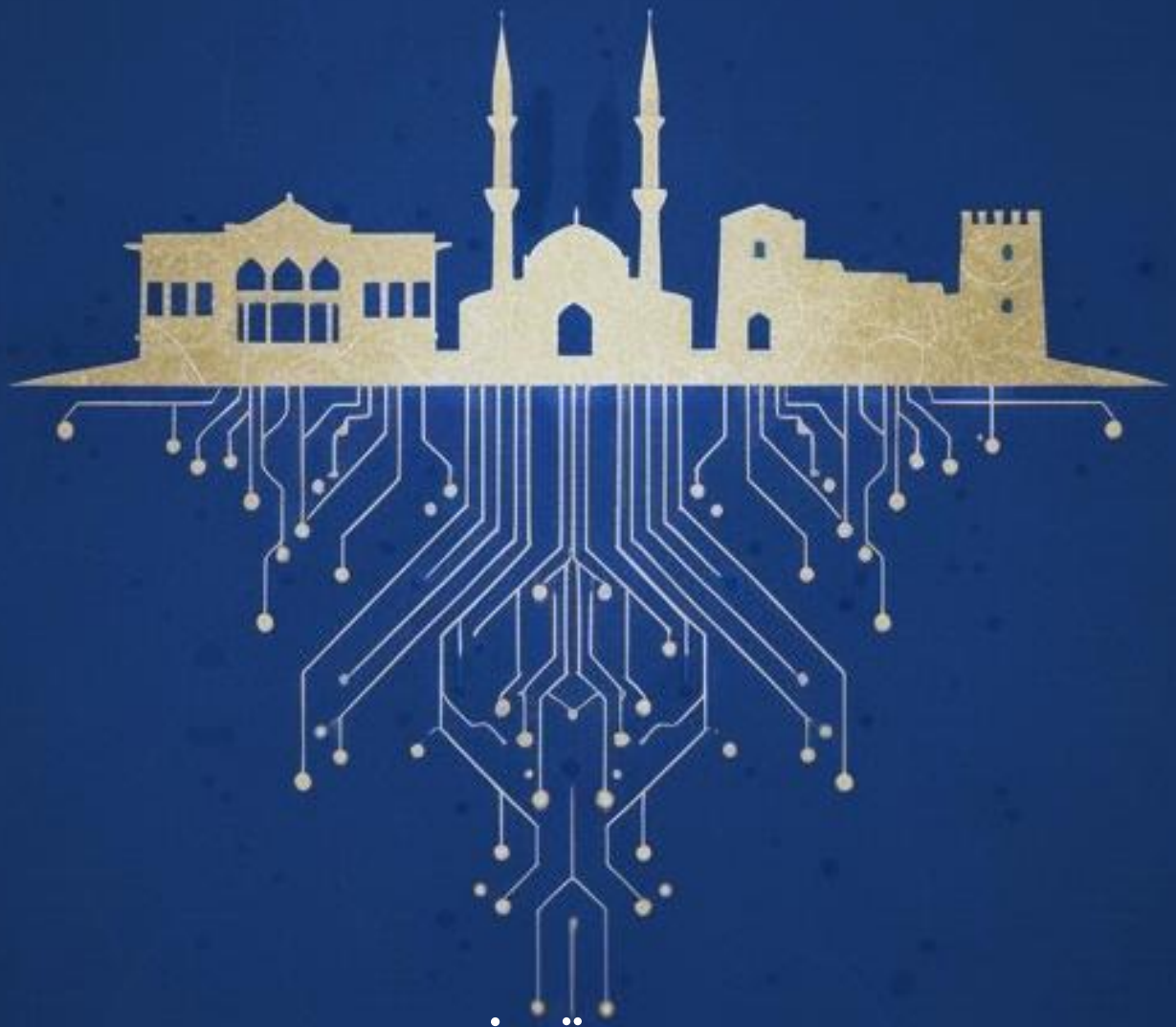
3. Uluslararası

BEYKOZ

Bilimsel Araştırmalar Kongresi



EDİTÖRLER:

Prof. Dr. İlke TAŞÇIOĞLU

Dr. Qəribova Arifə Hacıbaba QIZI

26-27 EYLÜL 2026

İSTANBUL

www.isarcacademy.com

İKSAD Publishing House

KONGRE KİTABI

ISARC Academy

INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

INTERNATIONAL **BEYKOZ** SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS-III

September 26-27, 2026 İSTANBUL, TÜRKİYE

PROCEEDINGS BOOK

EDITOR

Prof. Dr. İlke TAŞÇIOĞLU

Dr. Qəribova Arifə Hacıbaba QIZI

by

IKSAD PUBLISHING HOUSE®

All rights of this book belong IKSAD Publishing House

Authors are responsible both ethically and juridically

IKSAD Publications – 2026©

Issued: 08.10.2026

ISBN: 978-625-378-739-4

CONGRESS ID

CONGRESS TITLE
INTERNATIONAL BEYKOZ SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS-III

DATE and PLACE
SEPTEMBER 26-27 İSTANBUL / TÜRKİYE

PARTICIPATION
Keynote & Invited

PARTICIPANTS COUNTRY
Türkiye,

CONGRESS PRESIDENT
Prof. Dr. İlke TAŞÇIOĞLU
İstanbul Topkapı University

GENERAL COORDINATOR
Melike KAYA
ISARC Academy,Türkiye

NUMBER of ACCEPTED PAPERS- (Türkiye-42 , Other Countries-47)

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

ORGANIZING COMMITTEE:

Prof. Dr. Mukadder MOLLAOĞLU

Prof. Dr. Neslihan ŞAHİN

Prof. Dr. Sancar BULUT

Prof. Dr. Serpil ÜNVER SARAYDIN

Prof. Dr. Tolga ULUSOY

Prof. Dr. Yadigar GÜLSEVEN SIDIR

Assoc. Prof. Dr. Malik YILMAZ

Assoc. Prof. Dr. Melih OKCU

Assoc. Prof. Dr. Nursen IŞIK

Assoc. Prof. Dr. Özlem ÜLGER DANACI

Assoc. Prof. Dr. Sahure YARİŞ

Assoc. Prof. Dr. Seda BENGİ

Assoc. Prof. Dr. Sema SAĞLIK

Assoc. Prof. Dr. Şükrü KALAYCI

Assoc. Prof. Dr. Zamıg TEHMEZOV

Assoc. Prof. Dr. Zeynep Deniz ŞAHİN İNAN

Assoc. Prof. Dr. Zühal OKCU

Dr. Laleş USLU AZARAK

Dr. Mine KIRKYOL

Dr. Sevil ÖZCAN

Dr. Sümeyye GÖKÇENOĞLU

Dr. Şengül ŞENTÜRK

Dr. Rana BAYTİN ALACI

SCIENTIFIC AND ADVISORY BOARD:

Prof.Dr.EMİNE NAS

Selçuk University

Prof. Dr. Gökhan TÜRECİ

Kırıkkale Üniversitesi

Prof. Dr. Halil Barış ÖZEL

Bartın Üniversitesi

Prof. Dr. Jaın SADHNA

University of Delhi

Prof. Dr. Morakeng Edward

Kenneth LEBAKA University

of Zululand

Prof. Dr. Mukadder MOLLAOĞLU

Cumhuriyet University

Prof. Dr. Manole COJOCARU

Titu Maiorescu University

Prof. Dr. Mustafa Fedai ÇAVUŞ

Osmaniye Korkut Ata University

Prof. Dr. Mustafa METE

Gaziantep University

Prof. Dr. Mustafa Onur ALADAĞ

Selçuk University

Prof. Dr. Nurdan KALAYCI

Gazi University

Prof. Dr. Orhan ZEYBEK

Balıkesir University

Prof. Dr. Sancar BULUT

Kayseri University

Prof.Dr.Sedat İLHAN

Dicle University

Prof. Dr. Selahattin YAVUZ

Erzincan Binali Yıldırım University

Prof. Dr.Seval Sevgi KIRDAR

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi

Prof. Dr. Seyfi ŞEVİK

Hitit University

Prof. Dr. Songül ÇAKMAKÇI

Atatürk University

Prof.Dr. Yadigar GÜLSEVEN SIDIR

Bitlis Eren University

Prof. Dr. Zekeriya KARADAVUT

Akdeniz Üniversitesi

Prof. Dr. Zharkynbıke SULEIMENOVA

Kazakh National Women's Pedagogical University

Prof. Dr. Zülfü GÜROCAK

Fırat University

Prof.Dr.Vehbi GÜNEŞ

Selçuk University

Assoc. Prof. Dr.Ahmet AYDIN

Ege University

Assoc. Prof. Dr. Armel MBON

Marien Ngouabi University

Assoc. Prof. Dr. Asuman SAVAŞCIHABEŞ

Nuh Naci Yazgan University

Assoc. Prof. Dr. Azimbaeva GULBAYRA

Kazakh National Women's Pedagogical University

Assoc. Prof. Dr. Betül GÜZELDİR

Atatürk University

Assoc. Prof. Dr. Çiğdem BOGENÇ

Karabük Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Emre CENGİZ

Gümüşhane Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr.Elif Feyza TOPDAŞ

Atatürk University

Assoc. Prof. Dr.Fouzia BENOUDJIT
M'hamed Bougara University

Assoc. Prof. Dr. Hatun BARUT

Doğu Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü

Assoc. Prof. Dr.Gökhan UYANIK

Gazi University

Assoc. Prof. Dr. Hasan TELLİ

Mersin University

Assoc. Prof. Dr. Lütfü BEKAR

Hitit Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr.Murat TOPAL

Fırat University

Assoc. Prof. Dr. Nermin KAHVECİ YAĞCI

Kırıkkale Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr. Nuran Ekici

Trakya Üniversitesi

Assoc. Prof. Dr.Onur ÇOMAKLI

Çukurova University

Assoc. Prof. Dr. Oqtay QULİYEV

Azerbaycan Devlet İktisat University

Assoc. Prof. Dr. Orhan TURAN

Batman University

Assoc. Prof. Dr. Ömer Faruk RENÇBER

Gaziantep University

Assoc. Prof. Dr. Sahure YARİŞ

Dicle University

Assoc. Prof. Dr. Salman Bashir MEMON

Shah Abdul Latif University

Assoc. Prof. Dr. Seyfaddin JAFAROV

Nakhchivan State University/AZERBAIJAN

Assoc. Prof. Dr.Seyhan Çankaya

Süleyman Demirel University

Assoc. Prof. Soufiane Ziani

Mohammed 1st University

Assoc. Prof. Dr. Syed Ali

Raza NAQVI

Government College University Faisalabad

Assoc. Prof. Dr. Victoria POSTOLACHE

Alecu Russo Balti State University

Assoc. Prof. Dr. Yılmaz KÜÇÜK

Gazi University

Assoc. Prof. Dr. Yılmaz SEÇİM

Necmettin Erbakan University

Assoc. Prof. Dr. Zamıg TEHMEZOV
Azerbaycan Devlet Pedagoji University

Dr. Ahu Alev ABACI BAYAR
Kırşehir Ahi Evran Üniversitesi

Dr. Ali ARSHAD
University Utara

Dr. Ali Sercan KARAKAŞ
İnönü Üniversitesi

Dr. Alper GÜNGÖREN
Kastamonu Üniversitesi

Dr. Aygün Meherremova
Bakü Devlet University

Dr. Aynure Eliyeva
Azerbaycan Devlet Pedaqoji Universiteti

Dr. Bhavtosh AWASTHİ
Jecrc University India

Dr. Chems Eddine BOUKHEDIMI
University of Tizi Ouzou

Dr. E. Vildan BURGAZ
Doğu Akdeniz Üniversitesi/KKT

Dr. Emel ECE
Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi

Dr. Ferhat ATİK
Girne Amerikan Üniversitesi

Dr. Gülşen ASLAN ELKIRAN
Hitit Üniversitesi

Dr.Huma Ikram
University Of Karachi

Dr.Duong To Quoc Thaı
Dong Thap University

Dr. Khadija Oumghar
Hassan II University

Dr. Murat KAYA
Kayseri University

Dr. Moses Adeolu AGOI
Lagos State University of Education

Dr. Muhammad IMRAN
Government College University

Dr.Melek ÖZ
Erciyes University

Dr. Meltem YANIK
Ordu University

Dr.Muhammad Saleh FAISAL
Pmdc Registration

Dr. Nurhoca AKBULAYEV
Azerbaycan Devlet İktisat University

Dr. Saimah Khan
Integral University, India

Dr. Rida ZULFİQAR
University of Szeged

Dr. Tatia DOLİDZE
European University

Scientific Development and Innovative Approach

*INTERNATIONAL **BEYKOZ***
SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS-III

SEPTEMBER 26-27, 2026 İstanbul, Türkiye

Congress Program

***Participant Countries:** Turkeys, Albania, Algeria,Azerbaijan,Bangladesh,Brazil,France,Hırvatistan,Georgia,India,Indonesia,Iran,Mexico,Moldova,Morocco,Nigeria,Romania,Pakistan,Saudi Arabia, South Africa, Üsküp,Tunisia,Vietnam*

Meeting ID: 842 4396 0742

Passcode: 475107

ZOOM LINK:

https://us06web.zoom.us/j/84243960742?pwd=Mz4pZbp5ILskaDsaUJmBEdQyKa8eMj.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**

26.09.2026/ Hall-1, Session-1

Ankara Local Time

10 00 : 11 15

Meeting ID: 842 4396 0742

Passcode: 475107

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Semahat DORUK

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Synthesıs Of Pu-Shelled N-Nonadecane Phase Change Nanocapsules By Interfacıal Polymerısatıon And Theır Characterısatıon In Bıtumen	Assist. Prof. Dr. Semahat DORUK Assist. Prof. Dr. Başak VARLI BİNGÖL	Çankırı Karatekin University
Temperature- And Vıscosıty-Dependent Trueness Of A Commercıal Transıent Lıne-Source Thermal-Conductıvıty Sensor: A Reference-Fluıd Study Wıth Water And Ethylene Glycol	Assist. Prof. Dr. Semahat DORUK Assist. Prof. Dr. Başak VARLI BİNGÖL	Çankırı Karatekin University
Comparatıve Investıgatıon Of Mechanıcal Performance And Strength Behavıor In Basalt And Carbon Fıber Reınforced Concrete	Dr. Mutlu KURBAN	Cukurova University
Effect Of Raster Angle And Infıll Ratıo On The Mechanıcal Behavıor Of Tensile Specımens Of Glass Fıber Reınforced Polypropylene Fılaments By Fdm Method	Güney KARAKUŞ Arda Batın SUIÇMEZ Mustafa Özgür BORA Sinan FİDAN Satılmış ÜRGÜN Mehmet İskender ÖZSOY	Kocaeli University/Sakarya University
Production and Characterization of Conductive Lines from Micron-Sized Copper Powders on PMMA Surfaces by Fiber Laser Sintering Method Under Protective Argon Atmosphere	Furkan ÜNAL Mustafa KÜDÜR Sinan FİDAN Mustafa Özgür BORA Satılmış ÜRGÜN Mehmet İskender ÖZSOY	Kocaeli University/Sakarya University

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

26.09.2026/ Hall-2, Session-1

Ankara Local Time

10 00 : 11 45

Meeting ID: 842 4396 0742

Passcode: 475107

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Nilay İŞİTEZ

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Trıangle Dissectıon For Pancreatıc Cancer: Oncologıcal Radıcalıty And Surgıcal Safety In An Inıtıal Experıence – Case Report	Uzm. Dr. Ümit ÖZDEMİR	Ankara Etlik City Hospital
Structural Mrı Evaluatıon Of The Associatıon Between Behavıoral Actıvatıon System Dımensıons And Strıatal Volumes In Healthy Young Adults	Seyit EROL	Selçuk University
Local Participation And Governance In Nature-Based Tourism	Assist. Prof. Dr.Adnan AKIN Prof. Dr. Aliye ÇİLAN AKIN	Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi
Evaluatıon Of The Effects Of Tanshınone Iıa On Wound Healıng And TGF-β Levels In Human Dermal Fıbroblasts	Assist. Prof. Dr. Nilay İŞİTEZ Prof. Dr. Sevim Feyza ERDOĞMUŞ	Afyonkarahisar Health Sciences University
Rısky Health Behavıors And Mental Well-Beıng Among Young People	İrem SEVİM EKİCİ Prof. Dr. Ayşe ERGÜN	Marmara University
Investigation Of The Effects Of Quercetin On Inflammation İn An Experimental Model Of Alzheimer's Disease	Sadiye Uygur Mehmet TÜRKER	Gaziantep University
Foodborne Dısease Outbreaks And Publıc Health: Strengthenıng Surveıllance, Epıdemıologıcal Investıgatıon, And Preventıon	Prof. Dr. Mir-Hassan MOOSAVY	University of Tabriz/IRAN

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

26.09.2026/ Hall-3, Session-1

Ankara Local Time

10 [00] : 11 [30]

Meeting ID: 842 4396 0742

Passcode: 475107

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Murat TOPAL

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Determınatıon And Gıs-Based Mappıng Of Bıoclımatıc Comfort Condıtıons In Aksu Dıstrıct	Lect. Dr. Nihat KARAKUŞ	Akdeniz University
Wudapt And Gıs-Based Mappıng And Evaluatıon Of Local Clımate Zones In Antalya Cıty Center	Lect. Dr. Nihat KARAKUŞ Assoc. Prof. Dr. Rifat OLGUN Lect. Dr. Emine KAHRAMAN	Akdeniz University
Analysıs Of The Phytochemıcal Composıtıon And Bıologıcal Actıvıtıes Of Extracts From Marchantia Polymorpha, Conocephalum Conicum And Plagiochila Porelloides	Ufuk YER Assoc. Prof. Dr. Seda FANDAKLI Dr. Mesut NAMLI Lect. Deniz CANBOLAT GÜLTEKİN Dr. Ahmet İsmail ÖZKAN Prof. Dr. Nevzat BATAN	Atatürk University/Artvin Coruh University/Karadeniz Technical University
Investıgatıon Of Bısmuth And Uranıum In Grapevıne Leaves Exposed To Mıne Gallery Waters	Assoc. Prof. Dr. Murat TOPAL Emine Işıl ARSLAN TOPAL Erdal ÖBEK Prof. Dr.Erdal ÇELİK	Munzur University /Fırat University /İstanbul Teknik University /Bingöl University
Investıgatıon Of Molybdenum And Strontıum In Tomatoes Grown In An Area Contamınated By Munıcıpal Wastewater Treatment Plant Effluent	Assoc. Prof. Dr. Murat TOPAL Emine Işıl ARSLAN TOPAL Erdal ÖBEK Prof. Dr.Erdal ÇELİK	Munzur University /Fırat University /İstanbul Teknik University/Bingöl University
Optımızatıon Of Wheat Blend For Baklava Flour	Bersu AÇIL Nuri Serdar GÜNDOĞAN Ceyda KAÇMAZ GÜMÜŞ	Tellioğlu Yem Gıda Entegre Tesisleri San. ve Tic. A.Ş.

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

26.09.2026/ Hall-4, Session-1

Ankara Local Time	Meeting ID: 842 4396 0742
10 00 : 11 30	Passcode: 475107

HEAD OF SESSION: Res. Assist.Onur ARSLAN

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
The Effects Of Energy Transition And Supply Risks On Business Continuity İn Aviation	Res. Assist.Onur ARSLAN	İstanbul Okan University
The Impact Of The Space Economy On Operational Continuity And Risk Management İn Civil Aviation	Res. Assist.Onur ARSLAN	İstanbul Okan University
Effect of Obstacle Detection Range and System Latency on Safe Operating Speed in Autonomous Agricultural Machinery: A Parametric Preliminary Analysis	Osman ECEOĞLU, PhD	Akdeniz University
Turn Compensatıon Technologıes In Planter And Sprayıng Machınery	Assist. Prof. Dr. Keziban YALÇIN DOKUMACI Tahir Abakar MAHAMAT	Selçuk University
Configuratıon-Drıven Automatıon Of E-Commerce Sıte Launch In Multı-Country Retaıl Operatıons: An Industrıal Experıence Report	Aylin ARSLAN	Flo Technology
Development Of Next-Generatıon, Low-Cost, And Envıronmentally Frıendly Solar Cell Absorber Materıals	Assist. Prof. Dr. Samed ÇETİNKAYA	Mersin University

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

26.09.2026/ Hall-5, Session-2

Ankara Local Time
10 30 : 12 00

Meeting ID: 842 4396 0742
Passcode: 475107

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Onur ÇAMLI

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Machıne Translatıon Usıng Transformers For Turkısh To Russıan	Nurzhan AMANTAY Assoc. Prof. Dr. Yasin ORTAKCI	Karabuk University
Segmentatıon Of Purchasıng Behavıor Usıng Unsupervısed Learnıng Methods And Analysıs Of Fundamental Components	Ahmet GÜRGAŞİN	Astor Enerji A.Ş. AR-GE Merkezi
Unıt Prıce Forecastıng Usıng Gauss Process Regressıon And Xgboost Methods	Ahmet GÜRGAŞİN	Astor Enerji A.Ş. AR-GE Merkezi
Beyond Penalty Terms: A Solutıon-Selectıon Perspectıve On Regularızatıon From Classıcal Statıstıcs To Modern Machıne Learnıng	Assist. Prof. Dr. Onur ÇAMLI	Erzurum Technical University
The Limits Of Algorithmic Complexity İn Public Energy Planning: A Comparison Of Electricity Demand Forecasts	Lect. Dr. Hasan ERYÜRÜK Lect. Fatma TOPUZ ERYÜRÜK	Afyon Kocatepe University
Numerical Reliability İn Policy Briefs: An Experimental Test Of AI Supported By Data Access	Lect. Dr. Hasan ERYÜRÜK Lect. Fatma TOPUZ ERYÜRÜK	Afyon Kocatepe University

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

26.09.2026/ Hall-6 Session-3

Ankara Local Time

10 30 : 13 00

Meeting ID: 842 4396 0742

Passcode: 475107

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Esra YILDIZ

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
An Investigation Into Universal Design For Learning And Artificial Intelligence Support In The Non-Routine Choice Problem-Solving Process Of Students Diagnosed With Specific Learning Disabilities	Defne MİRİOĞLU Prof. Dr. Bahar UYAR DÜLDÜL	Yıldız Technical University
An Individualized Instructional Model For Teaching Urban Literacy And Safe-Space Skills To Individuals With Intellectual Disabilities: The Case Of The Kogem Project	Mahmut Semih ÇAKMAK , Şehir Plancısı	Bursa Teknik University
Studies On Teachers' And Pre-Service Teachers' Views On Distance Mathematics Teaching: A Review	Betül DİLEK ÖZKAN Prof. Dr. Gül KALELİ YILMAZ	Bursa Uludağ University
Educational Possibilities Of Musical Means Of Expression In Music Teaching	Dr. Qəribova Arifə Hacıbaba qızı	Azərbaycan Döblət Pedaqoji Universiteti/AZERBAİJAN
Problems Of Forming Musical-Aesthetic Taste In Students	Dr. Qəribova Arifə Hacıbaba qızı	Azərbaycan Döblət Pedaqoji Universiteti/AZERBAİJAN
The Ottoman Society's Engagement With Sīra Literature: A Social, Religious, And Institutional Reading	Assoc. Prof. Dr. Esra YILDIZ	Yalova University
The Genealogies Of Ottoman ʿulamāʾ	Assoc. Prof. Dr. Esra YILDIZ	Yalova University
Expanding Boundaries Of Site Specificity: A Comparative Analysis Of Richard Serra's Tilted Arc And Fred Wilson's Mining The Museum	Asst. Prof. Zafer Ali AKŞIT	Yeditepe University
Assessment Of Damage And Collapse Mechanisms In Historic Masonry Bridges Under Seismic Effects	Lect. Dr. Özgül DEMİRAĞ	Gumushane University
The Effect Of Dome–Wall Interaction On The Seismic Behavior Of Historic Masonry Tombs: A Structural Assessment	Lect. Dr. Özgül DEMİRAĞ	Gumushane University

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

26.09.2026/ Hall-7, Session-2

Ankara Local Time

10 30 : 12 00

Meeting ID: 842 4396 0742

Passcode: 475107

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Senem ALTAN

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Strengthenıng The Constıtutıonal Posıtıon Of The Ombudsman Instıtutıon From The Perspectıve Of A New Cıvılıan Constıtutıon	Dr. Ayşe YAMAN KAPLAN Beyza İŞBİLİCİ ERDOĞAN	Süleyman Demirel University
Identity Documentation, Citizenship, and Minority Rights in the EU Integration Process: A Comparative Perspective from the Western Balkans	Muratcan IŞILDAK	International Balkan University/ÜSKÜP
Are Employees Who Dısclose Weakness Seen As Authentıc Or Incompetent? The Moderatıng Role Of Status And Job Securıty	Assoc. Prof. Dr. Senem ALTAN	Doğuş University
The Penalty Of Competence: The Effects Of Dısproportıonate Task Allocatıon To Hıgh Performıng Employees On Perceıved Justıce And Strategıc Wıthdrawal	Assoc. Prof. Dr. Senem ALTAN	Doğuş University
Greenwashıng In The Context Of Green Marketıng: A Conceptual Evaluatıon	Res. Assist. Dr. Tansu IŞIKAY	Doğuş University
An Evaluatıon Of The Role Of Socıal Marketıng In Sustaınabılıty Through Türkıye's Deposıt Management System	Arş. Gör. Dr. Tansu IŞIKAY	Doğuş University

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

26.09.2026/ Hall-8 Session-3

Ankara Local Time

11 00 : 13 00

Meeting ID: 842 4396 0742

Passcode: 475107

HEAD OF SESSION: Prof. Dr.Deilton RIBEIRO BRASIL

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Climate Education And The Protection Of Fundamental Rights: Law No. 14,926/2024 And The Role Of Environmental Education In Prevention, Adaptation, And The Reduction Of Socio-Environmental Vulnerabilities	Prof. Dr.Deilton RIBEIRO BRASIL	University of Itaúna (UIT)/ Università Degli Studi di Messina/ITALY-BRAZİL
Artificial Intelligence in Modern Criminalistics: Opportunities, Risks, and Legal Safeguards	Omar Phartenadze	Batumi Shota Rustaveli State University/GEORGİA
Modern Forensic Technologies Used In The Investigation Of Offences In The Construction Sector	Vatamanita MARIANA	"Constantin Stere"University/MOLDOVA
The Banque De L'ındochına And The Development Of Colonial Rice Trade (1875-1945)	Dr. Duong To Quoc THAI	Dong Thap University, VİETNAM
Protection Of Personality Rights In The Age Of Generative Ai: Legal Challenges For Vietnamese Civil Law	Huynh Mai Yen	Thu Dau Mot University, Vietnam
Vınh Te Canal (1819-1824) Construction And The Defense Strategy In Southern Vietnam	Dr. Duong The HIEN	An Giang University - Vietnam National University Ho Chi Minh City, Vietnam
Development An'sd Valıdatıon Of Edutaınment Instructional Packages For Teachıng Economics At Senıor Secondary School In Nıgerıa	Dr. Saliu M. R Kure Isah Danladi PhD Dr Sobowale Favour Mosunmola Daniel John	University Minna Niger State/Niger State College of Education Minna/University of Jos/NİGERİA

