and 0,749 index for the variables. A total of twenty choice objective questions were used for data collection at pre-test and posttest.

The study revealed that there is significance difference in the achievement level with a mean score of 3.10 and retention level with a mean score of 2.89 for secondary school students taught using AI-powered visualization Tools. It was recommended among other that, educators and instructional planners should prioritize the integration AI-powered visualization Tools in teaching and learning of biology in secondary schools.

Keywords: achievement, AI Powered visualization tool, Biology and Retention

EVALUATING THE EFFECTIVENESS OF ROBOTICS IN AN AUTOMOBILE INDUSTRY - CASE STUDY OF TESLA

Raghav Sivakumar
United World Academy
raghav.sivakumar89@gmail.com

Abstract

This paper looks into the use of robotics in the automobile industry and its impact on manufacturing efficiency, quality, worker safety, and production costs. Specifically it examines efficiency: robotics has accelerated production speeds while maintaining near-perfect precision; Assessing safety: robots have reduced workplace injuries, exposure to toxic fumes, and ergonomic strains; and evaluating production cost: robots reduce costs through various means, such as minimizing material scrap and operating expenses. The study explores various types and applications of robotic systems used in vehicle production. We look into how robots have transformed the industry and some of the crucial roles they play in the industry. This study takes on a qualitative literature review supported by industrial performance data to evaluate the impact of robotics on productivity, manufacturing quality, worker safety, and production cost. The findings indicate that robotics has become a strategic competitive advantage in modern automobile manufacturing.

Keywords : robotics; automobiles; industry; safety; workplace; vehicles; performance; production

DETERMINANTS OF SMART FACILITIES MANAGEMENT TECHNOLOGY ADOPTION AMONG PRACTITIONERS IN ABUJA, NIGERIA

CHARLES Gideon, ISHIYAKU Bala, MOHAMMED Ishaq Mohammed
Department of Estate Management and Valuation, Faculty of Environmental Technology, Abubakar Tafawa Balewa University, Bauchi, Nigeria

Abstract

This study examines the determinants and barriers affecting Smart Facilities Management (Smart FM) technology adoption among facilities management practitioners in Abuja, Nigeria. Motivated by the persistent contradiction between high awareness and low actual deployment of Smart FM technologies in developing economies, the study argues that infrastructural deficits, particularly unstable electricity supply and limited ICT infrastructure, function as conditioning variables that weaken the conversion of adoption intention into actual implementation. A quantitative cross-sectional survey design was employed, collecting data from 224 professionally registered FM practitioners, estate surveyors, and built environment professionals in the Federal Capital Territory. Ordinary Least Squares multiple regression analysis revealed that cognitive and organisational determinants significantly influence adoption intentions, explaining 38.4% and 56.7% of the variance, respectively. However, environmental-context variables added a further 8.1% to the explained variance, with ICT infrastructure emerging as the second-strongest predictor of adoption ($\beta = .291$, $p < .001$) and high implementation cost recording a significant negative effect ($\beta = -.173$, $p = .007$). The findings demonstrate that positive adoption intentions alone are insufficient to guarantee deployment where infrastructural instability and financial limitations remain severe. The study proposes Solar-Augmented IoT Architecture (SAIA) as a localised deployment strategy for overcoming power-related constraints and introduces a contextualised cost–benefit framework for evaluating solar-supported Smart FM systems. The paper contributes to Smart FM literature by extending technology adoption models to incorporate infrastructural conditioning factors within developing economy contexts.

Keywords: Smart Facilities Management, technology adoption, infrastructure conditioning, Solar-Augmented IoT Architecture, Nigeria, TOE framework

Issued: 24.09.2026
ISBN: ‘’978-625-378-727-1’

https://www.isarcacademy.com/