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

26.09.2026/ Hall-9, Session-3

Ankara Local Time

11 00 : 12 45

Meeting ID: 842 4396 0742

Passcode: 475107

HEAD OF SESSION: Dr. Hamza Belkhodja

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Improvement of Indoor Air Quality Through Integrated Landscape Design for A Sustainable Hostel Accommodation in University of Abuja.	Haruna Baba, Danjuma Onuwe Julius	Federal University of Technology
An Evaluatıon Of Buıldıng Materıals Used In Idp Camp Constructıon: A Case Study Of Selected Camps In Abuja, Nıgerıa	Moses Tsamya J.O. Onuwe	Federal University of Technology
Physıcochemıcal Characterızatıon And Evaluatıon Of The Antıoxıdant Capacıty Of Polyphenolıc Extracts Of Cucumis metuliferus (KIWANO)	Dr. Hamza Belkhodja	University of Mustapha Stambouli/ALGERİA
Efficacy Of Rosemary And Thyme Essentıal Oıls On Pear (Pyrus communis L.) Explant Evolutıon On In Vıtro Establıshment Phase	Dr. Chokri BAYOUDH Mrs Yassmine GHRAIRI Mrs Afifa MAJDOUB Pr. Taoufik BETTAIEB	Regional Research Centre on Horticulture and Organic Agriculture (CRRHAB)/ University of Monastir/University of Carthage/TUNİSİA
Acute Poisoning Cases in South-Eastern Morocco (2020–2025): Epidemiology, Clinical Presentation, and Therapeutic Management	El Houssain Marouani, Salma Ait El haj , Chaima El Haydougui , Imane Imilouane , Abdessamad	Chouaib Doukkali University
Clinical–Laboratory Discordance in Obstetric Malpractice: Medico-Legal Insights from Two Cases	Elmas Shaqiri, Tefta Shaqiri, Suela Tanushi, Gentian Vyshka	University of Medicine/ALBANİA
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/Mohamed V University/Mohammed VI University/MOROCCO

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

26.09.2026/ Hall-10 Session-3

Ankara Local Time

11 00 : 13 00

Meeting ID: 842 4396 0742

Passcode: 475107

HEAD OF SESSION: Prof. Gabrijel ONDRASEK

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Global Metal Contamınatıon: Envıronmental Pathways, Human Health Rısks, And Sustaınable Remedıatıon	Prof. Gabrijel ONDRASEK Asst. Prof. Jelena HORVATINEC ISAKOVIĆ	University of Zagreb/HIRVATİSTAN
Immunomodulatory Effects Of Cadmıum Induced Oxıdatıve Stress In Broılers And Its Ammeıoratıon Wıth Actıvated Charcoal	IBTISAM HAMEED	PIR MEHR ALI SHAHARID AGRICULTURE UNIVERSITY RAWALPINDI PAKISTAN
Structural and Comparative Docking Analysis of Human Gut-Derived Akkermansia muciniphila Amuc_1100 with Innate Immune Receptors	Manoj-Kumar Arthikala , Yalpi Karthik , Pavithra Narendran	University of Trans-Disciplinary Health Sciences and Technology/Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)/INDİA-MEXİCO
Evaluatıon Of Heavy Metals And Theır Health Rısk Assessment In Fluted Pumpkın (Telfairia Occidentalis) Leaf Wıthın Mokwa Townshıp Market	Idris Mohammed Aliyu Abdulwaheed Adeyemi Bello	College of Agriculture P.M.B
National AI Innovation, Startup and Research-to-Market Programme	DR. MUHAMMAD FAISAL	Allama Iqbal Open University, Islamabad, Pakistan
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]	Hassan II University/MOROCCO
To What Extnt Is The Adoptıon Of Artıcıcıal Intelligence Transformıng Employment Opportunıtıes , Wages ,Inequalıty And Sıll Requırements In Inda ?	Pulinati Yathiswar Reddy Mr. SWAMI NATHAN PRABHU RAM MUDALIYAR	UNITED WORLD ACADEMY ,BANGALORE, INDIA

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

26.09.2026/ Hall11 Session-3

Ankara Local Time

11 30 : 13 15

Meeting ID: 842 4396 0742

Passcode: 475107

HEAD OF SESSION: Dr.P.C.Praveen Kumar

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Fabrication Of Graphitic Carbon Nitride-Decorated $BaAl_2O_4$ Nanocomposite For High-Performance Asymetric Supercapacitor	Muhammad Rizwan , Sahar G. Tawfik , Ali El-Rayyes , Lamia Abu El Maati , Hussain Sawwan , Eman Alzahrani , Hala M. Abo-Dief , Reda A. Haggam	Princess Nourah bint Abdulrahman University/Northern Border University/Government Graduate College Jampur/King Khalid University/Taif University/Islamic University of Madinah/SAUDİ ARAB A-PAKİSTAN
Rational Design and Biological Evaluation of Indole-3-Butyric Acid-Derived Hydrazones: Integrated Experimental and Computational Investigations	Muhammad Ibrahim * , Ummy Rubab, Irfa Sakandar	Government College University
Multiphysics–Judd–Ofelt Engineering Of High-Efficiency Red Luminescence İn Eu^{3+}-Doped Silicophosphate Sol–Gel Glasses	El Mahdi Bouabdalli, Mohamed El Jouad , Samira Touhtouh, Fouad Belhora, Nathalie Gaumer , El Kebir Hlil , Abdelowahed Hajjaji	Sidi Mohamed Ben Abdellah University/Chouaib Doukkali University/Université d'Angers/FRANCE-MOROCCO
Structure–Property Correlations İn Eu 3+ -Doped Strontium Phosphate Glasses For Photonic And Photovoltaic Applications	El Mahdi Bouabdalli , Mohamed El Jouad , Samira Touhtouh, Ilyass El kadmiri, Nathalie Gaumer , Mostapha Siniti , Abdelowahed Hajjaji	Sidi Mohamed Ben Abdellah University/Chouaib Doukkali University/Université d'Angers,/FRANCE-MOROCCO
Measurement and Analysis of S-Parameters of a Microstrip Transmission Line Using Smith Chart	Ramavath Bhargavi Dr.P.C.Praveen Kumar Dr. J. Salai Thillai Thilagam	G. Pulla Reddy Engineering College/INDİA
Sensory Attrıbutes And Proxımate Composıtıon Of Wheat-Unrıpe Plantaın Cake	ALAGBU OGOCHUKWU PHILOMINA	FEDERAL POLYTECHNIC,OKO, ANAMBRA STATE, NIGERIA
Explorıng Sustaınable And Innovatıve Pedagogıes In Motor Vehıcle Mechanıcs Work Trade: A Study Of Technıcal Colleges In Oyo State	Sulaiman Tunbosun WAHAB Mukaila Abiodun YISA Oriola Olatunji FADAIRO	Emmanuel Alayande University

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

26.09.2026/ Hall-1 Session-4

Ankara Local Time

11 30 : 13 30

Meeting ID: 842 4396 0742

Passcode: 475107

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Gela Sandodze

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
The Economics Of Teacher Readiness In The Age Of Artificial Intelligence: Digital Competence, Employability And Productivity Among Pre-Service Teachers	Felix Oluremi IDOWU Dr Oluwaseun OYEWOLE	University of Ibadan/NİGERİA
Drinking Water Challenges And The Current State In Georgia	Assist. Prof. Dr. Gela Sandodze	Georgian Technical University/GEORGİA
Collaborative Governance İn Building The Halal Industry Ecosystem : Evidence From Central Java, Indonesia	M. Fathrezza Imani Hendri Hermawan Adi Nugraha	Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan/INDONESİA
Irrigation Of Strategic Cultures The İmproved Irrigation Unit Of Positional Action	Vakhtang Nanitashvili	Georgian Technical University/GEORGİA
'Life without Principle': Retribution in Proverbs 2:10 -15 and youth cultists in Benue State, Nigeria	Favour C. Uroko (Ph.D) Esias Meyers (Ph.D)	University of Pretori/ University of NİGERİA/SOUTH AFRİCA
Integrating Technology-Assisted Instruction For Students With Learning Disabilities: A Pathway To Inclusive And Effective Education In Nigeria	AHMED ABDULLAHI BARKUTA	UMARU SANDA AHMADU COLLEGE OF EDUCATION/NİGERİA
Integrating Technology-Assisted Instruction For Students With Learning Disabilities: A Pathway To Inclusive And Effective Education In Nigeria	AHMED ABDULLAHI BARKUTA AMINU GARBA (Ph.D)	IBRAHIM BADAMASI BABANGIDA UNIVERSITY
Digital Age Stress: Building Resilience In The Era Of Social Media	Elona MUSTAFARAJ Msc Ass. Prof. Dr. Fleura Shkëmbi Dr. Silva IBRAHIMI PhD	Mediterranean University/"University of Tirana/ALBANİA

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

26.09.2026/ Hall-2Session-4

Ankara Local Time

11 30 : 12 45

Meeting ID: 842 4396 0742

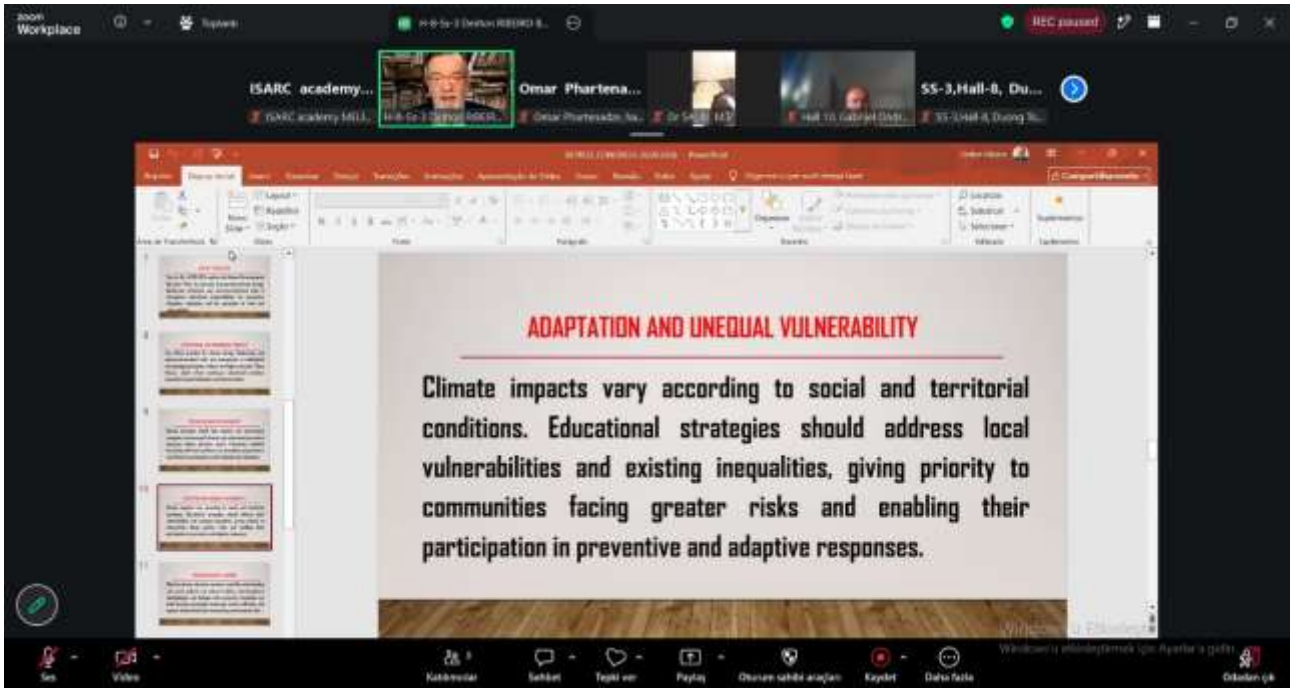
Passcode: 475107

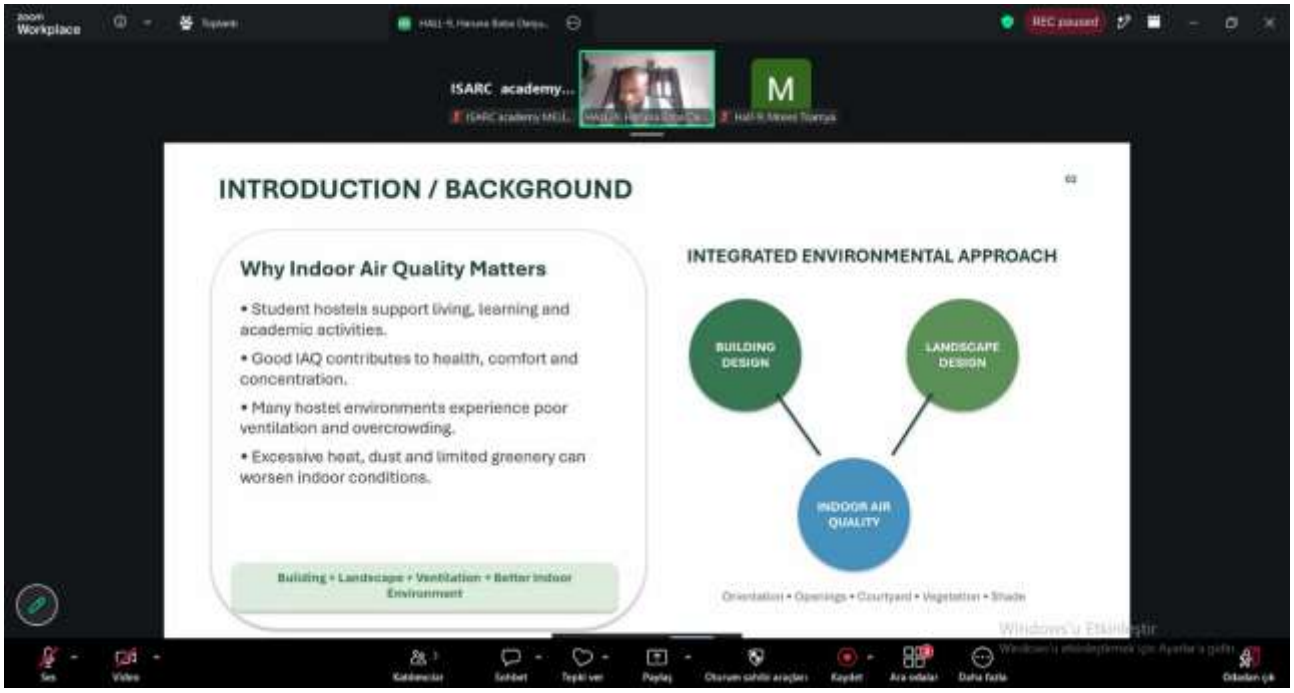
HEAD OF SESSION: Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti

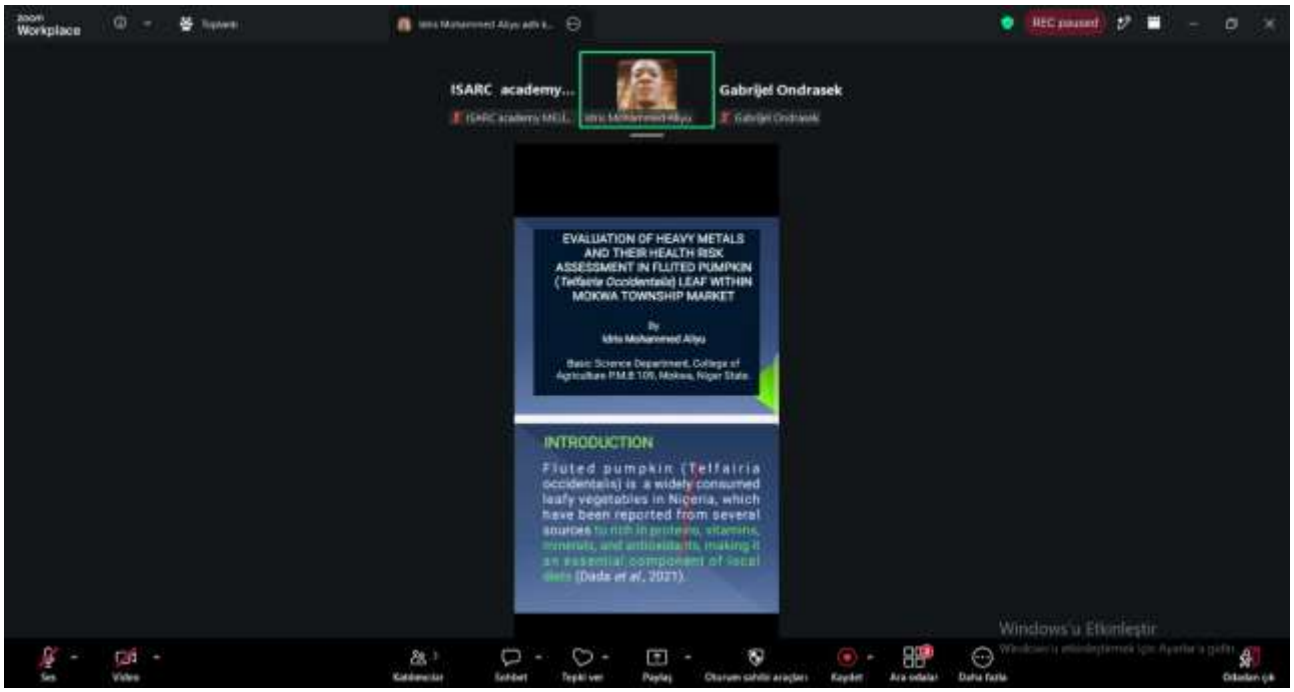
TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Impact Of Role Ambıguıty And Role Conflıct On Project Success Wıth Moderatıng Role Of Top Management Support In Constructıon Industry Projects Of Pakıstan	Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti Prof. Dr. Muhammad Asad Ghufran Ar. Saira Naeem Ar. Madiha Ghafoor	School of Architecture & Planning, UMT Lahore/PAKİSTAN
Artificial Intelligence and International Data Protection Law: Challenges,Risks and Perspectives for the Protection of Personal Data	Roxana Moisoiu	MOLDOVA-ROMANİA
Quantum Computıng And Integrated Scıence Pedagogy: Developıng Computatıonal Thınkıng In The Era Of Post-Classıcal Computıng	Moses Adeolu AGOI Olawale Adejumo OSUNLOYE Olayemi Grace ABIMBOLA Rasheed Olatunde AJETUNMOBI	Lagos State University/NİGERİA
Transformıng Adversıty Into Opportunıty: Assessıng User Satısfactıon In Hospıtal Transformatıon In Lıeu Of A Pandemıc Through The Multı Corrıdor Expansıon Model For Epıdemıc Management And Envıronmental Desıgn Enhancement	Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti, Prof. Dr. M. Asad Ghufran, Prof. Dr. Atta Ullah Shah,	Karakoram University/International Islamic University/PAKİSTAN
Evaluation Of Renewable Energy Pathways For Bangladesh Based On A Multi-Dimensional Analysis Of Institutional Energy Demand Vis-À-Vis Socio-Economic Indicators And Income Level	Dr. Md. Mahamudur Rahman Papon , Dr. Nilima Islam , Md. Golam Rasul , Mohammad Rashe ,Dun Nabi , Md. Sarwath Hussain Bhuiyan , Fahad Rahul	American East Coast University/University of Dhaka/State University of Bangladesh/North South University/Bangladesh University/BANGLADESH

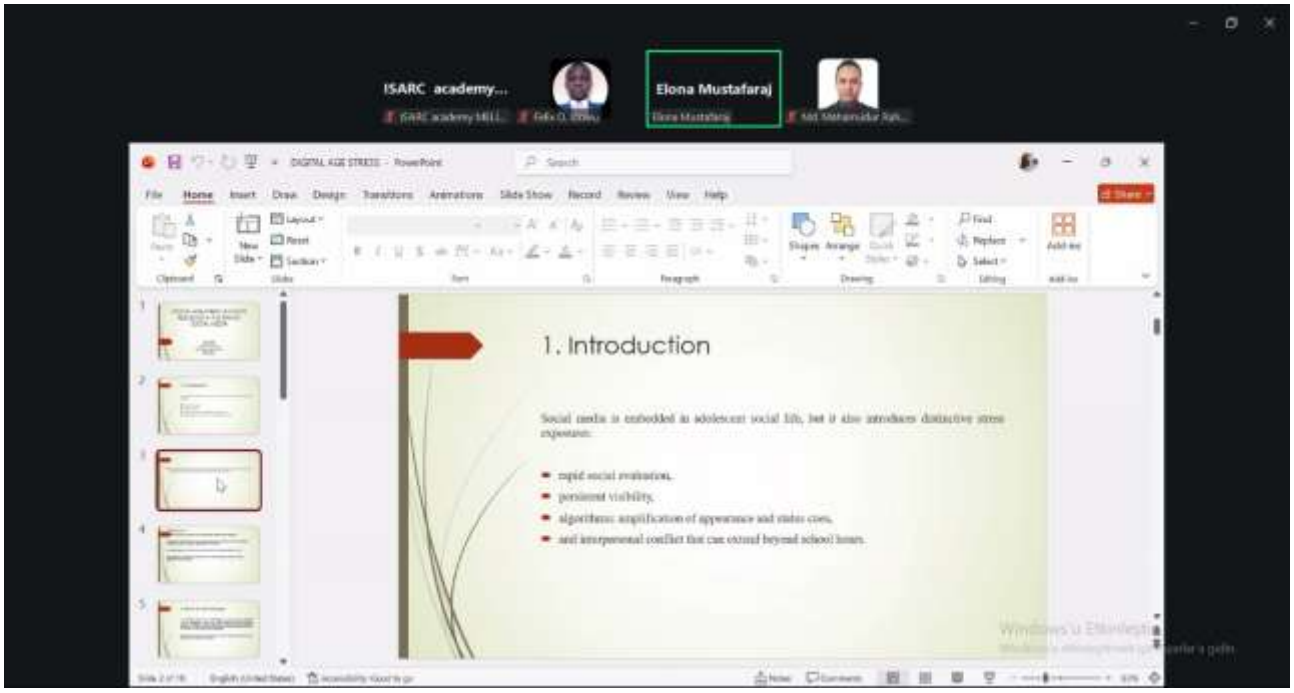
Moderator is responsible for ensuring the smooth running of the presentation, managing the group discussion and dynamics

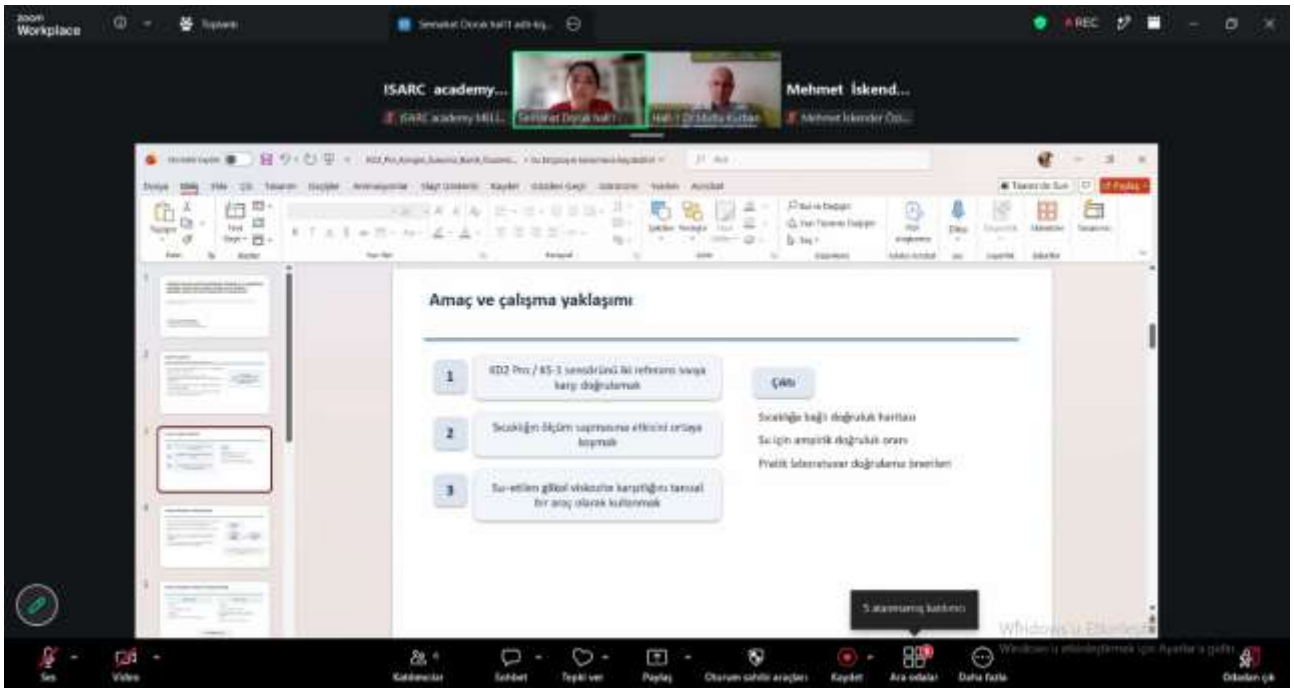
PHOTO GALLERY

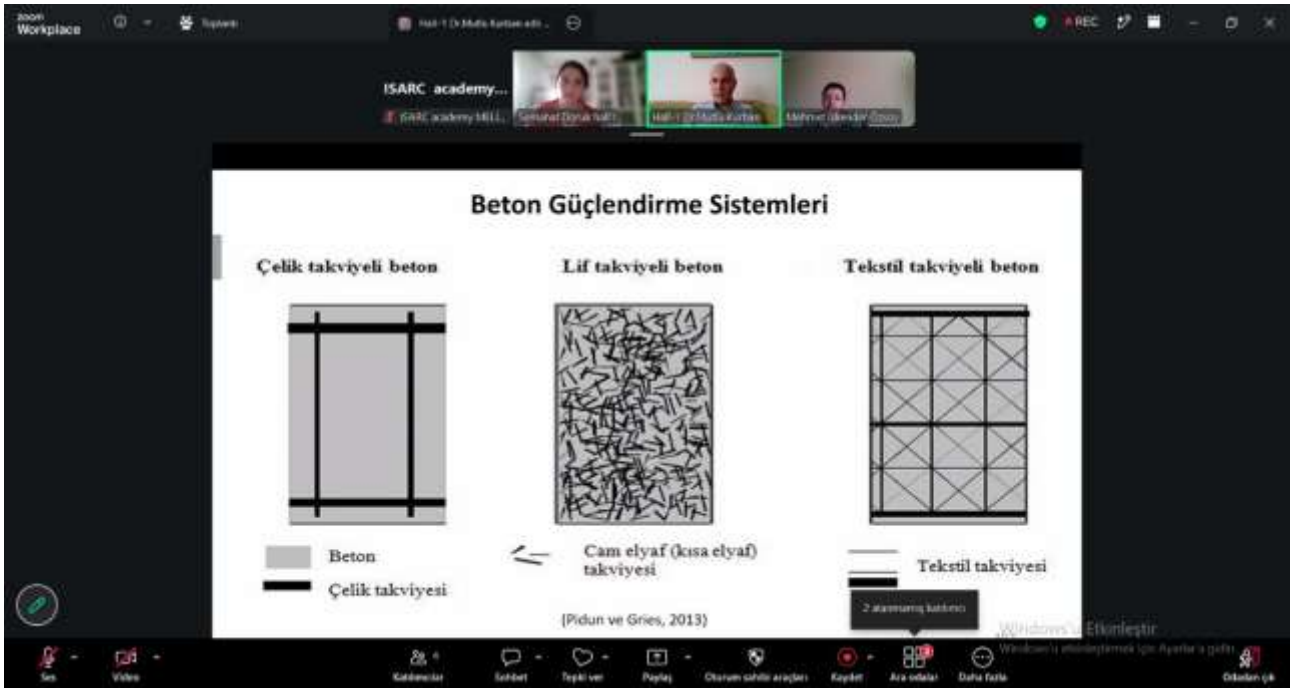


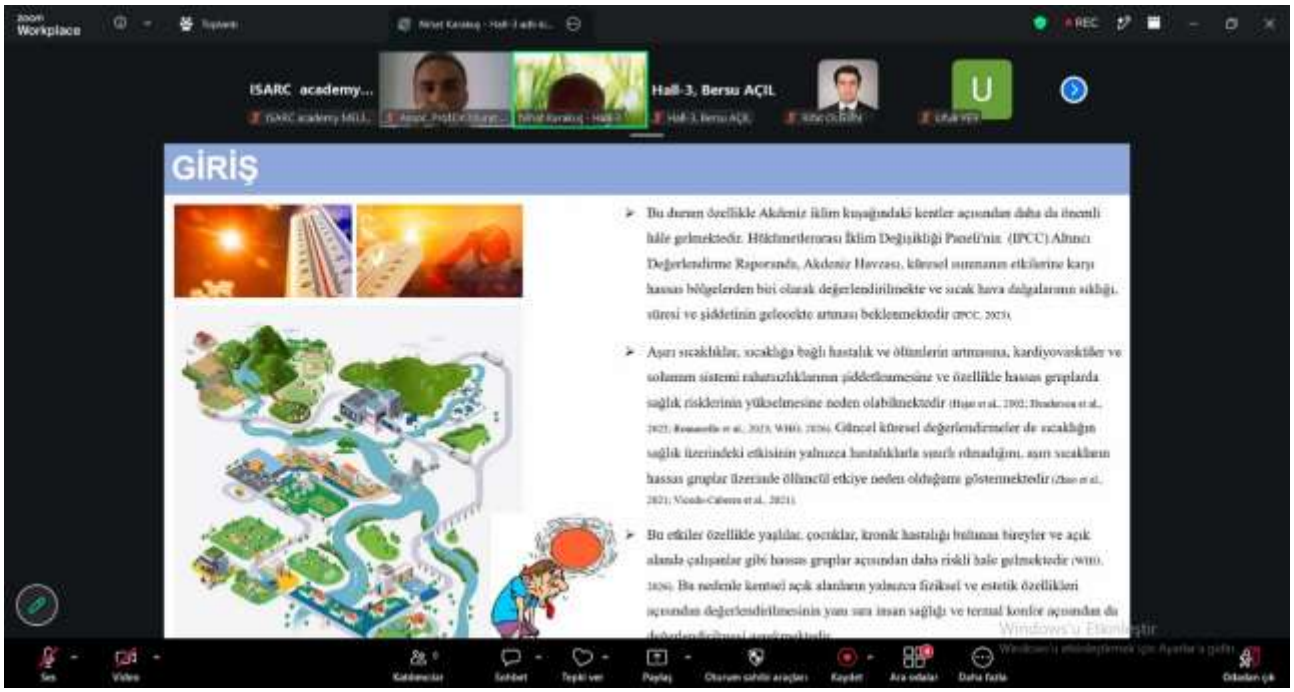

Workplace
REC paused
ISARC academy...
INTRODUCTION / BACKGROUND
Why Indoor Air Quality Matters
• Student hostels support living, learning and academic activities.
• Good IAQ contributes to health, comfort and concentration.
• Many hostel environments experience poor ventilation and overcrowding.
• Excessive heat, dust and limited greenery can worsen indoor conditions.
Building + Landscape + Ventilation = Better Indoor Environment
INTEGRATED ENVIRONMENTAL APPROACH
BUILDING DESIGN
LANDSCAPE DESIGN
INDOOR AIR QUALITY
Orientation • Openings • Courtyard • Vegetation • Shade
Windows'u Etkinleştir

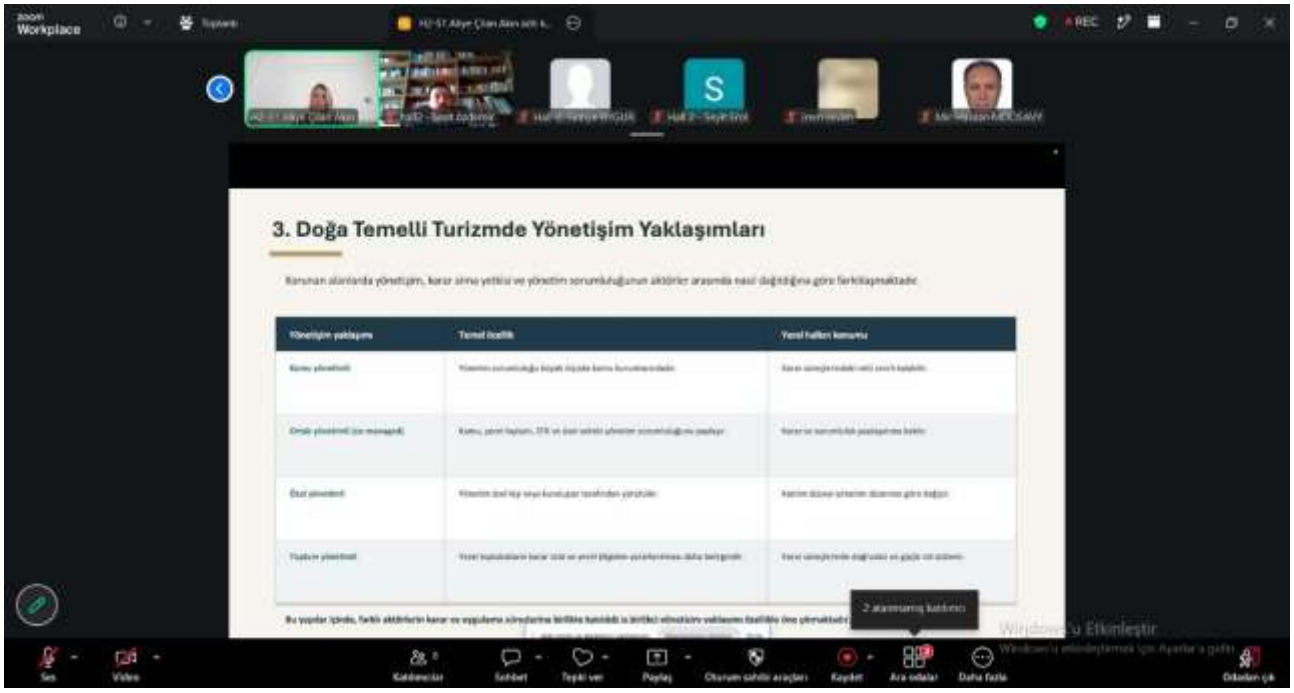

Workplace
REC paused
ISARC academy...
Gabrijel Ondrasek
EVALUATION OF HEAVY METALS AND THEIR HEALTH RISK ASSESSMENT IN FLUTED PUMPKIN (Telfairia Occidentalis) LEAF WITHIN MOKWA TOWNSHIP MARKET
By
Idris Mohammed Aliyu
Basic Science Department, College of Agriculture P.M.B 109, Mokwa, Niger State
INTRODUCTION
Fluted pumpkin (Telfairia occidentalis) is a widely consumed leafy vegetables in Nigeria, which have been reported from several sources to rich in proteins, vitamins, minerals, and antioxidants, making it an essential component of local diets (Dada et al., 2021).
Windows'u Etkinleştir


ISARC academy...
Elona Mustafaraj
1. Introduction
rapid social evaluation,
persistent visibility,
algorithmic amplification of appearance and status cues,
and interpersonal conflict that can extend beyond school hours.

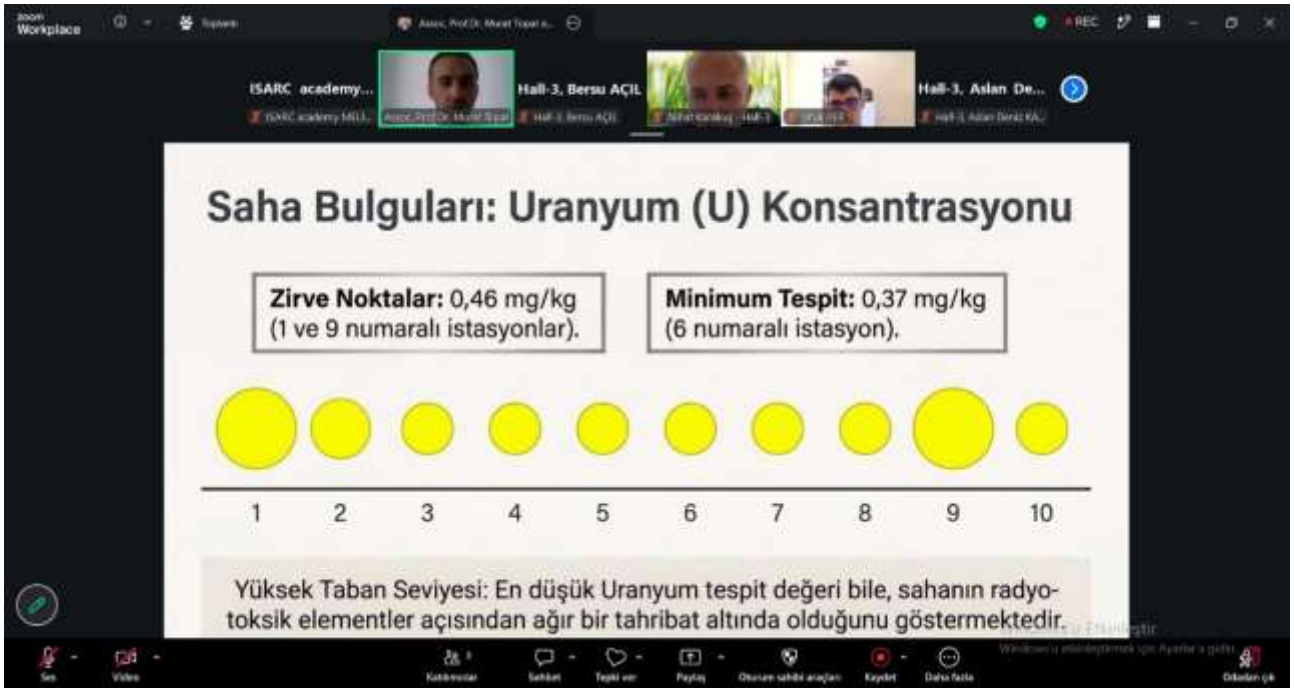

zoom Workplace
ISARC academy...
Mehmet İskend...
Amaç ve çalışma yaklaşımı
1
2
3
ÇIKTI


Beton Güçlendirme Sistemleri
Çelik takviyeli beton
Lif takviyeli beton
Tekstil takviyeli beton
Beton
Çelik takviyesi
Cam elyaf (kısa elyaf) takviyesi
Tekstil takviyesi
(Pidun ve Gries, 2013)


GİRİŞ
Bu durum özellikle Akdeniz iklim kuşağındaki kentler açısından daha da önemli hâle gelmektedir.
Aşırı sıcaklıklar, sıcaklığa bağlı hastalık ve ölümlerin artmasına, kardiyovasküler ve solunum sistemi rahatsızlıklarının şiddetlenmesine ve özellikle hassas gruplarda sağlık risklerinin yükselmesine neden olabilmektedir
Bu etkiler özellikle yaşlılar, çocuklar, kronik hastalığı bulunan bireyler ve açık alanda çalışanlar gibi hassas gruplar açısından daha riskli hale gelmektedir

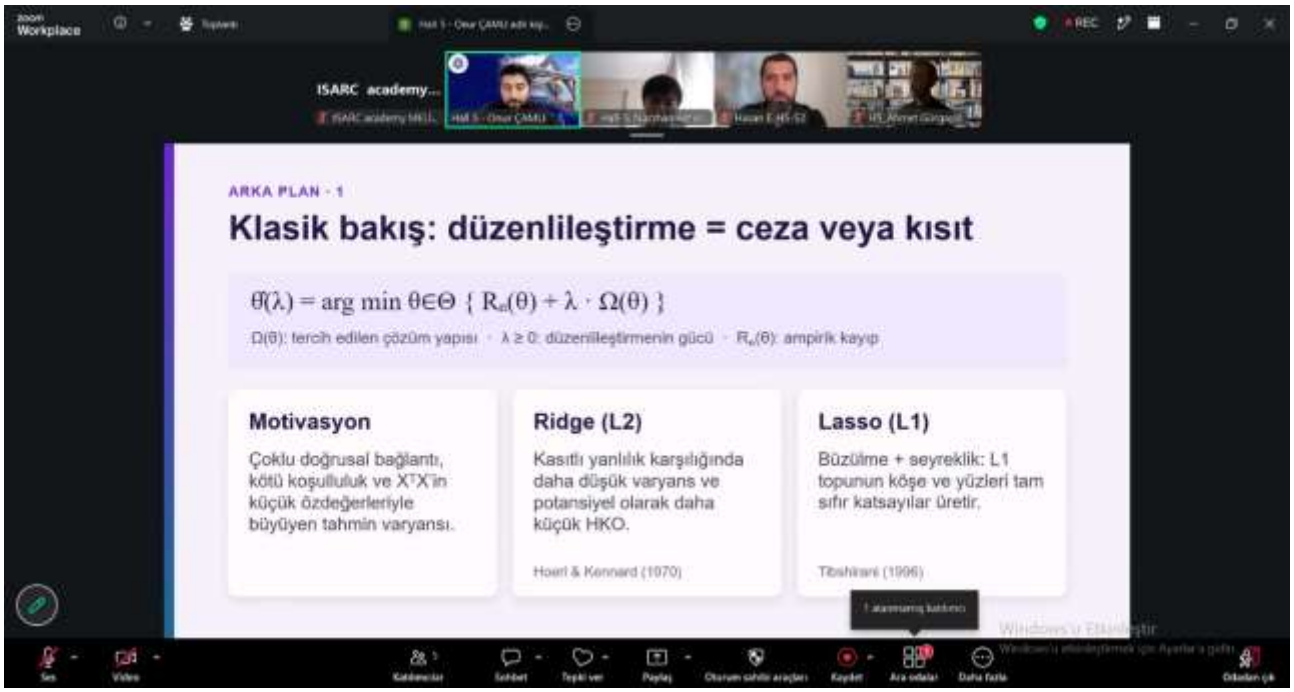

3. Doğa Temelli Turizmde Yönetişim Yaklaşımları

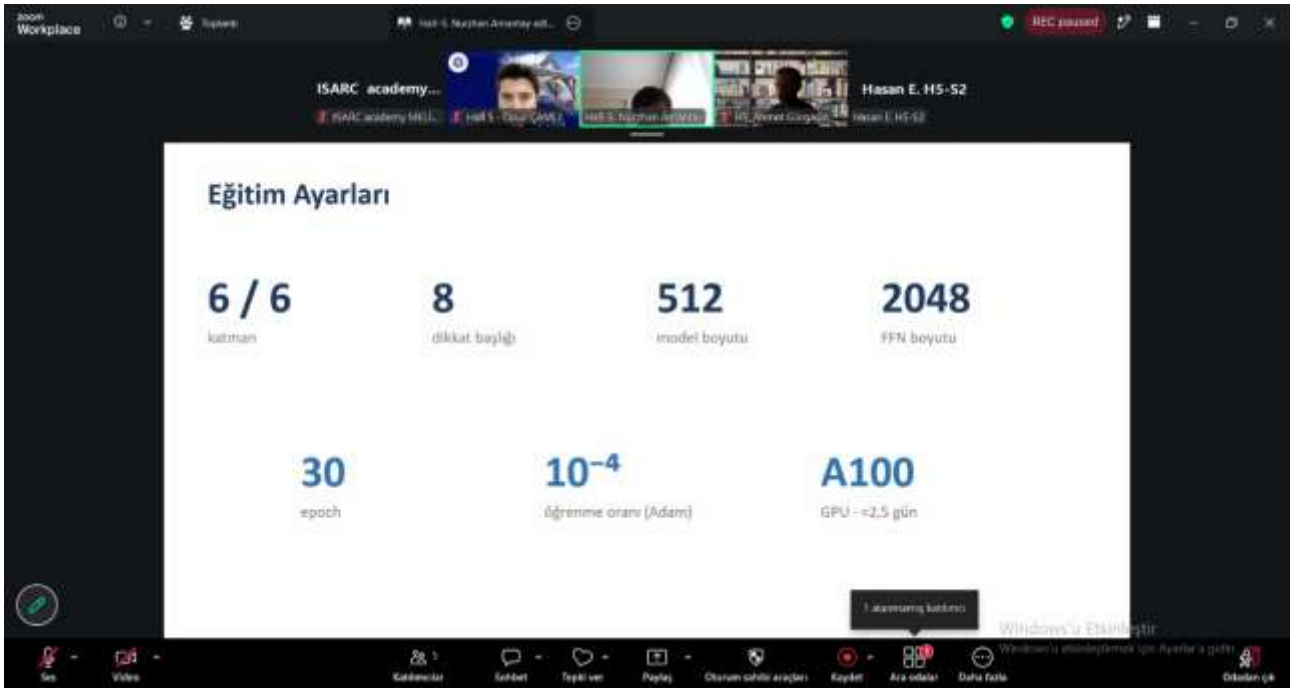
ISARC academy...
Erken postoperatif seyir
• postoperatif 2 gün yoğun bakım
• Oral sıvı alımına ikinci gün; genel durumu stabil seyretti.
• Pankreatikojejunostomi kaçağı, safra veya şilöz kaçak, kanama ve gecikmiş mide boşalması görülmedi.
• Cerrahi alan enfeksiyonu, relaparotomi gereksinimi veya tedavi gerektiren diyare gelişmedi.
• Postoperatif 7. günde taburcu
• taburculukta total bilirubin 2,95 mg/dL idi.
• Sunum metninin hazırlandığı postoperatif dördüncü ayda hasta hayatta
• The patient remained in intensive care for 2 postoperative days.
• Oral liquids were started on day 2, and his clinical condition remained stable.
• No pancreaticojejunostomy leak, bile or chyle leak, hemorrhage, or delayed gastric emptying occurred.
• There was no surgical site infection, need for relaparotomy, or diarrhea requiring treatment.
• He was discharged on postoperative day 7; total bilirubin at discharge was 2.95 mg/dL.
• At four months after surgery, when the case report was prepared, the patient was alive.

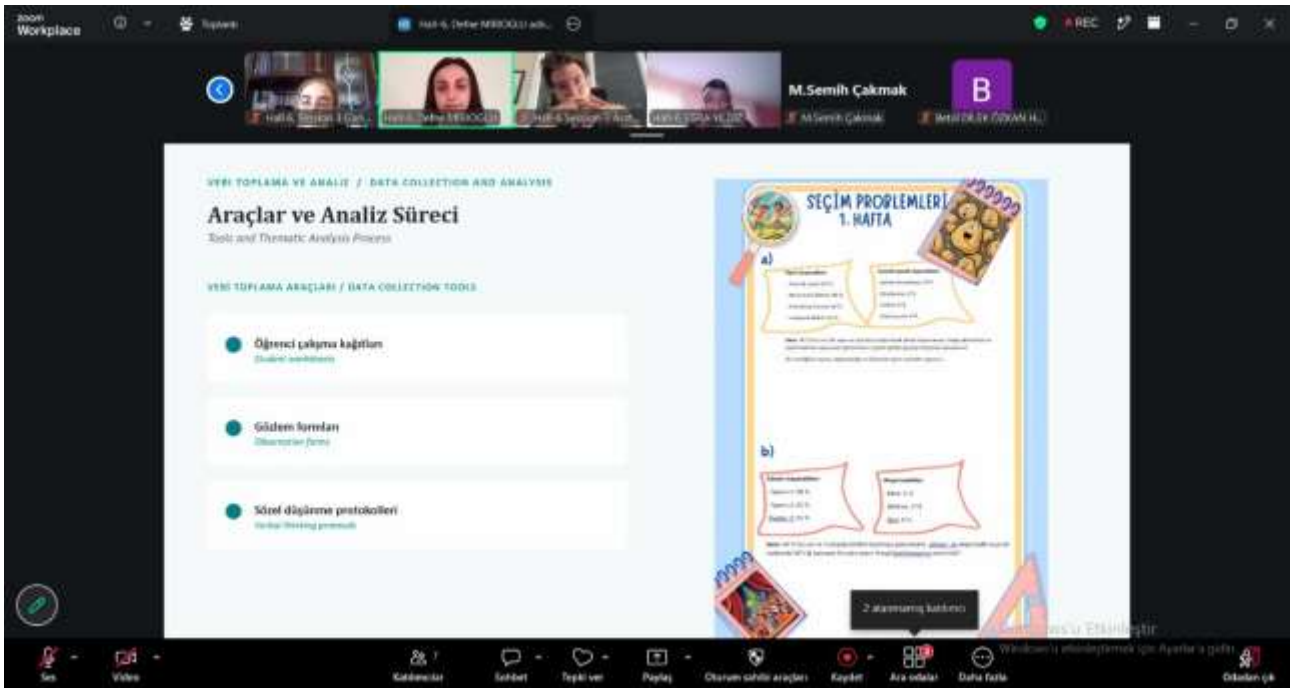

ISARC academy...
Hall-3, Bersu AÇIL
Hall-3, Aslan De...
Saha Bulguları: Uranyum (U) Konsantrasyonu
Zirve Noktalar: 0,46 mg/kg
(1 ve 9 numaralı istasyonlar).
Minimum Tespit: 0,37 mg/kg
(6 numaralı istasyon).
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10
Yüksek Taban Seviyesi: En düşük Uranyum tespit değeri bile, sahanın radyo-
toksik elementler açısından ağır bir tahribat altında olduğunu göstermektedir.

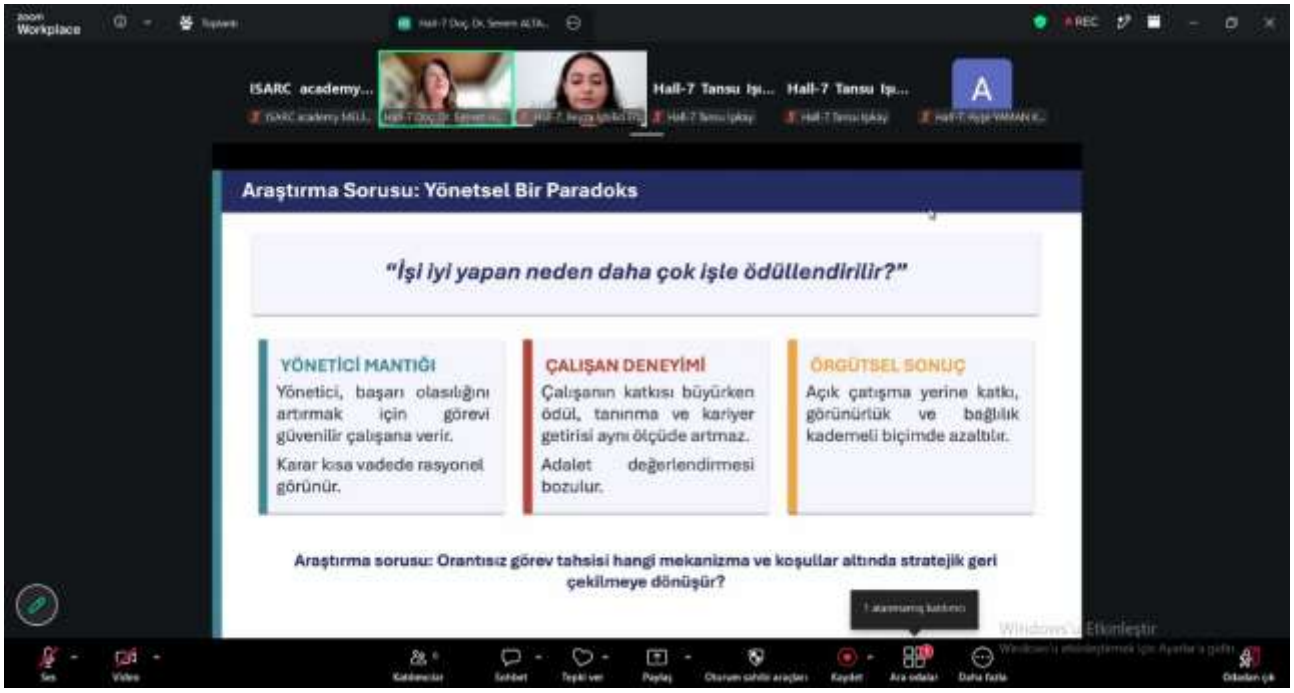
ISARC academy...
Enerji İhtiyacı ve Güneş Enerjisi
Dünya nüfusu ve sanayileşme ile enerji talebi hızla artmaktadır.
Fosil yakıtlar sınırlı, çevresel etkileri büyük ve sürdürülebilir değildir.
Güneş enerjisi, temiz, yenilenebilir ve sınırsız bir enerji kaynağıdır.

ISARC academy...
PROBLEM · THE PROBLEM
Her yeni pazar bir yazılım projesi
Every new market was a software project
~3
ay · months
yurt içi ön yüz
domestic storefront
~6
ay · months
yurt dışı ön yüz
international storefront
12–18
ay · months
toplam açılış
total launch
yok
none
sağdan sola dil
right-to-left support


ISARC academy...
ARKA PLAN · 1
Klasik bakış: düzenlileştirme = ceza veya kısıt
$\theta(\lambda) = \arg\min_{\theta \in \Theta} \{ R_n(\theta) + \lambda \cdot \Omega(\theta) \}$
Ω(θ): tercih edilen çözüm yapısı · λ ≥ 0: düzenileştirmenin gücü · $R_n(\theta)$: ampirik kayıp
Motivasyon
Çoklu doğrusal bağlantı, kötü koşulluluk ve X^TX'in küçük özdeğerleriyle büyüyen tahmin varyansı.
Ridge (L2)
Kasıtlı yanlılık karşılığında daha düşük varyans ve potansiyel olarak daha küçük HKO.
Hoerl & Kennard (1970)
Lasso (L1)
Büzülme + seyreklik: L1 topunun köşe ve yüzleri tam sıfır katsayılar üretir.
Tibshirani (1996)


Workplace
ISARC academy...
Hasan E. H5-S2
Eğitim Ayarları
6 / 6
katman
8
dikkat başlığı
512
model boyutu
2048
FFN boyutu
30
epoch
10^{-4}
öğrenme oranı (Adam)
A100
GPU - ~2,5 gün


Workplace
M.Semih Çakmak
VERİ TOPLAMA VE ANALİZ / DATA COLLECTION AND ANALYSIS
Araçlar ve Analiz Süreci
Tools and Thematic Analysis Process
VERİ TOPLAMA ARAÇLARI / DATA COLLECTION TOOLS
Öğrenci çalışma kağıtları
Gözlem formları
Sözel düşünme protokolleri
SEÇİM PROBLEMLERİ
1. HAFTA


Workplace
ISARC academy...
Hall-7 Tanıtı Işı...
Hall-7 Tanıtı Işı...
Araştırma Sorusu: Yönetsel Bir Paradoks
"İşi iyi yapan neden daha çok işle ödüllendirilir?"
YÖNETİCİ MANTIĞI
Yönetici, başarı olasılığını artırmak için görevi güvenilir çalışana verir.
Karar kısa vadede rasyonel görünür.
ÇALIŞAN DENEYİMİ
Çalışanın katkısı büyürken ödül, tanınma ve kariyer getirisi aynı ölçüde artmaz.
Adalet değerlendirmesi bozulur.
ÖRGÜTSEL SONUÇ
Açık çatışma yerine katkı, görünürlük ve bağlılık kademeli biçimde azaltılır.
Araştırma sorusu: Orantısız görev tahsisi hangi mekanizma ve koşullar altında stratejik geri çekilmeye dönüşür?

Workplace
ISARC academy...
Hall-7 Tanıtı Işı...
Hall-7 Tanıtı Işı...
KARŞILAŞTIRMALI HUKUK: DÜNYA UYGULAMALARI

INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

KONU: Kongre Katılımcı Bilgisi **08.10.2026**

İLGİLİ MAKAMA

3.ULUSLARARASI BEYKOZ BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR KONGRESİ 26-27 EYLÜL 2026 tarihleri arasında İSTANBUL ‘da online olarak 22 farklı ülkeden (Türkiye:42 ve diğer Ülkeler:47 Toplam:89 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-XXI
PHOTO GALLERY	XXII-XXX
ACADEMIC INCENTIVE	XXXI
CONTENT	XXXII-XXXVI

AUTHORS	TITLE	NO
Assist. Prof. Dr. Semahat DORUK Assist. Prof. Dr. Başak VARLI BİNGÖL	Synthesıs Of Pu-Shelled N-Nonadecane Phase Change Nanocapsules By Interfacıal Polymerısatıon And Theır Characterısatıon In Bıtumen	1-10
Assist. Prof. Dr. Semahat DORUK Assist. Prof. Dr. Başak VARLI BİNGÖL	Temperature- And Vıscosıty-Dependent Trueness Of A Commercıal Transıent Lıne-Source Thermal-Conductıvıty Sensor: A Reference-Fluıd Study Wıth Water And Ethylene Glycol	11-19
Dr. Mutlu KURBAN	Comparatıve Investıgatıon Of Mechanıcal Performance And Strength Behavıor In Basalt And Carbon Fıber Reınforced Concrete	20-31
Güney KARAKUŞ Arda Batın SUIÇMEZ Mustafa Özgür BORA Sinan FİDAN Satılmış ÜRGÜN Mehmet İskender ÖZSOY	Effect Of Raster Angle And Infıll Ratıo On The Mechanıcal Behavıor Of Tensıle Specımens Of Glass Fıber Reınforced Polypropylene Fılaments By Fdm Method	32-42
Furkan ÜNAL Mustafa KÜDÜR Sinan FİDAN Mustafa Özgür BORA Satılmış ÜRGÜN Mehmet İskender ÖZSOY	Production and Characterization of Conductive Lines from Micron-Sized Copper Powders on PMMA Surfaces by Fiber Laser Sintering Method Under Protective Argon Atmosphere	43-55
Uzm. Dr. Ümit ÖZDEMİR	Trıangle Dissectıon For Pancreatıc Cancer: Oncologıcal Radıcalıty And Surgıcal Safety In An Inıtıal Experıence – Case Report	56-64
Seyit EROL	Structural Mrı Evaluatıon Of The Associatıon Between Behavıoral Actıvatıon System Dımensıons And Strıatal Volumes In Healthy Young Adults	65-66
Assist. Prof. Dr.Adnan AKIN Prof. Dr. Aliye ÇİLAN AKIN	Local Participation And Governance In Nature-Based Tourism	67-76
Assist. Prof. Dr. Nilay İŞİTEZ Prof. Dr. Sevim Feyza ERDOĞMUŞ	Evaluatıon Of The Effects Of Tanshınone Iıa On Wound Healıng And TGF-β Levels In Human Dermal Fıbroblasts	77-86
İrem SEVİM EKİCİ Prof. Dr. Ayşe ERGÜN	Rısky Health Behavıors And Mental Well-Beıng Among Young People	87-88
Sadiye Uygur Mehmet TÜRKER	Investigation Of The Effects Of Quercetin On Inflammation İn An Experimental Model Of Alzheimer's Disease	89-90
Prof. Dr. Mir-Hassan MOOSAVY	Foodborne Dısease Outbreaks And Publıc Health: Strengthenıng Surveıllance, Epıdemıological Investıgatıon, And Preventıon	91-102
Lect. Dr. Nihat KARAKUŞ	Determınatıon And Gıs-Based Mappıng Of Bıoclımatıc Comfort Condıtıons In Aksu Dıstrıct	103-113
Lect. Dr. Nihat KARAKUŞ Assoc. Prof. Dr. Rifat OLGUN Lect. Dr. Emine KAHRAMAN	Wudapt And Gıs-Based Mappıng And Evaluatıon Of Local Clımate Zones In Antalya Cıty Center	114-125

Ufuk YER Assoc. Prof. Dr. Seda FANDAKLI Dr. Mesut NAMLI Lect. Deniz CANBOLAT GÜLTEKİN Dr. Ahmet İsmail ÖZKAN Prof. Dr. Nevzat BATAN	Analysıs Of The Phytochemıcal Compositıon And Bıologıcal Actıvıtıes Of Extracts From Marchantia Polymorpha, Conocephalum Conicum And Plagiochila Porelloides	126-136
Assoc. Prof. Dr. Murat TOPAL Emine Işıl ARSLAN TOPAL Erdal ÖBEK Prof. Dr.Erdal ÇELİK	Investıgatıon Of Bısmuth And Uranıum In Grapevıne Leaves Exposed To Mıne Gallery Waters	137-143
Assoc. Prof. Dr. Murat TOPAL Emine Işıl ARSLAN TOPAL Erdal ÖBEK Prof. Dr.Erdal ÇELİK	Investıgatıon Of Molybdenum And Strontıum In Tomatoes Grown In An Area Contamınated By Munıcıpal Wastewater Treatment Plant Effluent	144-151
Bersu AÇIL Nuri Serdar GÜNDOĞAN Ceyda KAÇMAZ GÜMÜŞ	Optımızatıon Of Wheat Blend For Baklava Flour	152-153
Res. Assist.Onur ARSLAN	The Effects Of Energy Transition And Supply Risks On Business Continuity İn Aviation	154-155
Res. Assist.Onur ARSLAN	The Impact Of The Space Economy On Operational Continuity And Risk Management İn Civil Aviation	156-157
Osman ECEOĞLU, PhD	Effect of Obstacle Detection Range and System Latency on Safe Operating Speed in Autonomous Agricultural Machinery: A Parametric Preliminary Analysis	158-167
Assist. Prof. Dr. Keziban YALÇIN DOKUMACI Tahir Abakar MAHAMAT	Turn Compensatıon Technologıes In Planter And Sprayıng Machınery	168-190
Aylin ARSLAN	Configuratıon-Drıven Automatıon Of E-Commerce Sıte Launch In Multı-Country Retaıl Operatıons: An Industrıal Experıence Report	191-198
Assist. Prof. Dr. Samed ÇETİNKAYA	Development Of Next-Generatıon, Low-Cost, And Envıronmentally Frıendly Solar Cell Absorber Materıals	199-200
Nurzhan AMANTAY Assoc. Prof. Dr. Yasin ORTAKCI	Machıne Translatıon Usıng Transformers For Turkısh To Russıan	201-213
Ahmet GÜRGAŞİN	Segmentatıon Of Purchasıng Behavıor Usıng Unsupervısed Learnıng Methods And Analysıs Of Fundamental Components	214-222
Ahmet GÜRGAŞİN	Unıt Prıce Forecastıng Usıng Gauss Process Regressıon And Xgboost Methods	223-230
Assist. Prof. Dr. Onur ÇAMLI	Beyond Penalty Terms: A Solutıon-Selectıon Perspectıve On Regularızatıon From Classıcal Statıstıcs To Modern Machıne Learnıng	231-240
Lect. Dr. Hasan ERYÜRÜK Lect. Fatma TOPUZ ERYÜRÜK	The Limits Of Algorithmic Complexity İn Public Energy Planning: A Comparison Of Electricity Demand Forecasts	241-250
Lect. Dr. Hasan ERYÜRÜK Lect. Fatma TOPUZ ERYÜRÜK	Numerical Reliability İn Policy Briefs: An Experimental Test Of AI Supported By Data Access	251-261
Defne MİRİOĞLU Prof. Dr. Bahar UYAR DÜLDÜL	An Investıgatıon Into Unıversal Desıgn For Learnıng And Artıfıcıal Intellıgence Support In The Non-Routıne Choıce Problem-Solvıng Process Of Students Dıagnosed Wıth Specıfıc Learnıng Dısabılıtıes	262-263
Mahmut Semih ÇAKMAK , Şehir Plancısı	An Indıvıdualızed Instructıonal Model For Teachıng Urban Lıteracy And Safe-Space Skılls To Indıvıduals Wıth Intellectual Dısabılıtıes: The Case Of The Kogem Project	264-277
Betül DİLEK ÖZKAN Prof. Dr. Gül KALELİ YILMAZ	Studıes On Teachers' And Pre-Servıce Teachers' Vıews On Dıstance Mathematıcs Teachıng: A Revıew	278-289
Dr. Qəribova Arifə Hacıbaba qızı	Educatıonal Possıbılıtıes Of Musıcal Means Of Expressıon In Musıc Teachıng	290-294
Dr. Qəribova Arifə Hacıbaba qızı	Problems Of Formıng Musıcal-Aesthetıc Taste In Students	295-300

Assoc. Prof. Dr. Esra YILDIZ	The Ottoman Society's Engagement With Sīra Literature: A Social, Religious, And Institutional Reading	301-312
Assoc. Prof. Dr. Esra YILDIZ	The Genealogies Of Ottoman ʿulamāʾ	313-323
Asst. Prof. Zafer Ali AKŞIT	Expandıng Boundarıes Of Sıte Specıfıcıty: A Comparatıve Analysıs Of Rıchard Serra's Tılted Arc And Fred Wılson's Mınıng The Museum	324-325
Lect. Dr. Özgül DEMİRAĞ	Assessment Of Damage And Collapse Mechanısms In Hıstorıc Masonry Brıdges Under Seısmıc Effects	326-327
Lect. Dr. Özgül DEMİRAĞ	The Effect Of Dome–Wall Interactıon On The Seısmıc Behavıor Of Hıstorıc Masonry Tombs: A Structural Assessment	328-329
Dr. Ayşe YAMAN KAPLAN Beyza İŞBİLİCİ ERDOĞAN	Strengthenıng The Constıtutıonal Posıtıon Of The Ombudsman Instıtutıon From The Perspectıve Of A New Cıvılıan Constıtutıon	330-341
Assoc. Prof. Dr. Senem ALTAN	Are Employees Who Dısclose Weakness Seen As Authentıc Or Incompetent? The Moderatıng Role Of Status And Job Securıty	342-351
Assoc. Prof. Dr. Senem ALTAN	The Penalty Of Competence: The Effects Of Dısproportıonate Task Allocatıon To Hıgh Performıng Employees On Perceıved Justıce And Strategıc Wıthdrawal	352-362
Res. Assist. Dr. Tansu IŞIKAY	Greenwashıng In The Context Of Green Marketıng: A Conceptual Evaluatıon	363-365
Arş. Gör. Dr. Tansu IŞIKAY	An Evaluatıon Of The Role Of Socıal Marketıng In Sustaınabılıty Through Türkıye's Deposıt Management System	366-368
Prof. Dr.Deilton RIBEIRO BRASIL	Clımate Educatıon And The Protectıon Of Fundamental Rıghts: Law No. 14,926/2024 And The Role Of Envıronmental Educatıon In Preventıon, Adaptatıon, And The Reductıon Of Socıo-Envıronmental Vulnerabılıtıes	369-387
Omar Phartenadze	Artificial Intelligence in Modern Criminalistics: Opportunities, Risks, and Legal Safeguards	388
Vatamanita MARIANA	Modern Forensıc Technologıes Used In The Investıgatıon Of Offences In The Constructıon Sector	389-412
Dr. Duong To Quoc THAI	The Banque De L'ındochına And The Development Of Colonıal Rıce Trade (1875-1945)	413-418
Huynh Mai Yen	Protectıon Of Personalıty Rıghts In The Age Of Generatıve Aı: Legal Challenges For Vıetnamese Cıvıl Law	419-434
Dr. Duong The HIEN	Vınh Te Canal (1819-1824) Constructıon And The Defense Strategy In Southern Vıetnam	435-440
Dr. Saliu M. R Kure Isah Danladi PhD Dr Sobowale Favour Mosunmola Daniel John	Development An'sd Valıdatıon Of Edutaınment Instructıonal Packages For Teachıng Economıcs At Senıor Secondary School In Nıgerıa	441-459
Haruna Baba, Danjuma Onuwe Julius	Improvement of Indoor Air Quality Through Integrated Landscape Design for A Sustainable Hostel Accommodation in University of Abuja.	460-471
Moses Tsamya J.O. Onuwe	An Evaluatıon Of Buıldıng Materıals Used In Idp Camp Constructıon: A Case Study Of Selected Camps In Abuja, Nıgerıa	472-486
Dr. Hamza Belkhodja	Physıcochemıcal Characterızatıon And Evaluatıon Of The Antıoxıdant Capacıty Of Polyphenolıc Extracts Of Cucumis metuliferus (KIWANO)	487-488
Dr. Chokri BAYOUDH Mrs Yassmine GHRAIRI Mrs Afifa MAJDOUB Pr. Taoufik BETTAIEB	Efficacy Of Rosemary And Thyme Essentıal Oıls On Pear (Pyrus communis L.) Explant Evolutıon On In Vıtro Establıshment Phase	489
El Houssain Marouani, Salma Ait El haj , Chaima El Haydougui , Imane Imilouane , Abdessamad	Acute Poisoning Cases in South-Eastern Morocco (2020–2025): Epidemiology, Clinical Presentation, and Therapeutic Management	490

Elmas Shaqiri, Tefta Shaqiri, Suela Tanushi, Gentian Vyshka	Clinical–Laboratory Discordance in Obstetric Malpractice: Medico-Legal Insights from Two Cases	491-492
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	493
Prof. Gabrijel ONDRASEK Asst. Prof. Jelena HORVATINEC ISAKOVIĆ	Global Metal Contamınatıon: Envıronmental Pathways, Human Health Rısks, And Sustaınable Remedıatıon	494
IBTISAM HAMEED	Immunomodulatory Effects Of Cadmıum Induced Oxıdatıve Stress In Broılers And Its Ammeıoratıon Wıth Actıvated Charcoal	495
Manoj-Kumar Arthikala , Yalpi Karthik , Pavithra Narendran	Structural and Comparative Docking Analysis of Human Gut-Derived Akkermansia muciniphila Amuc_1100 with Innate Immune Receptors	496
Idris Mohammed Aliyu Abdulwaheed Adeyemi Bello	Evaluatıon Of Heavy Metals And Theır Health Rısk Assessment In Fluted Pumpkın (Telfairia Occidentalis) Leaf Wıthın Mokwa Townshıp Market	497
DR. MUHAMMAD FAISAL	National AI Innovation, Startup and Research-to-Market Programme	498-499
Salma MAKDOUF[1], Karima El Bouqdaoui[12], Abdelhakim El Makssoudi[3], Mounia Cherki[1]	Comparative Study of the Phytochemical Composition of Fumaria parviflora from Casablanca, El Jadida and Khouribga of Morocco	500
Pulinati Yathiswar Reddy Mr. SWAMI NATHAN PRABHU RAM MUDALIYAR	To What Extnt Is The Adoptıon Of Artıcıcıal Intellıgence Transformıng Employment Opportunıtıes , Wages ,Inequalıty And Sıll Requırements In Inda ?	501-502
Muhammad Rizwan , Sahar G. Tawfik , Ali El-Rayyes , Lamia Abu El Maati , Hussain Sawwan , Eman Alzahrani , Hala M. Abo-Dief , Reda A. Haggam	Fabrication Of Graphitic Carbon Nitride-Decorated $BaAl_2O_4$ Nanocomposite For High- Performance Asymetric Supercapacitor	503
Muhammad Ibrahim * , Ummy Rubab, Irfa Sakandar	Rational Design and Biological Evaluation of Indole-3-Butyric Acid-Derived Hydrazones: Integrated Experimental and Computational Investigations	504
El Mahdi Bouabdalli, Mohamed El Jouad , Samira Touhtouh, Fouad Belhora, Nathalie Gaumer , El Kebir Hlil , Abdelowahed Hajjaji	Multiphysics–Judd–Ofelt Engineering Of High-Efficiency Red Luminescence İn Eu^{3+}-Doped Silicophosphate Sol–Gel Glasses	505-506
El Mahdi Bouabdalli , Mohamed El Jouad , Samira Touhtouh, Ilyass El kadmiri, Nathalie Gaumer , Mostapha Siniti , Abdelowahed Hajjaji	Structure–Property Correlations İn Eu 3+ -Doped Strontium Phosphate Glasses For Photonic And Photovoltaic Applications	507-508
Ramavath Bhargavi Dr.P.C.Praveen Kumar Dr. J. Salai Thillai Thilagam	Measurement and Analysis of S-Parameters of a Microstrip Transmission Line Using Smith Chart	509
ALAGBU OGOCHUKWU PHILOMINA	Sensory Attrıbutes And Proxımate Composıtıon Of Wheat-Unrıpe Plantaın Cake	510
Sulaiman Tunbosun WAHAB Mukaila Abiodun YISA Oriola Olatunji FADAIRO	Explorıng Sustaınable And Innovatıve Pedagogıes In Motor Vehıcle Mechanıcs Work Trade: A Study Of Technıcal Colleges In Oyo State	511
Felix Oluremi IDOWU Dr Oluwaseun OYEWOLE	The Economıcs Of Teacher Readıness In The Age Of Artıfıcıal Intellıgence: Dıgıtal Competence, Employabılıty And Productıvıty Among Pre-Servıce Teachers	512
Assist. Prof. Dr. Gela Sandodze	Drınkıng Water Challenges And The Current State In Georgıa	513-519
M. Fathrezza Imani Hendri Hermawan Adi Nugraha	Collaborative Governance İn Building The Halal Industry Ecosystem : Evidence From Central Java, Indonesia	520-533
Vakhtang Nanitashvili	Irrigation Of Strategic Cultures The İmproved Irrigation Unit Of Positional Action	534

Favour C. Uroko (Ph.D) Esias Meyers (Ph.D)	'Life without Principle': Retribution in Proverbs 2:10 -15 and youth cultists in Benue State, Nigeria	535
AHMED ABDULLAHI BARKUTA	Integratıng Technology-Assısted Instructıon For Students Wıth Learnıng Dısabılıtıes: A Pathway To Inclusıve And Effectıve Educatıon In Nıgerıa	536-547
AHMED ABDULLAHI BARKUTA AMINU GARBA (Ph.D)	Integratıng Technology-Assısted Instructıon For Students Wıth Learnıng Dısabılıtıes: A Pathway To Inclusıve And Effectıve Educatıon In Nıgerıa	548
Elona MUSTAFARAJ Msc Ass. Prof. Dr. Fleura Shkëmbi Dr. Silva IBRAHIMI PhD	Dıgıtal Age Stress: Buıldıng Resılıence In The Era Of Socıal Medıa	549-557
Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti Prof. Dr. Muhammad Asad Ghufran Ar. Saira Naeem Ar. Madiha Ghafoor	Impact Of Role Ambıguıty And Role Conflıct On Project Success Wıth Moderatıng Role Of Top Management Support In Constructıon Industry Projects Of Pakıstan	558
Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti, Prof. Dr. M. Asad Ghufran, Prof. Dr. Atta Ullah Shah,	Transformıng Adversıty Into Opportunıty: Assessıng User Satısfactıon In Hospıtal Transformatıon In Lıeu Of A Pandemıc Through The Multı Corrıdor Expansıon Model For Epıdemıc Management And Envıronmental Desıgn Enhancement	559
Roxana Moisoiu	Artificial Intelligence and International Data Protection Law: Challenges,Risks and Perspectives for the Protection of Personal Data	560
Moses Adeolu AGOI Olawale Adejumo OSUNLOYE Olayemi Grace ABIMBOLA Rasheed Olatunde AJETUNMOBI	Quantum Computıng And Integrated Scıence Pedagogy: Developıng Computatıonal Thınkıng In The Era Of Post-Classıcal Computıng	561-572
Dr. Md. Mahamudur Rahman Papon , Dr. Nilima Islam , Md. Golam Rasul , Mohammad Rashe ,Dun Nabi , Md. Sarwath Hussain Bhuiyan , Fahad Rahul	Evaluation Of Renewable Energy Pathways For Bangladesh Based On A Multi-Dimensional Analysis Of Institutional Energy Demand Vis-À-Vis Socio-Economic Indicators And Income Level	573-591
Muratcan IŞILDAK	Identity Documentation, Citizenship, and Minority Rights in the EU Integration Process: A Comparative Perspective from the Western Balkans	592-604

SYNTHESIS OF PU-SHELLED *n*-NONADECANE PHASE CHANGE NANOCAPSULES BY INTERFACIAL POLYMERISATION AND THEIR CHARACTERISATION IN BITUMEN

Assist. Prof. Dr. Semahat DORUK
Çankırı Karatekin University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, 18100 Çankırı, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-8476-2544
sbarlak@karatekin.edu.tr
Assist. Prof. Dr. Başak VARLİ BİNGÖL
Çankırı Karatekin University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, 18100 Çankırı, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-7934-7482
basakvarlibingol@karatekin.edu.tr

ABSTRACT

Phase change materials (PCMs) store latent heat within a narrow temperature interval and are therefore of interest for regulating the thermal response of flexible pavements, where the loss of binder viscosity at elevated temperatures leads to permanent deformation. The direct use of PCMs is nevertheless restricted by leakage, low mechanical strength and insufficient thermal stability, which makes encapsulation of the core material necessary. In this study, PCM nanocapsules with a polyurethane (PU) shell and an *n*-nonadecane core were synthesised by interfacial polymerisation and added to neat bitumen at 1%, 3% and 5% by weight. The morphology of the capsules was examined by scanning electron microscopy (SEM), their chemical structure by Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), their phase change behaviour by differential scanning calorimetry (DSC) and their thermal stability by thermogravimetric analysis (TGA). SEM images showed approximately spherical capsules with apparent diameters in the 100–300 nm range, distributed within and embedded in the bitumen matrix in the modified samples. In the FTIR spectra, the urethane N–H (3325 cm^{-1}), carbonyl C=O (1710 cm^{-1}) and ether C–O–C (1100 cm^{-1}) bands were observed together with the characteristic aliphatic and aromatic bands of bitumen, indicating incorporation without evidence of major chemical degradation. DSC revealed melting of the pure core at 34.5 °C with a latent heat of 201.5 J/g, whereas the PU capsule melted at 33.8 °C with a latent heat of 62.4 J/g, corresponding to an encapsulation efficiency of approximately 31%; no distinct melting peak was recorded for the empty PU shell. TGA of the 3% modified asphalt showed a mass loss below 0.3% up to the asphalt mixing temperature (~160 °C), with the main decomposition occurring between 420 and 480 °C. The findings show that the synthesised nanocapsules withstand asphalt production temperatures and retain their latent-heat storage capability within bitumen.

Keywords: Phase change material, nanocapsule, *n*-nonadecane, polyurethane, bitumen, interfacial polymerisation

POLİÜRETAN KABUKLU *n*-NONADEKAN FAZ DEĞİŞTİREN MADDE NANOKAPSÜLLERİNİN ARAYÜZEY POLİMERİZASYONU İLE SENTEZİ VE BİTÜM İÇİNDEKİ KARAKTERİZASYONU

ÖZET

Faz değiştiren maddeler (FDM), dar bir sıcaklık aralığında faz dönüşümü yaparak gizli ısı depoladıklarından, bağlayıcının yüksek sıcaklıkta viskozitesini yitirmesi nedeniyle kalıcı deformasyona uğrayan esnek üstyapıların termal davranışının düzenlenmesinde ilgi çekmektedir. Ancak FDM'lerin doğrudan kullanımı sızma, düşük mekanik dayanım ve yetersiz termal kararlılık nedeniyle sınırlı olup, çekirdek malzemenin kapsüllenmesini gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada, çekirdeği *n*-nonadekan ve kabuğu poliüretan (PU) olan FDM nanokapsülleri arayüzey polimerizasyonu yöntemiyle sentezlenmiş ve saf bitüme ağırlıkça %1, %3 ve %5 oranlarında ilave edilmiştir. Kapsüllerin morfolojisi taramalı elektron mikroskobu (SEM), kimyasal yapısı Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi (FTIR), faz değişim davranışı diferansiyel taramalı kalorimetri (DSC) ve termal kararlılığı termogravimetrik analiz (TGA) ile incelenmiştir. SEM görüntüleri kapsüllerin yaklaşık küresel ve 100–300 nm görünür boyut aralığında olduğunu, modifiye numunelerde ise bitüm matrisi içine gömülü biçimde dağıldığını göstermiştir. FTIR spektrumlarında üretan N–H (3325 cm^{-1}), karbonil C=O (1710 cm^{-1}) ve eter C–O–C (1100 cm^{-1}) bantlarının bitüme ait karakteristik alifatik ve aromatik bantlarla birlikte gözlenmesi, kapsüllerin belirgin bir kimyasal bozunma kanıtı olmaksızın bitüme katıldığına işaret etmiştir. DSC analizinde saf çekirdek 34,5 °C'de erimiş ve 201,5 J/g gizli ısı vermiş; PU kapsülde erime 33,8 °C'ye kaymış ve gizli ısı 62,4 J/g'ye düşmüştür. Bu değerler yaklaşık %31 kapsülleme verimine karşılık gelmekte olup, boş PU kabukta belirgin bir erime piki kaydedilmemiştir. %3 katkılı modifiye asfaltın TGA analizinde, asfalt karışım sıcaklığına (~160 °C) kadar kütle kaybı %0,3'ün altında kalmış, asıl bozunma 420–480 °C aralığında gerçekleşmiştir. Elde edilen bulgular, sentezlenen nanokapsüllerin asfalt üretim sıcaklıklarına dayanabildiğini ve gizli ısı depolama yeteneğini bitüm içinde koruduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Faz değiştiren madde, nanokapsül, *n*-nonadekan, poliüretan, bitüm, arayüzey polimerizasyonu

1. INTRODUCTION

Flexible pavements are exposed not only to traffic loads but also to environmental temperature variations. High ambient temperatures reduce the viscosity of the bituminous binder and cause

permanent deformation in the form of rutting; this decreases ride comfort, increases maintenance costs and threatens traffic safety. The continuous rise in pavement surface temperatures driven by global climate change and the urban heat island effect has increased the need for new-generation materials that can improve the thermal response of asphalt mixtures (Rahman and Wahid, 2023; Chen and Liu, 2021).

Phase change materials (PCMs) undergo a phase transition within a narrow temperature interval and thereby store latent heat, which allows them to buffer fluctuations in ambient temperature. Because latent heat storage offers a much higher energy density than sensible heat storage, PCMs are advantageous for thermal energy storage applications (Farid, Khudhair, Razack and Al-Hallaj, 2004; Sharma, Tyagi, Chen and Buddhi, 2009). PCMs are generally classified as organic, inorganic and eutectic. Organic PCMs such as paraffins and *n*-alkanes are preferred for their chemical stability and suitable phase change temperatures, whereas inorganic PCMs such as salt hydrates may suffer from supercooling and phase separation (Zhou, Zhao and Tian, 2012).

The incorporation of PCMs into bitumen increases the thermal regulation capacity of the pavement through the absorption and release of energy during temperature changes and reduces thermal stresses (Zhang, Wang and Li, 2020; Tang, Li, Zhang and Xu, 2022). Field-scale studies have revealed that PCM-modified pavements are more resistant to temperature fluctuations and can mitigate the urban heat island effect (Betancourt-Jimenez, Montoya, Haddock, Youngblood and Martinez, 2022; Guo, Cheng, Wei, Xiu and Song, 2024).

The direct use of PCMs is, by contrast, limited by leakage, low mechanical strength, chemical instability and insufficient thermal stability. In order to overcome these problems, the core material is confined within a polymeric or inorganic shell (Sarı, Alkan, Biçer, Altuntaş and Bilgin, 2014). Polymeric shells such as polyurethane protect the core from external effects, prevent leakage, improve compatibility with bitumen and provide controlled heat transfer (Cheng and Xiao, 2017).

In the majority of studies in the literature, PCMs have been used either without encapsulation or only at the microcapsule scale, and studies on bitumen modified with nanoencapsulated PCM are limited in number. The aim of this study is to synthesise PCM nanocapsules with a PU shell and an *n*-nonadecane core by interfacial polymerisation, to add them to bitumen at different contents and to characterise the resulting capsules in morphological, chemical and thermal terms. The rheological, thermal conductivity and volumetric performance of the

modified binders has been kept outside the scope of this paper and is addressed in a separate study.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials used

n-Nonadecane, whose phase change temperature lies in a suitable range, was used as the core material and polyurethane as the shell material. Neat (unmodified) bitumen was preferred as the base binder. The chemicals used in the synthesis and modification procedures were obtained from domestic suppliers.

2.2. Synthesis of the nanocapsules

The PCM nanocapsules were synthesised by interfacial polymerisation (Sarı et al., 2014; Cheng and Xiao, 2017). In the first stage, the aqueous phase was prepared by dissolving the non-ionic surfactant NP-10 in deionised water under magnetic stirring for approximately 10 min. The oil phase, consisting of *n*-nonadecane (core), toluene diisocyanate (TDI, shell precursor) and cyclohexane, was then added to the aqueous phase and an emulsion was formed by ultrasonic mixing for about 5 min. Diethylenetriamine (DETA) dissolved in deionised water was added dropwise to the emulsion, and interfacial polymerisation was continued at 60 °C and a stirring speed of 400 rpm for approximately 2 h, forming a polyurethane (PU) shell around the *n*-nonadecane core. In the final stage, the nanocapsules were washed with deionised water and dried at 40 °C for about 3 days. The synthesis route followed is shown schematically in Figure 1.

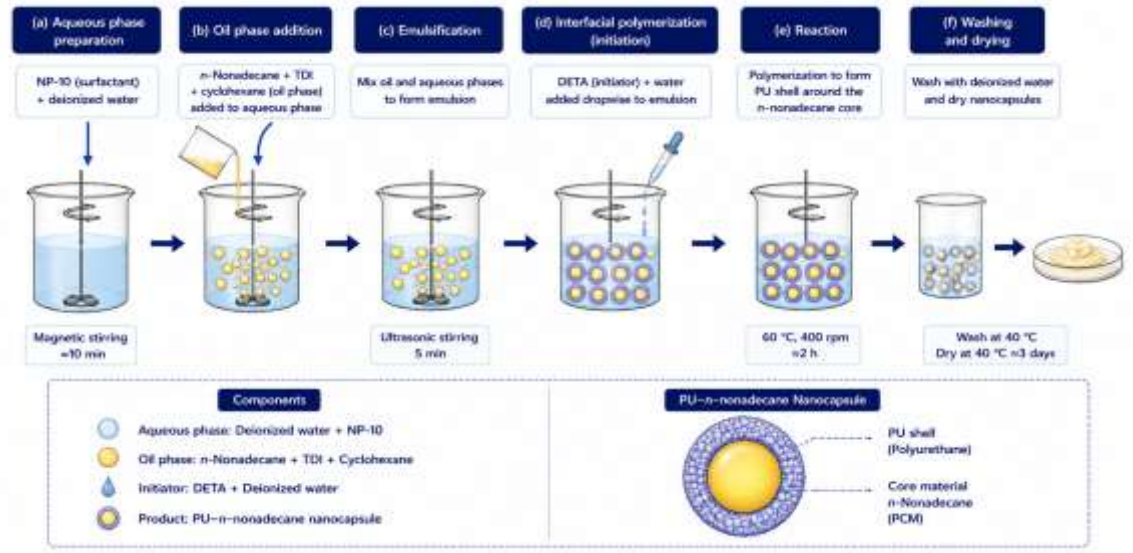


Figure 1. Schematic representation of the synthesis route of the PU–*n*-nonadecane nanocapsules

2.3. Preparation of the modified binders

Modified binders were prepared by adding the synthesised nanocapsules to neat bitumen at 1%, 3% and 5% by weight. Mixing was carried out with a high-shear mechanical mixer at approximately 100–110 °C in order to ensure a homogeneous distribution; the samples were then cooled and prepared for the analyses. For comparison, an additive-free (0%) reference sample was also prepared under the same conditions.

2.4. Characterisation methods

The distribution and morphology of the nanocapsules within the bitumen matrix were examined by scanning electron microscopy (SEM), and the chemical structure of the samples by Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR). The phase change behaviour and latent heat were evaluated by differential scanning calorimetry (DSC), and the thermal stability by thermogravimetric analysis (TGA). All FTIR, DSC and TGA analyses were conducted at the binder scale, and units are given according to the International System of Units (SI).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Morphological characterisation

Figure 2 presents SEM images of (a) the PU-PCM nanocapsules, (b) neat bitumen and (c) bitumen modified with PU-PCM. The nanocapsules (a) exhibit an approximately spherical and closely packed structure, and their apparent diameters measured from this micrograph are of the order of 100–300 nm; a quantitative particle size distribution was not determined. While neat bitumen (b) shows a relatively smooth and homogeneous fracture surface, spherical capsule particles distributed over the bitumen matrix and embedded within it are visible in the modified bitumen (c). The presence of these discrete particles only in the modified sample indicates that the nanocapsules retained their spherical morphology and were successfully incorporated into the bitumen. The structure obtained is consistent with the morphology reported in the literature for PCM capsules synthesised by interfacial polymerisation (Sarı et al., 2014; Cheng and Xiao, 2017). It should be borne in mind that the three panels in Figure 2 were taken at different magnifications.

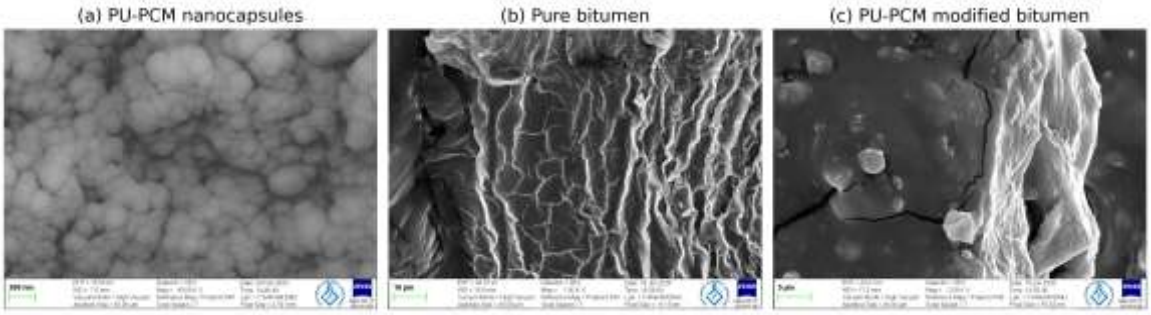


Figure 2. SEM images of (a) the PU-PCM nanocapsules, (b) neat bitumen and (c) bitumen modified with PU-PCM

3.2. Examination of the chemical structure

The FTIR spectra are given in Figure 3. Neat bitumen shows aliphatic C–H stretching bands at 2920 and 2850 cm^{-1}, the aromatic C=C band at 1600 cm^{-1} and C–H bending bands at 1455 and 1375 cm^{-1}. For the PU-PCM capsule, characteristic bands assigned to urethane N–H at 3325 cm^{-1}, carbonyl (C=O) at 1710 cm^{-1}, C–N/N–H at 1535 cm^{-1} and the C–O–C ether linkage at 1100 cm^{-1} are additionally observed. The joint presence of the characteristic bands of both bitumen and PU-PCM in the spectrum of the asphalt modified with 3% PU-PCM shows that the capsules were incorporated into the bitumen without evidence of significant chemical degradation (Tang et al., 2022). More direct evidence that the *n*-nonadecane in the core was preserved was obtained from the DSC findings presented below.

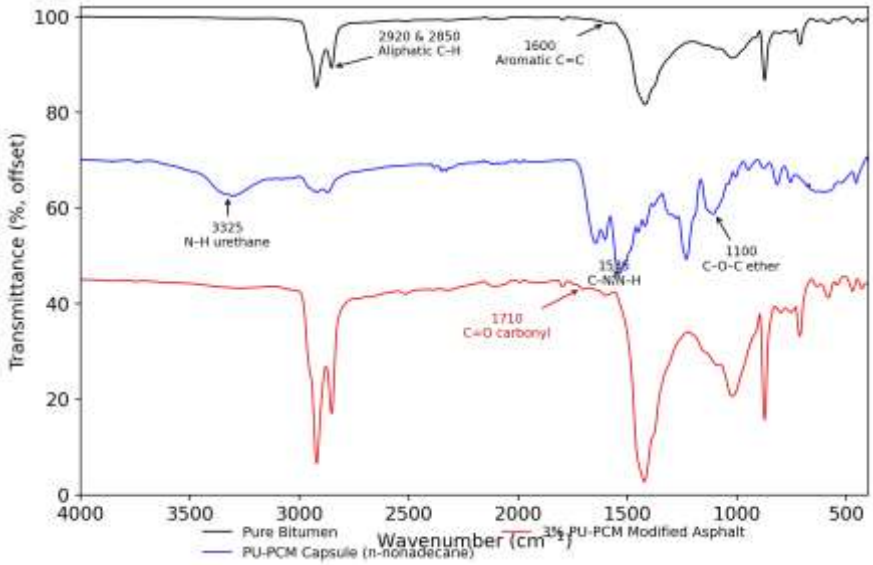


Figure 3. FTIR spectra of neat bitumen, the PU-PCM capsule and asphalt modified with 3% PU-PCM

3.3. Thermal characterisation (DSC and TGA)

The DSC heating curves of the PU-PCM nanocapsule, the pure *n*-nonadecane core and the empty polyurethane shell, together with the TGA curve of the asphalt modified with 3% PU-PCM, are presented in Figure 4. Pure *n*-nonadecane shows two endothermic transitions, a

solid–solid (rotator phase) transition at approximately 25 °C and melting at 34.5 °C, with a melting enthalpy of 201.5 J/g. The same transitions are observed for the PU-PCM nanocapsule (melting at ~33.8 °C), but the latent heat decreases to 62.4 J/g owing to the mass fraction of the polyurethane shell. On the basis of these values, the encapsulation efficiency was calculated as approximately 31%. No distinct melting peak was observed for the empty polyurethane shell. These findings are summarised in Table 1 and confirm that *n*-nonadecane was successfully encapsulated within the polyurethane shell and that the capsules retained their latent heat storage capability (Farid et al., 2004; Zhang et al., 2020).

Table 1. Phase change properties determined by DSC and the calculated encapsulation efficiency

Sample	Melting temperature, Tm (°C)	Latent heat, ΔHm (J/g)	Encapsulation efficiency (%)
n-Nonadecane, pure (core)	34.5	201.5	—
PU / *n*-nonadecane nanocapsule	33.8	62.4	≈ 31
Empty PU shell	no distinct peak	—	—

On the basis of this encapsulation efficiency, the effective latent heat storage capacity of the modified binder is predicted to be approximately 0.6, 1.9 and 3.1 J/g for additive contents of 1%, 3% and 5%, respectively (additive content × capsule enthalpy). In the TGA curve of the asphalt modified with 3% PU-PCM, the mass loss remaining below 0.3% up to ~160 °C shows that there is no significant mass loss or degradation below the asphalt mixing temperature. The main decomposition occurs in the range of ~420–480 °C, and a residue of approximately 4.7% remains at 600 °C (Sarı et al., 2014; Tang et al., 2022). This result demonstrates that the synthesised nanocapsules have sufficient thermal stability to withstand hot-mix asphalt production conditions.

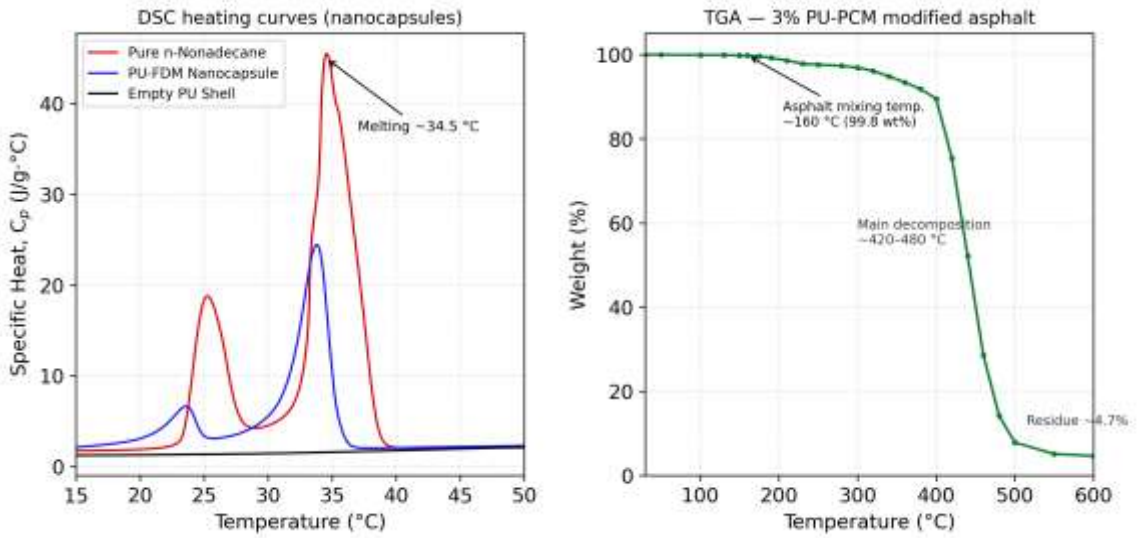


Figure 4. DSC heating curves of the nanocapsules (left) and the TGA curve of the asphalt modified with 3% PU-PCM (right)

3.4. Comparison with the literature

The melting temperature obtained (34.5 °C) and the *n*-nonadecane core are consistent with Sarı et al. (2014), who reported 31.2 °C and a latent heat of 139.2 J/g for a PMMA/*n*-nonadecane capsule. The lower capsule latent heat obtained in this study (62.4 J/g) can be explained by a heavier polyurethane shell and, accordingly, a lower core mass fraction. The fact that the capsules remain thermally stable up to ~160 °C coincides with Betancourt-Jimenez et al. (2022), who reported that microcapsules largely survived the asphalt mixing process at 140 °C. The distinguishing aspect of this study is the use of capsules at the nanoscale rather than the microscale and the verification of their presence within the bitumen matrix by combined SEM, FTIR and DSC findings.

3.5. Limitations of the study

The findings presented in this paper are limited to the synthesis and characterisation stage. A quantitative particle size distribution was not determined for the capsules, and short- and long-term ageing of the binder (RTFO/PAV) was not applied. The high- and low-temperature rheology of the modified binders, the thermal conductivity at the mixture scale and the volumetric properties are outside the scope of this paper and are addressed in a separate study.

4. CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

In this study, PCM nanocapsules with an *n*-nonadecane core and a polyurethane shell were synthesised by interfacial polymerisation and characterised after being added to neat bitumen at 1%, 3% and 5% by weight. SEM images revealed that the synthesised capsules were approximately spherical with apparent sizes in the 100–300 nm range, and that in the modified bitumen these particles were distributed in an embedded manner within the bitumen matrix.

The joint presence of the urethane N–H, carbonyl C=O and ether C–O–C bands together with the bands of bitumen in the FTIR spectra showed that the core–shell structure had formed and that the capsules were incorporated into the bitumen without significant chemical degradation. DSC analysis showed that *n*-nonadecane melted at 34.5 °C and gave a latent heat of 201.5 J/g for the pure core and 62.4 J/g for the capsule, the corresponding encapsulation efficiency being approximately 31%. The absence of a melting peak for the empty polyurethane shell confirms that the measured latent heat originates from the core material. The TGA results revealed that the asphalt modified with 3% additive is thermally stable up to the asphalt mixing temperature (~160 °C) and that the main decomposition takes place in the range of 420–480 °C.

Evaluated as a whole, it can be stated that PU-shelled *n*-nonadecane nanocapsules withstand hot-mix asphalt production conditions and retain their latent heat storage capability within bitumen. These findings indicate that bitumens modified with nanoencapsulated PCM hold promising potential for the design of flexible pavements with improved thermal comfort.

The following recommendations are proposed for further studies: (i) determination of the quantitative particle size distribution of the capsules by laser diffraction or dynamic light scattering; (ii) optimisation of the core/shell mass ratio and the surfactant concentration in order to increase the encapsulation efficiency; (iii) investigation of the thermal and rheological behaviour of the binder after RTFO and PAV ageing; (iv) determination of the high- and low-temperature rheology of the modified binders; (v) measurement of the surface temperature buffering capacity and thermal conductivity at the mixture scale; (vi) assessment of the long-term stability of the capsules under repeated heating–cooling cycles.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was supported by the Scientific Research Projects Coordination Unit (BAPK) of Çankırı Karatekin University. The authors thank the BAPK unit for the support provided.

REFERENCES

Betancourt-Jimenez, D., Montoya, M., Haddock, J., Youngblood, J. P., & Martinez, C. J. (2022). Regulating asphalt pavement temperature using microencapsulated phase change materials (PCMs). Construction and Building Materials, 350, 128924.

Chen, H., & Liu, Q. (2021). Thermal and mechanical analysis of asphalt binders modified with PCM. Journal of Materials in Civil Engineering, 33(5), 04021078.

Cheng, D., & Xiao, F. (2017). Rheological behavior of asphalt binder modified with phase change materials. Materials and Structures, 50(1), 18.

Farid, M. M., Khudhair, A. M., Razack, S. A. K., & Al-Hallaj, S. (2004). A review on phase change energy storage: Materials and applications. Energy Conversion and Management, 45(9-10), 1127-1142.

Guo, M., Cheng, X., Wei, S., Xiu, H., & Song, S. (2024). The state of the art on phase change material-modified asphalt pavement. Sustainability, 16(20), 8796.

Rahman, M. T., & Wahid, K. A. (2023). Urban heat mitigation using PCM-modified asphalt mixtures: A field case study. Journal of Cleaner Production, 410, 137234.
Sarı, A., Alkan, C., Biçer, A., Altuntaş, A., & Bilgin, C. (2014). Micro/nanoencapsulated n-nonadecane with poly(methyl methacrylate) shell for thermal energy storage. Energy Conversion and Management, 86, 614-621.
Sharma, A., Tyagi, V. V., Chen, C. R., & Buddhi, D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(2), 318-345.
Tang, S., Li, H., Zhang, K., & Xu, M. (2022). Improvement of asphalt binder performance using microencapsulated phase change materials. Construction and Building Materials, 344, 128307.
Zhang, Y., Wang, F., & Li, J. (2020). Investigation on thermal regulation of asphalt pavement using microencapsulated PCM. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 140(1), 213-224.
Zhou, D., Zhao, C. Y., & Tian, Y. (2012). Review on thermal energy storage with phase change materials (PCMs) in building applications. Applied Energy, 92, 593-605.

TİCARİ BİR GEÇİCİ HAT-KAYNAĞI ISIL İLETKENLİK SENSÖRÜNÜN DOĞRULUĞUNUN SICAKLIK VE VİSKOZİTEYE BAĞIMLILIĞI: SU VE ETİLEN GLİKOL İLE BİR REFERANS AKIŞKAN ÇALIŞMASI

Assist. Prof. Dr. Semahat DORUK
Çankırı Karatekin University, Faculty of Engineering, Department of Chemical Engineering, 18100 Çankırı, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-8476-2544
sbarlak@karatekin.edu.tr
Assist. Prof. Dr. Başak VARLİ BİNGÖL
Çankırı Karatekin University, Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering, 18100 Çankırı, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-7934-7482
basakvarlibingol@karatekin.edu.tr

ÖZET

Geçici hat-kaynağı (geçici sıcak-tel) yöntemine dayalı KD2 Pro gibi ticari sensörler, sıvıların ısıl iletkenliğinin ölçümünde yaygın olarak kullanılmakta; ancak bu cihazların doğruluğu (trueness) çoğu zaman çalışma aralığı boyunca doğrulanmak yerine üreticinin verdiği spesifikasyondan varsayılmaktadır. Bu çalışmada, bir KD2 Pro / KS-1 sensörü, ısıl iletkenliği güvenilir biçimde bilinen iki referans sıvı ile doğrulanmıştır: deiyonize su (10–40 °C, 53 okuma) ve etilen glikol (25–35 °C). Kararlı (ısıl dengeye ulaşmış) okumaların ortalamaları, önerilen referans korelasyonlarıyla karşılaştırılmıştır. Suya karşı sensör, mutlak değeri sıcaklıkla tekdüze azalan sistematik bir negatif sapma göstermiştir: 10 °C'de −%13,0 iken 40 °C'de −%0,5. Bu sapma, yaklaşık 20 °C'nin altında üreticinin ±%5'lik tasarım spesifikasyonunu aşmaktadır. Buna karşın, sudan bir büyüklük mertebesi daha viskoz olan etilen glikolde aynı sensör 25 °C'de yaklaşık ±%1 içinde okumuş ve tüm sıcaklıklarda spesifikasyon içinde kalmıştır. İki sıvının viskozitesi arasındaki büyük fark, düşük sıcaklıktaki hatayı genel bir sensör arızasına değil; artık serbest (kaldırma kuvveti kaynaklı) taşınım ve yavaş ısıl dengelenmenin en belirgin olduğu düşük-viskozite, oda-sıcaklığına yakın koşullara lokalize etmektedir. Su için sıcaklığa bağlı ampirik bir doğruluk oranı ve ticari geçici sensör kullanıcıları için pratik doğrulama önerileri sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: geçici sıcak-tel yöntemi, ısıl iletkenlik, referans akışkanlar, doğruluk (trueness), serbest taşınım, cihaz doğrulama

TEMPERATURE AND VISCOSITY-DEPENDENT TRUENESS OF A COMMERCIAL TRANSIENT LINE-SOURCE THERMAL-CONDUCTIVITY SENSOR: A REFERENCE FLUID STUDY WITH WATER AND ETHYLENE GLYCOL

ABSTRACT

Transient line-source (transient hot-wire) sensors such as the KD2 Pro are widely used for liquid thermal-conductivity measurement, and their trueness is usually assumed from the

manufacturer's specification rather than verified across the working range. We report a reference-fluid verification of a KD2 Pro / KS-1 sensor using deionised water (10–40 °C, 53 readings) and ethylene glycol (25–35 °C) as reference liquids of established thermal conductivity, comparing stabilised means against recommended reference correlations. Against water the sensor showed a systematic negative deviation that decreased monotonically in magnitude with temperature, from −13.0 % at 10 °C to −0.5 % at 40 °C, exceeding the ±5 % design specification below about 20 °C. Against the far more viscous ethylene glycol the same sensor read within about ±1 % at 25 °C and remained within specification throughout. Because the two fluids differ by more than an order of magnitude in viscosity, the contrast localises the low-temperature error to low-viscosity, near-ambient conditions where residual free convection and slow equilibration are most severe, rather than to a general sensor fault. An empirical temperature-dependent trueness ratio and practical verification guidance are given.

Keywords: transient hot-wire; thermal conductivity; reference fluids; trueness; free convection; instrument verification.

GİRİŞ

Geçici sıcak-tel (geçici hat-kaynağı) tekniği, sıvıların ısıl iletkenliğinin ölçümünde referans yöntem olarak kabul edilir; kısa ölçüm süresi ve sağlam kuramsal temeli bu tercihin başlıca nedenleridir (Healy vd., 1976; Assael vd., 2010). Bu tekniğin tek-iğneli ticari uygulamaları, ki bunların en yaygınlarından biri KD2 Pro ısıl özellik analizörüdür, ısı kaynağını, sıcaklık algılayıcısını ve geçici eğri uydurmasını taşınabilir bir cihazda birleştirerek yöntemi uzman metroloji laboratuvarlarının dışına taşımıştır. Bu tür cihazlar bir tasarım doğruluğu (tipik olarak ±%5) belirtir; ancak rutin kullanımda doğrulukları, ilgilenilen sıcaklık aralığında ısıl iletkenliği bilinen akışkanlara karşı nadiren doğrulanır ve üreticinin spesifikasyonuna güvenilir.

Bu eksiklik önemlidir; çünkü bir geçici sıcak-tel ölçümünün doğruluğu, elektronikten çok ölçümün fiziksel koşulları tarafından belirlenir. Yöntem, etkin olarak sonsuz bir ortama saf iletim varsayar; gerçek bir sıvıda ise ısıtma geçici süreci boyunca serbest (kaldırma kuvveti kaynaklı) taşınım gelişerek görünür iletkenliği saptırır ve taşınımın başlangıcı, düşük viskoziteli akışkanlarda ve ortamdan daha büyük sıcaklık farklarında daha erken gerçekleşir. Geçici sıcak-tel topluluğunun art arda yaptığı çözümlemeler, doğru bir ölçüm için gereken koşulların (kısa süreler, taşınımın bastırılması ve ısıl dengenin gösterilmesi) zorlayıcı olduğunu ve uygulamada sıklıkla sağlanmadığını vurgulamıştır (Antoniadis vd., 2016; Assael vd., 2023). Ayrıca doğruluk (trueness) ile kesinlik (precision) birbirinden farklı özelliklerdir: bir sensör

yüksek tekrarlanabilirliğe sahip olsa bile sistematik olarak yanlış okuyabilir; dolayısıyla kesinlik istatistikleri tek başına bir yanlılığı ortaya çıkaramaz (ISO, 1994; JCGM, 2008).

Isıl iletkenliği %1'den daha iyi bir belirsizlikle bilinen referans sıvılar, doğruluğu doğrudan denetlemenin bir yolunu sunar. Su, uluslararası önerilen korelasyonlarıyla bu amaçla birincil referanstır (Ramires vd., 1995; Huber vd., 2012); oda sıcaklığında sudan yaklaşık on altı kat daha viskoz olan etilen glikolün ise güncel bir referans korelasyonu vardır (Mebelli vd., 2021) ve yüksek viskozitesi sayesinde taşınım yanlılığına çok daha az eğilimlidir. Karmaşık akışkanların ısıl iletkenlik ölçümlerinde laboratuvarlar arası tekrarüretilebilirlik sorunları da iyi belgelenmiştir (Buongiorno vd., 2009). Bu çalışmanın amacı, ticari bir KD2 Pro / KS-1 sensörünü bu iki referans sıvıya karşı sıcaklığa bağlı olarak doğrulamak ve aralarındaki büyük viskozite farkını, gözlenen sapmanın kaynağını konumlandıran bir tanı aracı olarak kullanmaktır. Burada sunulan referans-akışkan ölçümleri, daha geniş bir ısıl iletkenlik ölçüm çalışmasının parçası olarak elde edilmiştir. Elde edilen çıktı, yaygın kullanılan bir cihaz için sıcaklık çözünürlüklü bir doğruluk haritası, ampirik bir düzeltme oranı ve bu tür sensörlere dayanan pek çok laboratuvar için pratik bir kılavuzdur.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Cihaz ve ölçüm hücresi

Isıl iletkenlik, KS-1 tek-iğneli sensörü (60 mm uzunluk, 1,3 mm çap) takılı bir KD2 Pro ısıl özellik analizörü (Decagon Devices, günümüzde METER Group) ile ölçülmüştür (Decagon Devices, t.y.). Cihaz, geçici hat-ısı-kaynağı yöntemini 60 s okuma süresiyle uygular ve üretici ±%5'lik bir tasarım doğruluğu belirtir. Her ölçümde, geçici eğri uydurmasının niteliğini niceleyen bir dâhilî hata terimi de verilir; bu terim burada bir ölçüm-kalitesi göstergesi olarak kullanılmıştır. Numuneler, cihazla birlikte verilen gliserol dolu doğrulama standardıyla aynı geometriye sahip silindirik borosilikat cam bir kapta (iç çap 23 mm, iç uzunluk 95 mm) tutulmuştur; bu, iğneden cidara 10,85 mm radyal ve iğne ucundan tabana 45 mm eksenel açıklık sağlar. 60 s okuma süresi boyunca ısıl nüfuz derinliği sulu numuneler için $\delta = \sqrt{(4\alpha t)} \approx 6$ mm'dir ($\alpha \approx 0{,}16$ mm² s⁻¹); dolayısıyla açıklıklar radyal yönde yaklaşık 1,8 δ ve eksenel yönde 7 δ'ya karşılık gelir ve cidarların iğne yakınındaki sıcaklık artışına katkısı yaklaşık %0,5'ten azdır. Böylece yöntemin varsaydığı sonsuz-ortam koşulu, iğne-prob standartlarıyla uyumlu biçimde sağlanmıştır (ASTM, 2008; IEEE, 1981). Numune sıcaklığı, kararlılığı ±0,1 °C olan bir sirkülasyonlu su banyosuyla denetlenmiş; yöntem zorlanmış taşınıma ve titreşime duyarlı olduğundan, her okuma sırasında sirkülasyon pompası kapatılmış, numune döngüden hidrolik olarak yalıtılmış ve düzenek durgun havada titreşimsiz bir tezgâhta bekletilmiştir.

Referans akışkanlar ve referans değerler

İki referans sıvı kullanılmıştır (Tablo 1). Deiyonize su 10–40 °C arası nominal ayar noktalarında ölçülmüş ve %1'den daha iyi belirlenmiş su ısıl iletkenliği korelasyonlarıyla karşılaştırılmıştır (Ramires vd., 1995; Huber vd., 2012). Etilen glikol 25, 30 ve 35 °C'de ölçülmüş ve güncel referans korelasyonuyla karşılaştırılmıştır (Mebelli vd., 2021; belirtilen belirsizlik yaklaşık %2,2). İki sıvı, dinamik viskozitede bir büyüklük mertebesinden fazla farklıdır (25 °C'de su için yaklaşık 1 mPa·s, etilen glikol için yaklaşık 16 mPa·s); aşağıda kullanılan temel karşıtlık budur.

Tablo 1. Referans akışkanlar ve ölçüm koşulları.

Referans akışkan	25 °C'de viskozite (mPa·s)	Sıcaklık aralığı (°C)	Referans korelasyon
Deiyonize su	≈ 1	10–40	Ramires vd. (1995); Huber vd. (2012)
Etilen glikol	≈ 16	25–35	Mebelli vd. (2021)

Veri toplama ve koşullama

Bir geçici ölçüm, tek bir değer değil; sensör ve numune ısıl dengeye yaklaşırken alınan kısa bir okuma dizisidir ve en erken okumalar eksik dengelenmeyi yansıtır. Yalnızca dengelenmiş okumalar ortalanmıştır: her okuma dizisinde kararlı pencere, değişim katsayısı ve göreli eğimin hareketli bir penceresinden belirlenmiş ve bu pencere içindeki tekil sıçramalar sağlam (robust) biçimde çıkarılmıştır; bu kararlılık-tespiti yordamı ayrı bir çalışmada belgelenmiştir. Her ayar noktası için doğruluk, kararlı ortalamanın referans değerden göreli sapması olarak, $\delta r = (k_{ölçülen} - k_{ref}) / k_{ref}$ biçiminde ifade edilmiş ve su için sıcaklığın ikinci dereceden bir fonksiyonu olan ampirik bir doğruluk oranı, $c(T) = k_{ref} / k_{ölçülen}$, ile özetlenmiştir.

Suya karşı doğruluk

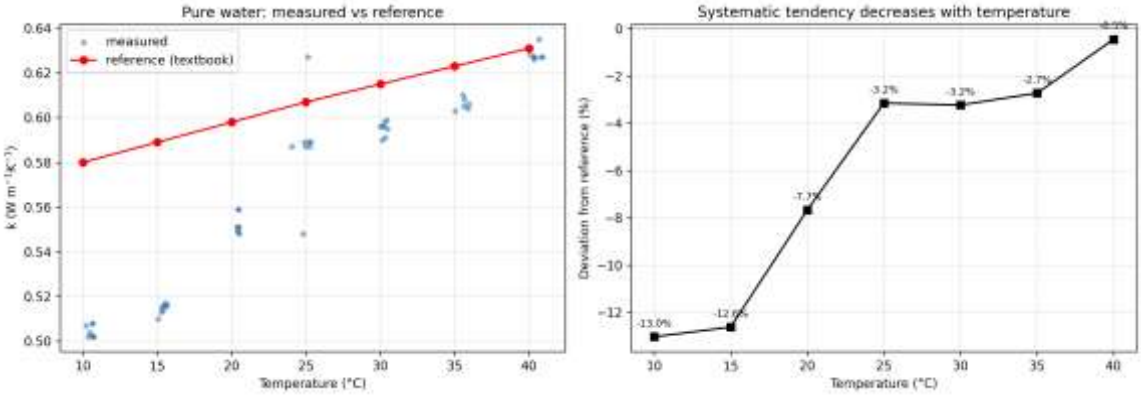
Su ölçümleri, referans değerlerden sistematik ve negatif biçimde sapmış; sapmanın mutlak değeri sıcaklıkla tekdüze azalmıştır (Tablo 2). En düşük ayar noktasında kararlı ortalama 0,504 W $m^{-1}K^{-1}$ iken referans 0,580 W $m^{-1}K^{-1}$'dir; bu, −%13,0'lık bir sapmadır. 40 °C'de sapma −%0,5'e düşmüştür.

Tablo 2. Suya karşı doğruluk: her ayar noktasında kararlı ortalama ısıl iletkenlik ve referans değer. Sapma = (ölçülen − referans)/referans.

Ayar (°C)	n	Ölçülen ort. k	SS	Referans k	Sapma (%)
10	8	0,5044	0,0028	0,580	−13,0
15	8	0,5146	0,0023	0,589	−12,6
20	8	0,5521	0,0044	0,598	−7,7
25	8	0,5879	0,0211	0,607	−3,2
30	8	0,5951	0,0031	0,615	−3,2
35	6	0,6060	0,0026	0,623	−2,7

Ayar (°C)	n	Ölçülen ort. k	SS	Referans k	Sapma (%)
40	7	0,6281	0,0031	0,631	−0,5

Sapma, yaklaşık 20 °C ve altında üreticinin ±%5'lik tasarım spesifikasyonunu aşmakta, 10–15 °C'de bu sınırın iki katından fazlasına ulaşmaktadır; buna karşın ayar-noktası içi saçılım küçük kalmıştır (çoğu ayar noktasında standart sapma 0,002–0,004 W $m^{-1}K^{-1}$) (Şekil 1). Dolayısıyla bu yanlılık bir kesinlik sorunu değildir: sensör suyu tekrarlanabilir biçimde ancak sistematik olarak düşük okumakta ve en çok numunenin ortam sıcaklığının en altında olduğu noktada sapmaktadır.



Şekil 1. Solda: kararlı su ortalamaları (noktalar) ve referans korelasyon (çizgi). Sağda: ölçülen ortalamanın göreli sapması; 10 °C'de −%13'ten 40 °C'de −%0,5'e.

Etilen glikole karşı doğruluk

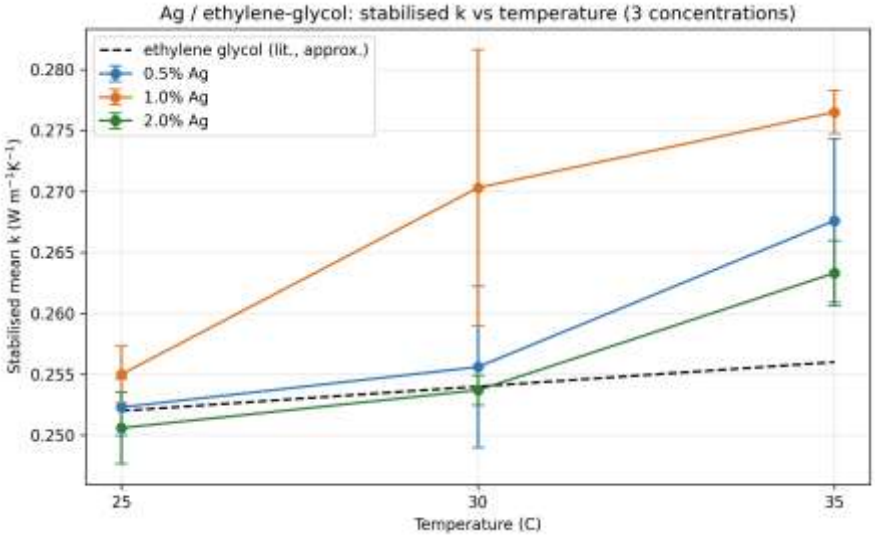
Çok daha viskoz olan etilen glikole karşı ölçüldüğünde aynı sensör belirgin biçimde daha iyi başarım göstermiştir (Tablo 3). 25 °C'de kararlı ortalamalar üç test karışımının tümü için referans değerin yaklaşık ±%1'i içinde kalmış, 35 °C'de referansın birkaç yüzde üzerine çıkmıştır.

Tablo 3. Etilen glikole karşı doğruluk: kararlı ortalama ısıl iletkenlik ve referans korelasyondan sapma (Mebelli vd., 2021), test karışımı ve sıcaklığa göre.

Nominal der. (%)	Ayar (°C)	n	Ölçülen ort. k	DK (%)	Sapma (%)
0,5	25	10	0,2523	0,9	+0,1
0,5	30	12	0,2556	2,6	+0,6
0,5	35	10	0,2676	2,5	+4,5
1,0	25	10	0,2550	0,9	+1,2
1,0	30	12	0,2703	4,2	+6,4
1,0	35	8	0,2765	0,6	+8,0
2,0	25	12	0,2506	1,2	−0,6
2,0	30	9	0,2537	0,5	−0,1
2,0	35	10	0,2633	1,0	+2,9

Ayrıca çalışma içi saçılım da suya göre daha küçüktür (değişim katsayıları tipik olarak %0,5–2,6) ve her etilen glikol noktası ±%5 spesifikasyonu içinde kalmıştır (Şekil 2). Bu nedenle

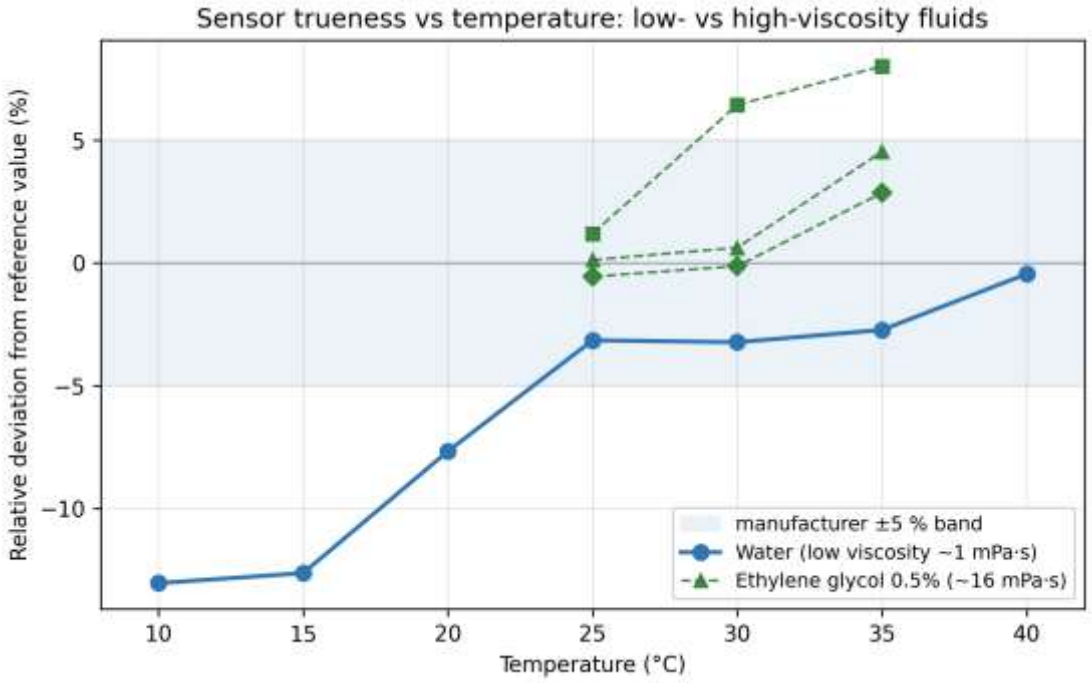
cihaz, viskoz bir sıvıyı oda sıcaklığına yakın doğru okumakta; bu, sudaki büyük düşük-sıcaklık yanlılığıyla doğrudan çelişmektedir.



Şekil 2. Etilen glikolde kararlı ortalama ısıl iletkenliğin sıcaklıkla değişimi (hata çubukları ±1 çalışma içi standart sapma); kesikli çizgi etilen glikol referans değeridir. Ölçümler 25 °C'de referansı yakından izlemekte, sıcaklıkla hafifçe üzerine çıkmaktadır.

Ayırt edici değişken olarak viskozite

İki sıvı ortak bir eksene yerleştirildiğinde örüntü belirginleşir (Şekil 3). Düşük viskoziteli suda sensör, düşük sıcaklıkta referansın çok altına düşmekte ve ancak yaklaşık 20 °C'nin üzerinde ±%5 bandına girmekte; yüksek viskoziteli etilen glikolde ise her sıcaklıkta bandın içinde ya da yakınında kalmaktadır. Su eğrisi boyunca iki değişken birlikte değişir (sıcaklık ve akışkanın serbest taşınıma yatkınlığı); etilen glikol karşılaştırması bunları ayırır: aynı sıcaklıklarda (25–35 °C) viskoz akışkan doğru okunurken su okunmamaktadır. Bu durum, düşük-sıcaklık yanlılığının başlıca kaynağı olarak sensörün elektronik ya da geometrik bir kusurunu değil, düşük-viskoziteli akışkandaki taşınımı ve yavaş dengelenmeyi işaret eder. Bu yorum, geçici sıcak-tel yönteminin kaldırma kuvveti kaynaklı taşınıma duyarlılığının (viskozitenin düşük, sıcaklık farkının büyük olmasıyla artan) iyi belgelenmiş doğasıyla tutarlıdır (Antoniadis vd., 2016; Assael vd., 2023).



Şekil 3. Referans değerden göreli sapmanın sıcaklıkla değişimi: düşük viskoziteli su ve yüksek viskoziteli etilen glikol. Gölgeli bant üreticinin ±%5 spesifikasyonudur. Büyük düşük-sıcaklık hatası düşük-viskoziteli akışkanla sınırlıdır.

Su için sıcaklık bağımlılığı, ampirik doğruluk oranı c(T) = kref / kölçülen = 1,2696 − 0,012107 T + 0,000139 T² (T, °C) ile yakalanır; artık saçılım göreli olarak yaklaşık %1,4'tür. Bu oran, mevcut düzeneğe özgü, cihaz ve geometriye bağlı ampirik bir tanım olarak sunulmakta; birinci mertebe düzeltme ya da bir ölçümün spesifikasyon içinde olup olmadığını değerlendirmek için yararlı olup evrensel bir kalibrasyon değildir. Her laboratuvar kendi oranını kendi referans-akışkan ölçümlerinden belirlemelidir.

Uygulamaya yönelik üç nokta öne çıkar. Birincisi, ticari bir geçici sensörün doğruluğu spesifikasyondan varsayılmak yerine hedeflenen çalışma aralığı boyunca doğrulanmalıdır: burada nominal ±%5'lik bir cihaz 10 °C'de %13'ten fazla sapmıştır. İkincisi, oda sıcaklığına yakın ya da altındaki düşük-viskoziteli akışkanlar en kırılgan çalışma noktasıdır; çünkü artık serbest taşınım ve yavaş dengelenme en çok orada büyüktür. Üçüncüsü, yanlılık sistematik olduğundan ve tekrarlanabilirlik istatistiklerine görünmez olduğundan, doğruluk ve kesinlik birlikte raporlanmalıdır (ISO, 1994); dar bir standart sapma, değerin doğru olduğunun güvencesi değildir. Sertifikalı özelliğe sahip en az bir, ideal olarak karşıt viskozitede iki referans sıvıya karşı doğrulama, bu tür bir cihazı kullanan her laboratuvarın benimseyebileceği ucuz bir güvencedir.

SONUÇ

Ticari bir KD2 Pro / KS-1 geçici hat-kaynağı sensörü, karşıt viskozitede iki referans sıvıya karşı doğrulanmıştır. Suya karşı sensör, 10 °C'de −%13,0'tan 40 °C'de −%0,5'e azalan sistematik bir negatif sapma göstermiş ve yaklaşık 20 °C'nin altında ±%5 spesifikasyonunu aşmıştır; buna karşın yaklaşık on altı kat daha viskoz etilen glikolde 25 °C'de yaklaşık ±%1 içinde okumuş ve tüm sıcaklıklarda spesifikasyon içinde kalmıştır. Viskozite karşıtlığı, düşük-sıcaklık hatasını genel bir sensör arızasına değil, artık serbest taşınım ve yavaş dengelenmeyle tutarlı biçimde düşük-viskozite, oda-sıcaklığına yakın koşullara lokalize etmektedir. Su durumu için sıcaklığa bağlı ampirik bir doğruluk oranı verilmiştir. Sonuçlar, ticari geçici sensör kullanıcılarının doğruluğu referans sıvılarla çalışma aralıkları boyunca doğrulamaları, düşük sıcaklıktaki düşük-viskoziteli akışkanları en kötü durum olarak ele almaları ve doğruluğu her zaman kesinlikle birlikte raporlamaları gerektiğini ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

Antoniadis, K. D., Tertsinidou, G. J., Assael, M. J., & Wakeham, W. A. (2016). Necessary conditions for accurate, transient hot-wire measurements of the apparent thermal conductivity of nanofluids are seldom satisfied. International Journal of Thermophysics, 37, 78. https://doi.org/10.1007/s10765-016-2083-8

Assael, M. J., Antoniadis, K. D., & Wakeham, W. A. (2010). Historical evolution of the transient hot-wire technique. International Journal of Thermophysics, 31, 1051–1072. https://doi.org/10.1007/s10765-010-0814-9

Assael, M. J., Antoniadis, K. D., & Wakeham, W. A. (2023). Correct use of the transient hot-wire technique for thermal conductivity measurements on fluids. International Journal of Thermophysics, 44, 85. https://doi.org/10.1007/s10765-023-03195-1

ASTM. (2008). Standard test method for determination of thermal conductivity of soil and soft rock by thermal needle probe procedure (ASTM D5334-08). ASTM International.

Buongiorno, J., et al. (2009). A benchmark study on the thermal conductivity of nanofluids. Journal of Applied Physics, 106, 094312. https://doi.org/10.1063/1.3245330

Decagon Devices. (t.y.). KD2 Pro thermal properties analyzer: Operator's manual (KS-1 single-needle sensor). METER Group.

Healy, J. J., de Groot, J. J., & Kestin, J. (1976). The theory of the transient hot-wire method for measuring thermal conductivity. Physica B+C, 82, 392–408. https://doi.org/10.1016/0378-4363(76)90203-5

Huber, M. L., Perkins, R. A., Friend, D. G., et al. (2012). New international formulation for the thermal conductivity of H2O. Journal of Physical and Chemical Reference Data, 41, 033102. https://doi.org/10.1063/1.4738955

IEEE. (1981). IEEE guide for soil thermal resistivity measurements (IEEE Std 442-1981). Institute of Electrical and Electronics Engineers.

ISO. (1994). Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results (ISO 5725-1 & 5725-2). International Organization for Standardization.

JCGM. (2008). Evaluation of measurement data: Guide to the expression of uncertainty in measurement (JCGM 100:2008). Joint Committee for Guides in Metrology.

Mebelli, M., Velliadou, D., Assael, M. J., Antoniadis, K. D., & Huber, M. L. (2021). Reference correlation for the thermal conductivity of ethane-1,2-diol (ethylene glycol) from the triple point to 475 K and pressures up to 100 MPa. International Journal of Thermophysics, 42, 151. https://doi.org/10.1007/s10765-021-02904-y

Ramires, M. L. V., Nieto de Castro, C. A., Nagasaka, Y., Nagashima, A., Assael, M. J., & Wakeham, W. A. (1995). Standard reference data for the thermal conductivity of water. Journal of Physical and Chemical Reference Data, 24, 1377–1381. https://doi.org/10.1063/1.555963

COMPARATIVE INVESTIGATION OF MECHANICAL PERFORMANCE AND STRENGTH BEHAVIOR IN BASALT AND CARBON FIBER REINFORCED CONCRETE

Dr. Mutlu KURBAN
Cukurova University, Adana Organized Industrial Zone Vocational School of Technical Sciences, Textile Technology Program 01410 Sarıçam, Adana
ORCID ID: 0000-0001-9132-0349

ABSTRACT

Concrete is a structural material with high compressive strength but exhibits brittle failure under tensile and flexural stresses. This brittleness and micro-crack formation can be effectively controlled by incorporating high-strength fibers. In this study, the effects of 6 mm chopped basalt and carbon fibers at different mass ratios (0.1%, 0.2%, 0.3%, and 0.4%) on the mechanical properties of concrete were experimentally investigated. For comparison purposes, an unreinforced concrete specimen containing no fibers was also prepared as a control. Cube specimens of 100×100×100 mm for compressive strength and beam specimens of 400×100×20 mm for flexural strength were cast and tested after 28 days of standard water curing in accordance with TS EN 12390-3 and TS EN 12390-5 standards.

The experimental results revealed that both fiber types enhanced the compressive and flexural strengths across all addition ratios compared to the control concrete (compressive: 48.14 MPa, flexural: 6.15 MPa). Due to its higher tensile strength and modulus, carbon fiber reinforced specimens exhibited distinctly superior mechanical performance compared to basalt fiber at all corresponding fractions. For basalt fiber, the optimum reinforcement ratio was determined as 0.2% by volume, providing an increase of 15.9% in compressive strength (55.8 MPa) and 20.5% in flexural strength (7.41 MPa). For carbon fiber, the highest mechanical properties were achieved at 0.3% volume fraction, resulting in significant improvements of 33.7% in compressive strength (64.34 MPa) and 36.4% in flexural strength (8.39 MPa; 1.12 kN peak load) relative to the unreinforced concrete. Exceeding these optimum thresholds led to a slight decline in strength due to potential fiber balling and matrix uniformity issues. Consequently, 6 mm short fibers successfully acted as crack-bridging elements, with carbon fiber offering remarkably higher structural enhancement than basalt fiber.

Keywords: Fiber reinforced concrete, basalt fiber, carbon fiber, compressive strength, flexural strength.

BAZALT VE KARBON ELYAF TAKVİYELİ BETONLARIN MEKANİK PERFORMANSININ VE DAYANIM DAVRANIŞININ KARŞILAŞTIRMALI İNCELENMESİ

ÖZET

Beton, yüksek basınç dayanımına sahip olmasına karşın çekme/eğilme gerilmeleri altında gevrek kırılma sergileyen bir yapı malzemesidir. Bu gevreklik ve mikro çatlak oluşumu, yüksek mukavemetli lif takviyeleriyle sınırlandırılabilmektedir. Bu çalışmada, 6 mm uzunluğundaki bazalt ve karbon elyafların farklı kütle oranlarında (%0,1, %0,2, %0,3 ve %0,4) betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisi deneysel olarak incelenmiştir. Karşılaştırma amacıyla lif içermeyen takviyesiz beton numunesi de kontrol amacıyla hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlardan basınç dayanımı için 100×100×100 mm küp, eğilme dayanımı için ise 400×100×20 mm kiriş numuneler üretilmiş ve 28 günlük standart su kürü sonrasında TS EN 12390-3 ve TS EN 12390-5 standartlarına göre test edilmiştir.

Deneysel sonuçlar, hem bazalt hem de karbon elyaf takviyesinin kontrol numunesine (basınç: 48,14 MPa, eğilme: 6,15 MPa) kıyasla tüm oranlarda basınç ve eğilme dayanımlarını artırdığını göstermiştir. Karbon elyaf takviyeli numuneler, yüksek elastisite modülü ve çekme mukavemeti sayesinde bazalt elyafa kıyasla tüm oranlarda belirgin şekilde daha üstün mekanik performans sergilemiştir. Bazalt elyaf takviyesinde en yüksek dayanım değerleri hacimce %0,2 oranında elde edilmiş olup, basınç dayanımında %15,9 (55,8 MPa), eğilme dayanımında ise %20,5 (7,41 MPa) artış sağlanmıştır. Karbon elyaf takviyesinde ise optimum performans hacimce %0,3 kullanımında gerçekleşmiş; kontrol numunesine göre basınç dayanımında %33,7 (64,34 MPa) ve eğilme dayanımında %36,4 (8,39 MPa; 1,12 kN kırılma yükü) seviyesinde en yüksek artış kaydedilmiştir. Optimum oranların aşılması durumunda liflerin matris içindeki topaklanması ve işlenebilirlik sınırlılıkları nedeniyle mekanik kazanımlarda sınırlı bir azalma gözlenmiştir. Sonuç olarak, 6 mm kesilmiş liflerin betonda çatlak köprüleme mekanizmasını etkin biçimde çalıştırdığı, karbon lifin taşıyıcı eleman performansını artırmada bazalta kıyasla çok daha yüksek katkı sağladığı belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Elyaf takviyeli beton, bazalt elyaf, karbon elyaf, basınç dayanımı, eğilme dayanımı.

1. INTRODUCTION

Concrete, obtained by homogeneously mixing cement, aggregates, water, and—when necessary—chemical and mineral admixtures in specific proportions, is a composite structural material that hardens over time through the hydration of cement (Şimşek, 2004). Although concrete possesses high compressive strength, it has low tensile strength and exhibits brittle

fracture behavior (Ünsal and Şen, 2008). One method developed to improve these weaknesses of concrete is the addition of discrete fibers into the matrix (Kızılkanat et al., 2014). Fiber reinforcement has attracted significant interest in recent years due to its ability to improve concrete's low tensile strength and mitigate shrinkage cracking (Zhao et al., 2023); the addition of fibers enhances the tensile and flexural strength as well as the ductility of the concrete (Anas et al., 2022). While theoretically all textile fibers can be used as reinforcement components, glass, basalt, carbon, polypropylene, polyamide, and steel fibers are preferred in practice (Brameshuber, 2006; Kurban, 2021).

Basalt fiber is an inorganic fiber produced by melting basalt rock of volcanic origin and drawing it out without the use of any additives. It is increasingly being used for concrete reinforcement due to its high tensile strength, good chemical and thermal stability, eco-friendly production, and relatively low cost (Fiore et al., 2015; Dhand et al., 2015). In a study using 12 mm long basalt fibers at volume fractions of 0.5–2%, Jalasutram et al. (2017) observed no significant increase in compressive strength but achieved an increase of up to 75% in flexural strength, noting a shift in fracture behavior from brittle to ductile. Zhou et al. (2020) reported that 12 mm basalt fibers significantly improved the toughness and crack resistance of concrete, with the best results obtained at fiber contents of 0.3–0.4%; at these ratios, compressive strength increased by only 5.07%, while flexural strength increased by up to 42.34%. In a study comparing basalt fiber-reinforced concrete with glass fiber-reinforced concrete, Kızılkanat et al. (2015) demonstrated that basalt fibers enhanced flexural strength and fracture energy, whereas their effect on compressive strength was limited.

Carbon fiber is a high-performance reinforcement material used in cement-based composites due to its high tensile strength and modulus of elasticity, low density, and chemical stability in alkaline environments (Chung, 2000). Chen and Chung (1993) achieved an 85% increase in flexural strength and a 22% increase in compressive strength in concrete containing only 0.189% short carbon fibers by volume, noting that a fiber content of at least 0.1% by volume is required to increase flexural strength. The dispersion of carbon fibers within the matrix is one of the key factors determining mechanical properties (Wang et al., 2008). In a study using 3 mm chopped carbon fibers at volume fractions of 0.25%–0.75%, Askar et al. (2023) obtained the best results at the 0.25% level, reporting that workability decreased significantly and strength declined at higher dosages. In a study comparing steel, basalt, and carbon fibers, Qi et al. (2025) determined the optimum dosage for basalt and carbon fibers to be 3 kg/m^3; they

observed that basalt fiber specimens exhibited brittle failure, whereas carbon fiber specimens displayed a more ductile failure mode characterized by fiber pull-out.

In previous studies conducted by the author using a similar concrete mix design and specimen geometry, it was determined that the optimal compressive and flexural strengths for 5 mm and 10 mm basalt fibers were achieved at a dosage of 0.2% by mass (Kurban, 2025). However, there are limited studies in the literature directly comparing basalt and carbon fibers within the same matrix and at identical fiber lengths and mass dosages. In this study, chopped basalt and carbon fibers (6 mm in length) were added to concrete mixtures at dosages ranging from 0.1% to 0.4% by mass, and the effects of fiber type and dosage on the concrete's compressive strength, flexural strength, and load-displacement behavior were comparatively investigated.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials

In the study, chopped basalt and carbon fibers with a length of 6 mm (Figure 1) were used as reinforcement components, while concrete was used as the matrix component. The technical properties of the fibers are presented in Table 1.

Table 1. Technical properties of the fibers used in the study

Fiber type	Length	Density	Modulus of elasticity	Tensile strength
Basalt	6 mm	2.75 g/cm³	89 GPa	2800 MPa
Carbon	6 mm	1.78 g/cm³	230 GPa	4000 MPa

Figure 1. 6 mm long fibers used in the study: a) basalt fiber, b) carbon fiber.

The concrete mix design was determined through trials conducted with the support of the Polisan Yapıkim R&D laboratory, located in the Adana Hacı Sabancı Organized Industrial Zone (Table 2). The mixture utilized aggregates with a particle size of 0–500 µm, CEM II/A-S 42.5 R cement, fly ash, a superplasticizer, and mains water, with a water-to-binder ratio of approximately 0.38.

Table 2. Concrete mix design

Concrete component	Type	Source	Quantity (kg/m³)
Aggregate	0–500 µm	Gaziantep Ytong Industry Inc	1140
Cement	CEM II/A-S 42,5 R	Oyak Cement	485
Fly ash	–	İSKEN	245
Plasticer	Ultraton	Polisan Yapıkim Industry Inc	13
Water	Mains water	–	275
Total			**2158**

2.2. Methods

To investigate the effect of fiber type and dosage, 6 mm basalt (B) and carbon (C) fibers were used at mass fractions of 0.1%, 0.2%, 0.3%, and 0.4%; a total of nine concrete mixtures were prepared, including an unreinforced control mixture (T). The mixtures were coded according to fiber type and dosage (e.g., B-0.2: 0.2% basalt fiber by mass; C-0.3: 0.3% carbon fiber by mass).

To prepare the mixtures, the weighed solid materials were first mixed in a pan mixer for 2 minutes; subsequently, fibers were added, and mixing continued for another 2 minutes. Then, two-thirds of the mixing water was gradually added and mixed for 2 minutes, followed by the addition of the high-range water reducer and further mixing for 2 minutes. The remaining water was used to rinse the water-reducer container before being added to the mixture; a final 2 minutes of mixing yielded a homogeneous concrete. After checking the consistency, the concrete was cast into molds: 100×100×100 mm cubes for compressive strength testing and 400×100×20 mm beams for flexural strength testing (Figure 2).

Figure 2. Production stages of concrete specimens: a) material weighing, b) mixing of solid components in a pan mixer, c) fiber addition, d) consistency check, e) beam mold (400×100×20 mm), f) cube mold (100×100×100 mm)

After 24 hours, the specimens were demolded, coded, and stored in a water-filled curing tank at 20 ± 2 °C for 28 days. Upon completion of curing, compressive strength tests were performed on the cube specimens in accordance with the TS EN 12390-3 (2019) standard, while four-point flexural tests—adapted from the TS EN 12390-5 (2019) standard—were conducted on the slender beam specimens (Figure 3). During the flexural test, deflection values were measured using a displacement sensor placed at the mid-span of the beam, and load-displacement curves were generated. The mean and standard deviation of the results were calculated for each mixture.

Figure 3. a) Beam and cube specimens, b) curing tank, c) compressive strength testing machine (TS EN 12390-3), d) flexural strength testing machine (TS EN 12390-5)

Flexural strength was calculated according to Equation 1 given in the TS EN 12390-5 (2019) standard.

$$\sigma = \frac{P \cdot l}{b \cdot h^2} \quad (1)$$

In the equation, σ represents the flexural strength (MPa), P the breaking load (N), l the span between supports (300 mm), b the specimen width (100 mm), and h the specimen thickness (20 mm).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Compressive Strength

The 28-day compressive strength results for the cube specimens are presented in Figure 4. Fiber reinforcement increased the compressive strength for both fiber types and at all proportions.

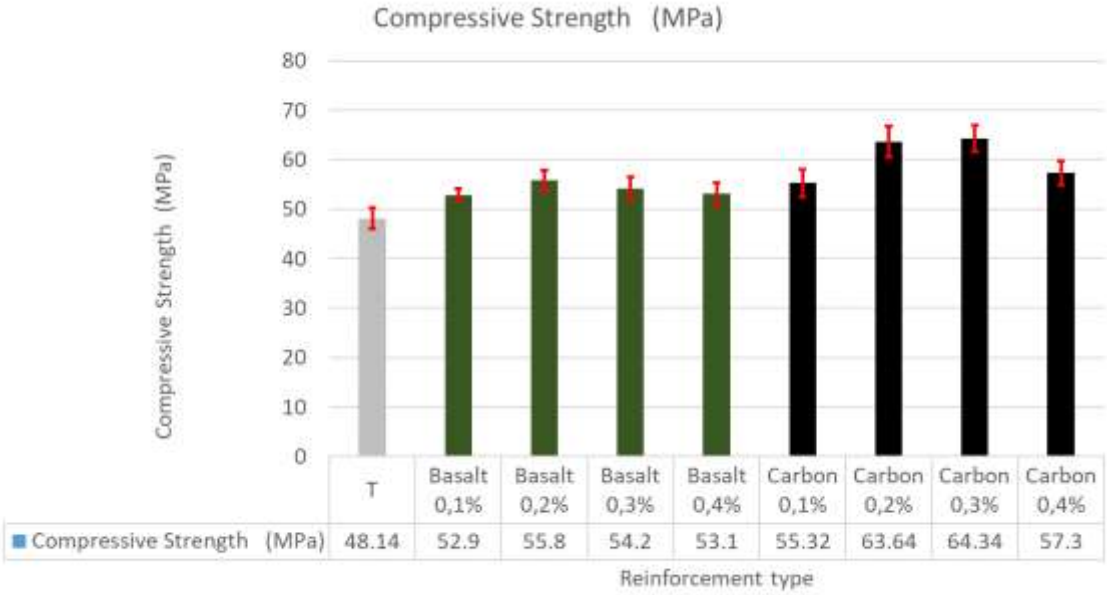


Figure 4. Compressive strengths of concrete specimens

While the compressive strength of unreinforced concrete was 48.14 MPa, the highest values were achieved at a 0.2% dosage for basalt fiber (55.80 MPa; 15.9% increase) and a 0.3% dosage for carbon fiber (64.34 MPa; 33.7% increase); the value for carbon fiber at a 0.2% dosage (63.64 MPa) was also found to be quite close to this peak. When the optimum dosages were exceeded, compressive strength declined to 53.10 MPa for basalt fiber and 57.30 MPa for carbon fiber. This decrease can be attributed to fiber agglomeration, reduced workability, and an increase in the void ratio within the matrix as the fiber content rises. While differences between the 0.1% and 0.4% dosages for basalt fiber remained within the range of standard deviations, a significant increase was observed for carbon fiber at the 0.2% and 0.3% dosages. Based on average compressive strengths, the unreinforced concrete reached the C35/45 class, the concrete with 0.2% basalt fiber reached C45/55, and the concretes with 0.2%–0.3% carbon fiber reached the C50/60 class level.

3.2. Flexural Strength

The flexural strengths of the beam specimens obtained from the four-point bending tests are presented in Figure 5.

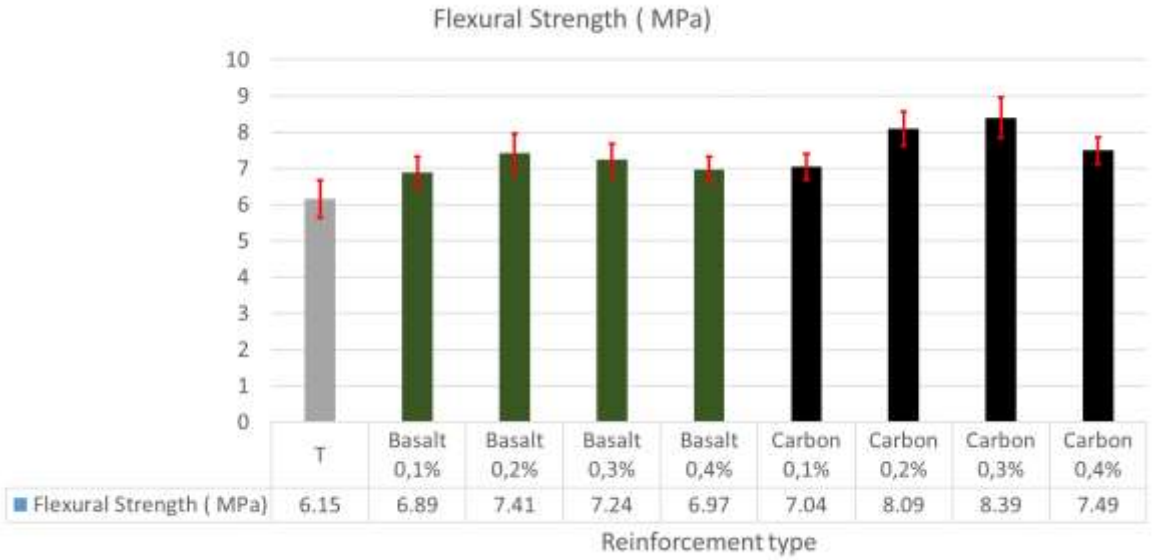


Figure 5. Flexural strengths of concrete specimens

Flexural strength values were higher than those of unreinforced specimens (6.15 MPa) across all fiber ratios; strength increased with the fiber ratio but declined when the ratio exceeded 0.2% for basalt fiber and 0.3% for carbon fiber. The peak values were recorded as 7.41 MPa (a 20.5% increase) at a 0.2% basalt fiber ratio and 8.39 MPa (a 36.4% increase) at a 0.3% carbon fiber ratio, corresponding to average failure loads of 988 N and 1120 N, respectively (compared to 825 N for unreinforced specimens). The fact that the increase in flexural strength for basalt fiber was more pronounced than the increase in compressive strength (20.5% versus 15.9%) indicates that the primary contribution of discrete fibers is to delay crack propagation by bridging micro-cracks formed under tensile stresses.

3.3. Load-Displacement Behavior

The load-displacement curves recorded during the bending test for specimens representing each series are presented in Figure 6, in comparison with the unreinforced specimen.

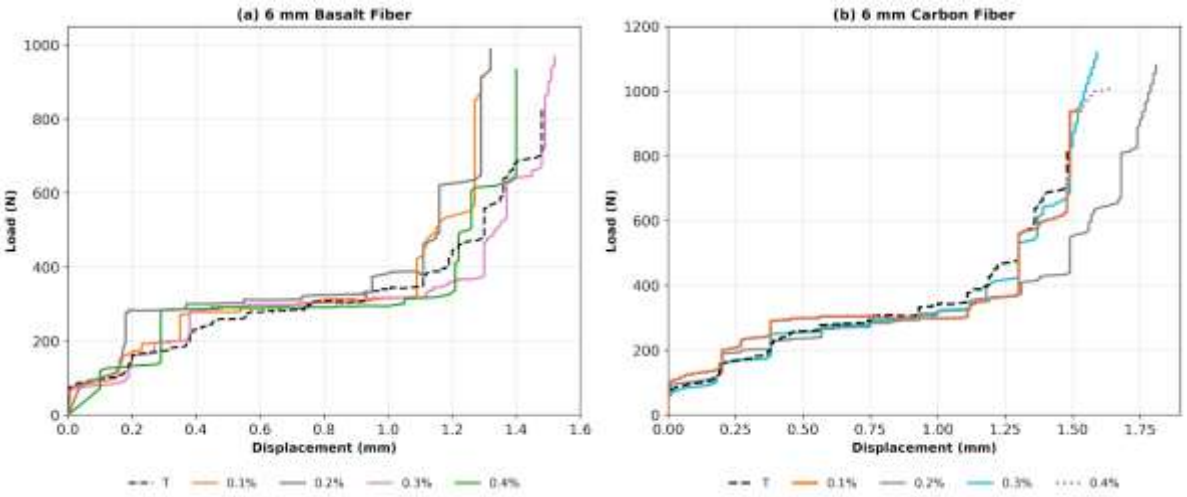


Figure 6. Load-displacement curves obtained from the flexural test: a) 6 mm basalt fiber, b) 6 mm carbon fiber reinforced specimens.

The basalt fiber-reinforced specimens exhibited curves with characteristics similar to those of the unreinforced specimen, yet all achieved higher peak loads (Figure 6a). While the unreinforced specimen failed at a displacement of approximately 1.48 mm, the basalt fiber-reinforced specimens—with the exception of the 0.3% variant—failed at lower displacements (approximately 1.27–1.40 mm) but generally sustained higher loads at the same displacement levels. In contrast, the carbon fiber-reinforced specimens reached peak loads at displacements equal to or greater than that of the unreinforced specimen (approximately 1.50–1.81 mm) (Figure 6b). The highest peak load was observed in the 0.3% carbon fiber specimen (approximately 1120 N), while the greatest displacement was recorded for the 0.2% carbon fiber specimen (approximately 1.81 mm). This indicates that carbon fiber contributes more to pre-failure deformation capacity than basalt fiber. For both fiber types, the curves ended with a sudden drop following the peak load, and no distinct post-peak region was observed; the low fiber volume fractions and short fiber lengths employed were insufficient to provide post-cracking load-bearing capacity.

3.4. Comparative Evaluation of Fiber Types

A summary of the mechanical test results and the percentage changes relative to unreinforced concrete are presented in Table 3.

Table 3. Summary of mechanical test results and variations relative to unreinforced concrete

Mix code	Compressive strength (MPa)	Change (%)	Breaking load (N)	Flexural strength (MPa)	Change (%)	Concrete class*
T	48.14 ± 2.10	–	825	6.15 ± 0.52	–	C35/45
B-0.1	52.90 ± 1.20	+9.9	919	6.89 ± 0.43	+12.0	C40/50
B-0.2	55.80 ± 2.00	+15.9	988	7.41 ± 0.54	+20.5	C45/55
B-0.3	54.20 ± 2.30	+12.6	969	7.24 ± 0.44	+17.7	C40/50
B-0.4	53.10 ± 2.25	+10.3	933	6.97 ± 0.35	+13.3	C40/50
C-0.1	55.32 ± 2.80	+14.9	940	7.04 ± 0.36	+14.5	C45/55
C-0.2	63.64 ± 3.10	+32.2	1080	8.09 ± 0.48	+31.5	C50/60
C-0.3	64.34 ± 2.70	+33.7	1120	8.39 ± 0.56	+36.4	C50/60
C-0.4	57.30 ± 2.40	+19.0	1000	7.49 ± 0.37	+21.8	C45/55

**Concrete classes have been determined on an indicative basis, relying on average cube compressive strengths (TS EN 206+A2, 2021).*

At identical mass fractions, carbon fiber samples exhibited higher values compared to basalt fiber samples—specifically 4.6%, 14.1%, 18.7%, and 7.9% higher in compressive strength, and 2.2%, 9.2%, 15.9%, and 7.5% higher in flexural strength for the 0.1%, 0.2%, 0.3%, and 0.4% ratios, respectively. At the 0.1% ratio, the differences between the two fiber types fell within the range of standard deviations, whereas the influence of the fiber type became pronounced at the 0.2% and 0.3% ratios. The superiority of carbon fiber can be attributed to its significantly higher modulus of elasticity and tensile strength compared to basalt fiber: high-modulus fibers begin to bear loads at lower deformation levels in conjunction with the matrix, thereby more effectively limiting the formation and coalescence of micro-cracks. Furthermore, the generally finer diameter of carbon filaments results in a greater number of fibers within the matrix for a given volumetric fraction, facilitating more effective crack bridging. The finding that the optimum ratio for carbon fiber was higher (0.3%) suggests that this fiber could be homogeneously dispersed up to 0.3% in the given mix design, whereas for basalt fiber, agglomeration occurring above 0.2% limited the performance gains.

The optimum basalt fiber content of 0.2% and the observed increases in compressive (15.9%) and flexural (20.5%) strengths are consistent with the results reported by the author for 5 mm basalt fibers using the same mix design (0.2% optimum; 17.3% and 21.1% increases) (Kurban, 2025). The findings indicating that the effect on compressive strength is limited at low fiber dosages, whereas the effect on flexural strength is more pronounced, also generally align with the literature (Jalasutram et al., 2017; Zhou et al., 2020; Kizilkanat et al., 2015). The decrease in strength beyond the optimum dosage is consistent with studies attributing this phenomenon to impaired fiber dispersion and reduced workability (Zhou et al., 2020; Askar et al., 2023), while the failure of carbon fiber specimens at larger displacements aligns with the findings of Qi et al. (2025), who reported that carbon fibers facilitate a more ductile failure mode.

4. Conclusions

In this study, 6 mm long basalt and carbon fibers were used to reinforce concrete at weight ratios of 0.1–0.4%, and the results obtained are summarized below:

- All fiber dosages investigated for both fiber types resulted in increased compressive and flexural strength compared to unreinforced concrete.
- The optimum dosage was determined to be 0.2% for basalt fiber (yielding a 15.9% increase in compression and 20.5% in flexure) and 0.3% for carbon fiber (yielding a 33.7% increase in compression and 36.4% in flexure); exceeding these dosages led to a slight decline in strength due to fiber clumping and workability issues.
- At identical dosages, carbon fiber specimens exhibited higher strength than basalt fiber specimens; the greatest difference was observed at the 0.3% dosage level (18.7% higher in compression and 15.9% higher in flexure).
- While the unreinforced concrete fell into the C35/45 class, concrete with 0.2% basalt fiber reached the C45/55 class, and concretes with 0.2–0.3% carbon fiber reached the C50/60 class.
- Fiber-reinforced specimens produced load-displacement curves similar to those of the unreinforced specimen; however, carbon fiber specimens failed at greater displacements compared to basalt fiber specimens.

Given the lower cost and eco-friendly production of basalt fiber, it is considered a potential economic alternative for applications where strength requirements are relatively low. Future studies are recommended to investigate hybrid (basalt-carbon) fiber combinations, assess processability and fiber distribution, and quantitatively determine toughness parameters.

Acknowledgement

I would like to thank Polisan Yapıkim, located in the Adana Hacı Sabancı Organized Industrial Zone, for their contributions regarding material supply, the determination of the concrete mix design, and the performance of compressive strength tests.

REFERENCES

Şimşek O (2004). Beton ve Beton Teknolojisi. Seçkin Yayıncılık, Ankara.
Ünsal A, Şen H (2008). Beton ve Beton Malzemeleri Laboratuvar Deneyleri. T.C. Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı, Ankara
Kızılkanat AB, Kabay N, Akyüncü V, Erdoğan G (2014). Basalt fibers and mechanical properties of basalt fiber reinforced concrete. Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences 32(4), 444–452.
Zhao C, Wang Z, Zhu Z, Guo Q, Wu X, Zhao R (2023). Research on different types of fiber reinforced concrete in recent years: An overview. Construction and Building Materials 365, 130075.
Anas M, Khan M, Bilal H, Jadoon S, Khan MN (2022). Fiber reinforced concrete: A review. Engineering Proceedings 22(1), 3.

Brameshuber W (2006). Textile Reinforced Concrete. State-of-the-Art Report of RILEM Technical Committee 201-TRC. RILEM Publications S.A.R.L., Bagneux, France.
Kurban M (2021). Hibrit İplikler Kullanılarak Düşük Maliyetli Tekstil Takviyeli Beton Geliştirilmesi, Yapı ve Özelliklerinin Araştırılması. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
Fiore V, Scalici T, Di Bella G, Valenza A (2015). A review on basalt fibre and its composites. Composites Part B: Engineering 74, 74–94.
Dhand V, Mittal G, Rhee KY, Park SJ, Hui D (2015). A short review on basalt fiber reinforced polymer composites. Composites Part B: Engineering 73, 166–180.
Jalasutram S, Sahoo DR, Matsagar V (2017). Experimental investigation of the mechanical properties of basalt fiber-reinforced concrete. Structural Concrete 18(2), 292–302.
Zhou H, Jia B, Huang H, Mou Y (2020). Experimental study on basic mechanical properties of basalt fiber reinforced concrete. Materials 13(6), 1362.
Kizilkanat AB, Kabay N, Akyüncü V, Chowdhury S, Akça AH (2015). Mechanical properties and fracture behavior of basalt and glass fiber reinforced concrete: An experimental study. Construction and Building Materials 100, 218–224.
Chung DDL (2000). Cement reinforced with short carbon fibers: a multifunctional material. Composites Part B: Engineering 31(6–7), 511–526.
Chen PW, Chung DDL (1993). Concrete reinforced with up to 0.2 vol% of short carbon fibres. Composites 24(1), 33–52.
Wang C, Li KZ, Li HJ, Jiao GS, Lu J, Hou DS (2008). Effect of carbon fiber dispersion on the mechanical properties of carbon fiber-reinforced cement-based composites. Materials Science and Engineering: A 487(1–2), 52–57.
Askar MK, Askar LK, Al-Kamaki YSS, Ferhadi R (2023). Effects of chopped CFRP fiber on mechanical properties of concrete. Heliyon 9(3), e13832.
Qi Y, Tang M, Liang H, Li Y, Qiao Z, Yu Y (2025). Structure and mechanical properties of steel fiber, basalt fiber, and carbon fiber modified concrete. Journal of the Australian Ceramic Society 61(2), 673–684.
Kurban M (2025). Effect of Use of Different Lengths of Basalt Fiber on Concrete Strength. IMASCON 2025 Spring – 14. International Marmara Sciences Congress, May16-17, 2025, Kocaeli, 168–175.
TS EN 12390-3 (2019). Beton – Sertleşmiş beton deneyleri – Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
TS EN 12390-5 (2019). Beton – Sertleşmiş beton deneyleri – Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.
TS EN 206+A2 (2021). Beton – Özellik, performans, imalat ve uygunluk. Türk Standardları Enstitüsü, Ankara.

CAM FİBER TAKVİYELİ POLİPROPİLEN FİLAMANLARDAN FDM YÖNTEMİYLE ÜRETİLEN ÇEKME NUMUNELERİNİN MEKANİK DAVRANIŞINA BASKI AÇISI VE DOLULUK ORANININ ETKİSİ

Güney KARAKUŞ
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey
ORCID: 0009-0009-1630-3018
Arda Batın SUIÇMEZ
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey
ORCID: 0009-0009-9940-1878
Mustafa Özgür BORA
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey
ORCID: 0000-0003-0921-418X
Sinan FİDAN
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey
ORCID: 0000-0003-4385-4981
Satılmış ÜRGÜN
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Aviation Electrics and Electronics, Kocaeli, Turkey
ORCID: 0000-0003-3889-6909
Mehmet İskender ÖZSOY
Sakarya University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Department, Sakarya, Turkey
ORCID: 0000-0001-6777-4818

ÖZET

Bu çalışmada, polipropilen (PP) ve cam fiber takviyeli polipropilen (PP+GF) filamanlardan eriyik yığma modellemesi (FDM) yöntemiyle üretilen ASTM D638 standardına uygun çekme numunelerinin mekanik davranışı incelenmiştir. Baskı açısı (±30° ve ±45°) ve baskı doluluk oranı (%60 ve %100) olmak üzere iki işlem parametresi değiştirilerek toplam sekiz farklı numune grubu üretilmiş ve her grup için üç tekrarlı çekme testi 5 kN yük kapasiteli Instron marka üniversal test cihazında gerçekleştirilmiştir. Maksimum yük (N) ve kopmadaki uzama (mm) değerleri esas alınarak parametrelerin etkisi değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, cam fiber takviyesinin maksimum yük taşıma kapasitesini PP'ye kıyasla yaklaşık 3–4 kat artırdığını ancak uzama kabiliyetini belirgin biçimde düşürdüğünü; baskı açısının ise saf PP numunelerinde sünek davranış üzerinde, PP+GF numunelerinde ise sınırlı biçimde mukavemet üzerinde etkili olduğunu göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Eriyik Yığma Modelleme, Polipropilen, Cam Fiber Takviyeli Kompozit, Çekme Dayanımı, Baskı Parametreleri.

EFFECT OF RASTER ANGLE AND INFILL RATIO ON THE MECHANICAL BEHAVIOR OF TENSILE SPECIMENS OF GLASS FIBER REINFORCED POLYPROPYLENE FILAMENTS BY FDM METHOD

ABSTRACT

This study investigated the mechanical behavior of tensile specimens produced from polypropylene (PP) and glass fiber reinforced polypropylene (PP+GF) filaments using melt deposition modeling (FDM) according to the ASTM D638 standard. Eight different specimen groups were produced by varying two process parameters: compression angle (±30° and ±45°) and compression infill percentage (60% and 100%). For each group, three repeated tensile tests were performed on an Instron brand universal testing machine with a 5 kN load capacity. The effects of the parameters were evaluated based on maximum load (N) and elongation at break (mm) values. The results showed that glass fiber reinforcement increased the maximum load-carrying capacity by approximately 3–4 times compared to PP, but significantly reduced the elongation capacity; and that the compression angle had a limited effect on the ductile behavior in pure PP specimens and on the strength in PP+GF specimens.

Keywords: Fused Deposition Modeling, Polypropylene, Glass Fiber Reinforced Composite, Tensile Strength, Compression Parameters.

1. GİRİŞ

Eklemeli imalat (additive manufacturing, AM) yöntemleri içerisinde en yaygın kullanılan teknik olan eriyik yığma modelleme (Fused Deposition Modeling, FDM), termoplastik filamanların katman katman biriktirilmesi prensibine dayanır ve düşük maliyeti, kullanım kolaylığı ile geniş malzeme yelpazesi sayesinde hem prototipleme hem de fonksiyonel parça üretiminde tercih edilmektedir. Ahn ve arkadaşlarının (2002) öncü çalışmasında, FDM yöntemiyle üretilen parçaların mekanik özelliklerinin yüksek oranda anizotropik olduğu ve baskı yönüne güçlü biçimde bağlı bulunduğu ortaya konulmuştur. Bu anizotropi, katmanlar arası bağ mukavemetinin katman içi filament mukavemetinden düşük olmasından kaynaklanmakta ve parça performansının işlem parametrelerine karşı hassasiyetini belirlemektedir.

Polipropilen (PP), düşük yoğunluğu, kimyasal direnci ve tokluğu nedeniyle endüstride yaygın kullanılan bir termoplastiktir; ancak yarı-kristalin yapısı ve yüksek büzülme eğilimi, PP'nin FDM yöntemiyle başarılı biçimde işlenmesini güçleştirmektedir. Carneiro ve arkadaşları (2015), PP filamanlarla üretilen FDM parçalarında çarpılma (warping) ve katmanlar arası zayıf bağlanma gibi sorunları sistematik biçimde ele almış ve doluluk oranının mekanik performans üzerinde kritik bir parametre olduğunu göstermiştir. Bu dezavantajları azaltmanın etkili

yollarından biri, polimer matrise kısa fiber takviyeleri eklemektir. Tekinalp ve arkadaşları (2014), kısa karbon fiber takviyesinin FDM ile üretilen parçalarda fiber yönlenmesi sayesinde mukavemet ve modülü belirgin biçimde artırdığını, ancak süneklik kaybına yol açtığını rapor etmiştir. Benzer biçimde Ning ve arkadaşları (2015) karbon fiber takviyeli ABS kompozitlerde çekme dayanımının matris polimere göre önemli ölçüde arttığını ortaya koymuştur. Garzon-Hernandez ve arkadaşları (2020) tarafından yapılan sayısal analizlerde, ASTM D638 standardındaki PP numunelerin doluluk oranının %50'den %100'e çıkarılmasının çekme yükü kapasitesini %32 oranında iyileştirdiği saptanmıştır. Araştırmada, %100 doluluk oranına ulaşıldığında malzeme içindeki mikro boşlukların azaldığı ve polimerin yük altında sergilediği sünekliğin maksimum seviyeye çıktığı belirtilmiştir.

FDM parçalarının mekanik davranışı üzerinde baskı yönü (raster orientation), katman kalınlığı, doluluk oranı ve baskı hızı gibi parametrelerin etkisi çok sayıda çalışmada incelenmiştir. Sood ve arkadaşları (2010), Taguchi tasarımına dayalı deneysel bir çalışmada parça oryantasyonu ve raster açısının çekme, eğilme ve darbe dayanımı üzerindeki etkisini ortaya koymuş ve ±45° raster yönlenmesinin birçok durumda daha dengeli bir mekanik davranış sağladığını belirtmiştir. Sodeifian ve arkadaşları (2019) FDM yöntemiyle üretilen PP matrisli parçalara %30 oranında kısa cam fiber takviyesi yapılmasının, malzemenin elastik modülünü %30 ve çekme dayanımını %40 oranında artırdığını tespit etmiştir. Ancak mukavemetteki bu belirgin artışa karşılık, malzemenin sünekliği ciddi ölçüde sınırlandırılmıştır. Bunun temel nedeni, matris yapısı içerisine dağılan rijit cam fiberlerin, uygulanan çekme yükü altında polimer zincirlerinin hareketliliğini ve kayma mekanizmalarını fiziksel olarak engellemesidir. Matrisin plastik deformasyon kabiliyetindeki bu kısıtlanma, PP+GF parçaların saf PP'ye kıyasla çok daha düşük uzama değerlerinde kopmasına ve gevrek (brittle) bir kırılma karakteristiği sergilemesine yol açmaktadır. Fernandez-Vicente ve arkadaşları (2016) ise doluluk oranının ve doluluk desenlerinin çekme davranışı üzerindeki etkisini incelemiş ve %100 doluluğun mukavemeti artırmasına rağmen malzeme başına düşen mukavemet kazancının her zaman doğrusal olmadığını göstermiştir. Zandi ve arkadaşları (2020), ASTM D638 standardına uygun olarak ürettikleri PP+GF numunelerinde doluluk oranının %50'den %100'e çıkarılmasının çekme dayanımını yaklaşık %35 oranında artırdığını saptamıştır. Sayısal veriler, cam fiber takviyesinin saf PP'ye kıyasla maksimum yük taşıma kapasitesini 3 kat artırdığını, ancak polimer zincirlerinin fiberler etrafında kilitlenmesi nedeniyle sünekliğin %80'den fazla azaldığını ortaya koymuştur. Milovanovic ve arkadaşları saf polipropilenin FDM yönteminde kullanılan diğer termoplastiklere kıyasla uygulanan yük altında (2020) belirgin bir plastik

deformasyon yeteneğine sahip olduğunu göstermiş ve doluluk oranının çekme özelliklerine etkisini incelemiştir. Çalışmada, %10, %40**,** %70 ve %100 olmak üzere dört farklı doluluk oranı kullanılarak FDM numuneleri üretilmiştir. Elde edilen bulgular, düşük doluluk oranlarında (örneğin %10 - %40 aralığında) malzemenin yapısal boşluklarından dolayı kopmadaki değerlerinin 50 mm seviyelerinde kaldığını; ancak %100 doluluk oranına ulaşıldığında kesit alanındaki yoğunluğun artmasıyla polimerin yükü çok daha homojen dağıtarak 100 mm'nin üzerinde bir uzama sergilediğini ortaya koymuştur. Bu sonuçlar, FDM ile üretilen PP parçalarda doluluk oranının artırılmasının yalnızca elastik modülü değil, aynı zamanda malzemenin nihai sünekliğini ve maksimum uzama miktarını da doğrudan belirlediğini kanıtlamaktadır. Spoerk ve arkadaşları (2017) ise katman içi ve katmanlar arası mukavemetin eş zamanlı optimizasyonunun parça bütünlüğü açısından belirleyici olduğunu ortaya koymuştur.

Das ve arkadaşları (2018), ASTM D638 standardına uygun olarak ürettikleri dolgulu PP numunelerinde, FDM işlem parametrelerinin mekanik davranış üzerindeki etkisini sistematik olarak incelemiştir. Çalışmada, doluluk oranının artırılmasının çekme dayanımını %25-30 oranında iyileştirdiği, ancak dolgu malzemesinin varlığı nedeniyle polimer zincirlerinin hareketliliğinin kısıtlandığı rapor edilmiştir. Araştırmacılar, baskı açısının değiştirilmesinin malzemenin sünekliği üzerinde belirleyici bir rol oynadığını ve özellikle dolgulu sistemlerde kopmadaki uzama değerlerinin saf malzemeye oranla ciddi şekilde düştüğünü sayısal verilerle ortaya koymuştur (Das ve ark. 2018). Baskı açısının kompozit yapıların mekanik davranışındaki etkisi Elayeb ve arkadaşları tarafından (2023) 0°, 45° ve 90° gibi farklı oryantasyonlar üzerinden incelenmiştir. Çalışmada, fiber yöneliminin uygulanan yük doğrultusu ile çakıştığı 0° baskı açısında en yüksek çekme mukavemeti elde edilirken, yük eksenine dik olan 90° açısında mukavemetin yaklaşık %40–50 oranında azaldığı rapor edilmiştir. Bu durum, yükün fiberler yerine büyük oranda katmanlar arası zayıf bağlar tarafından taşınmasından kaynaklanmaktadır. ±45° gibi çapraz dizilimlerin ise mukavemet ve süneklik arasında daha dengeli bir mekanik dağılım sunduğu, çatlak ilerlemesini filamentler arasında zigzag çizmeye zorlayarak anizotropik kırılma direncini artırdığı ortaya konmuştur. Kumar ve arkadaşları (2022), ASTM D638 standardına uygun olarak hazırladıkları çalışmada, kısa cam fiber takviyesinin PP matrisli parçaların elastik modülünü 2.5 kat artırdığını, ancak bu durumun malzemenin sünekliğinde bir düşüşe yol açtığını göstermiştir. Düşük doluluk oranlarında sünekliğin bir miktar korunduğunu; fakat doluluk oranının %100'e ve fiber oranının hacimsel olarak arttığı durumlarda polimer zincirlerinin fiberler tarafından tamamen

çevrelendiğini ortaya koymuştur. Bu kısıtlanma, malzemenin plastik deformasyon yapamadan ani ve gevrek bir şekilde kırılmasına sebebiyet vermektedir. Hassan ve ekibi (2021) ise yaptıkları testlerde, ±45° baskı açısının saf PP matrisinde filamentlerin birbiri üzerinde kaymasına izin vererek 130 mm'nin üzerinde yüksek bir uzama (süneklik) sağladığını rapor etmiştir. Ancak PP+GF numunelerinde bu açının sağladığı avantajın, fiberlerin matris içi plastik deformasyonu mekanik olarak fiber köprülemesi sonucu kısıtlandığı ve uzama değerlerinin 3.5 mm seviyelerine gerilediği sayısal olarak gösterilmiştir. Çalışma, doluluk oranı arttıkça (özellikle %100 dolulukta) fiber-matris etkileşiminin kuvvetlenerek parçanın dayanımını artırdığını fakat sünekliği doğrudan baskıladığını doğrulamaktadır. Literatürdeki çalışmalar çoğunlukla ABS, PLA veya karbon fiber takviyeli sistemler üzerinde yoğunlaşmış; PP ve cam fiber takviyeli PP (PP+GF) filamanlar için farklı baskı açısı ve doluluk oranlarının birleşik etkisini sistematik biçimde ele alan çalışmalar ise nispeten sınırlı kalmıştır. Oysa PP+GF sistemleri, otomotiv, havacılık iç trim ve fonksiyonel prototipleme gibi uygulamalarda ucuz, hafif ve yeterli dayanıma sahip alternatifler olarak öne çıkmaktadır. Bu bağlamda mevcut çalışmada, PP ve PP+GF filamanlardan ASTM D638 standardına göre üretilen çekme numunelerinin maksimum yük ve kopmadaki uzama değerleri; baskı açısı (±30°, ±45°) ve doluluk oranı (%60, %100) parametreleri değiştirilerek karşılaştırmalı biçimde değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı, fiber takviyesinin ve baskı parametrelerinin PP matrisli FDM parçalarının mekanik davranışına olan etkilerini nicel olarak ortaya koymak ve uygulamaya yönelik parametre seçim önerileri sunmaktır

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışmada matris malzeme olarak ticari polipropilen (PP) filament ve takviyeli sistem olarak kısa cam fiber takviyeli polipropilen (PP+GF) filament kullanılmıştır. Kullanılan tüm filamentler Riiz makine arge proje danışmanlık ve inşaat sanayi ve ticaret limited şirketi firmasından temin edilmiştir. Üretici firma tarafından sağlanan PP ve PP+GF filamentlerine ait temel teknik özellikler Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1. Çalışmada kullanılan PP ve PP+GF filamentlerinin teknik özellikleri.

Teknik Özellik	Değer/Birim
Çap	1.75mm
Tolerans	±0.03mm
Yoğunluk	±0.90g/cm³
Nozul Sıcaklığı	220-250 °C
Tabla Sıcaklığı	80-110 °C

Teknik Özellik	Değer/Birim
MFI (190°C/2.16kg)	24.5g/10 min
Çekme Dayanımı	17 MPa
Eğme Dayanıımı	14 MPa
Rockwell Sertliği (D Ölçeği)	91

Çekme numuneleri, masaüstü bir FDM 3B yazıcıda ASTM D638 standardına (Type I) uygun geometride üretilmiştir. Üretim parametreleri olarak baskı açısı (raster açısı) ±30° ve ±45° olmak üzere iki, doluluk oranı ise %60 ve %100 olmak üzere iki düzeyde seçilmiştir. Bu tasarım çerçevesinde her malzeme için dört farklı parametre kombinasyonu, toplamda ise sekiz numune grubu üretilmiş; her bir grup için üçer tekrar alınarak toplam 24 çekme numunesi hazırlanmıştır. Numune kodlamasına ilişkin ayrıntılar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Numune kodları ve üretim parametreleri

Grup	Malzeme	Baskı Açısı	Doluluk (%)	Tekrar Sayısı
G1	PP	±30°	60	3
G2	PP+GF	±30°	60	3
G3	PP	±45°	60	3
G4	PP+GF	±45°	60	3
G5	PP+GF	±30°	100	3
G6	PP+GF	±45°	100	3
G7	PP	±30°	100	3
G8	PP	±45°	100	3

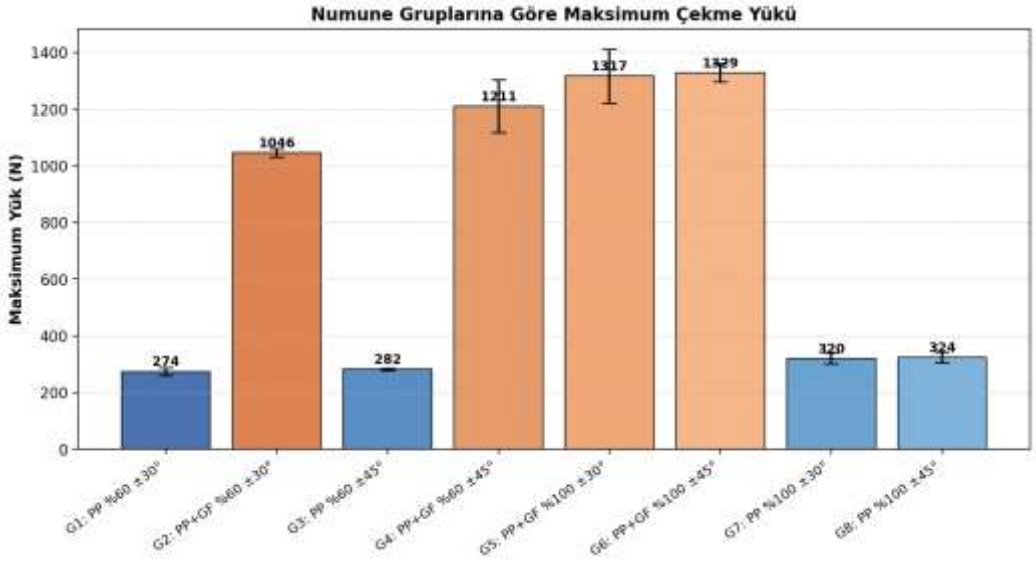
Çekme testleri, 5 kN yük kapasiteli Instron marka üniversal test cihazında oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Test hızı ve çene mesafesi ASTM D638 standardının önerdiği değerler esas alınarak uygulanmıştır. Her bir numuneden elde edilen maksimum yük (N) ve kopmadaki uzama (mm) değerleri kaydedilmiş; her grup için aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar gruplar arası karşılaştırma için sütun grafikleri kullanılarak görselleştirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Sekiz numune grubuna ait maksimum yük ve kopmadaki uzama değerlerinin ortalama ve standart sapma sonuçları Tablo 2'de özetlenmiştir. Maksimum yük karşılaştırması Şekil 1'de, kopmadaki uzama karşılaştırması ise Şekil 2'de sütun grafikleri biçiminde verilmiştir.

Tablo 2. Gruplara göre maksimum yük ve kopmadaki uzama sonuçları

Grup	Numune Tanımı	Maks. Yük Ort. (N)	Std. Sapma (N)	Uzama Ort. ± SS (mm)
G1	PP / %60 / ±30°	273,90	14,58	34,37 ± 9,13
G2	PP+GF / %60 / ±30°	1046,26	14,18	2,98 ± 0,08
G3	PP / %60 / ±45°	281,52	5,13	141,50 ± 7,37
G4	PP+GF / %60 / ±45°	1210,58	92,64	3,25 ± 0,45
G5	PP+GF / %100 / ±30°	1316,58	95,27	3,54 ± 0,15
G6	PP+GF / %100 / ±45°	1329,05	33,47	3,27 ± 0,12
G7	PP / %100 / ±30°	320,44	18,61	41,67 ± 7,89
G8	PP / %100 / ±45°	324,26	18,50	131,06 ± 55,40



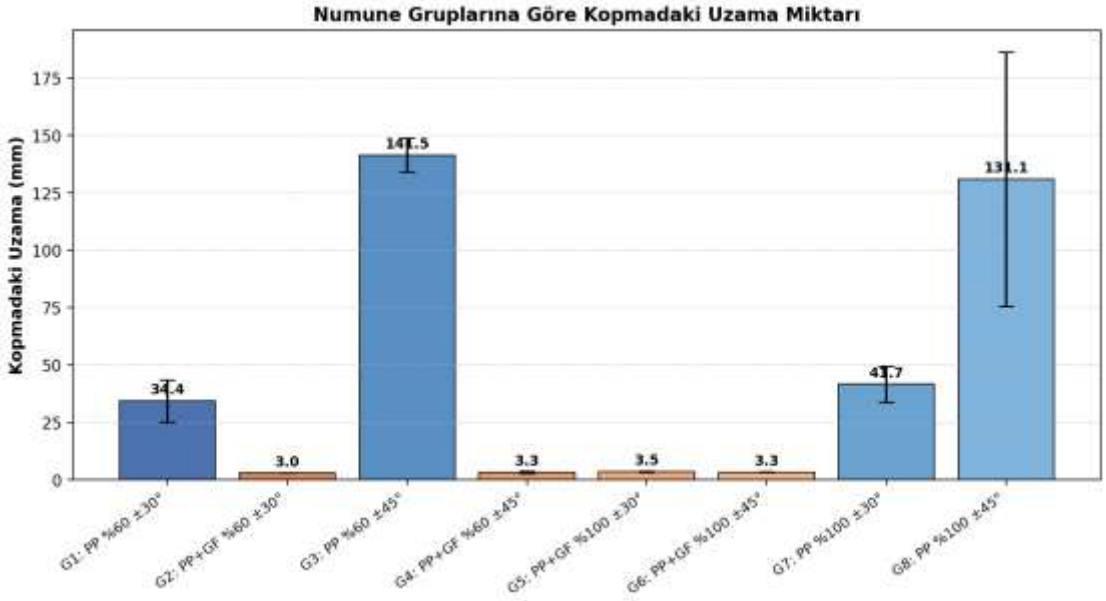
Şekil 1. Numune gruplarına göre maksimum çekme yükü değerleri

Şekil 1'den de görüldüğü üzere, PP+GF numuneleri (G2, G4, G5, G6) tüm parametre kombinasyonlarında saf PP numunelerine (G1, G3, G7, G8) kıyasla çok daha yüksek maksimum yük değerleri sergilemiştir. Saf PP gruplarında ortalama maksimum yük 273,90–324,26 N aralığında kalırken, PP+GF gruplarında bu değer 1046,26–1329,05 N aralığına ulaşmıştır. Bu sonuç, cam fiber takviyesinin yük taşıma kapasitesini yaklaşık 3,8 ile 4,8 kat arasında artırdığını ortaya koymaktadır. Elde edilen davranış, kısa fiber takviyeli FDM kompozitlerde fiberlerin baskı yönü boyunca hizalanması ve yük aktarımında etkili rol oynamasıyla tutarlı olup literatürdeki bulgularla uyumludur Carneiro ve ark 2015; Tekinalp ve ark. 2014).

Doluluk oranının etkisi incelendiğinde, PP+GF grubunda %60 doluluktan %100 doluluğa çıkılmasıyla ±30° açı için ortalama maksimum yük 1046,26 N'dan 1316,58 N'a (yaklaşık %25,8 artış), ±45° açı için ise 1210,58 N'dan 1329,05 N'a (yaklaşık %9,8 artış) yükselmiştir.

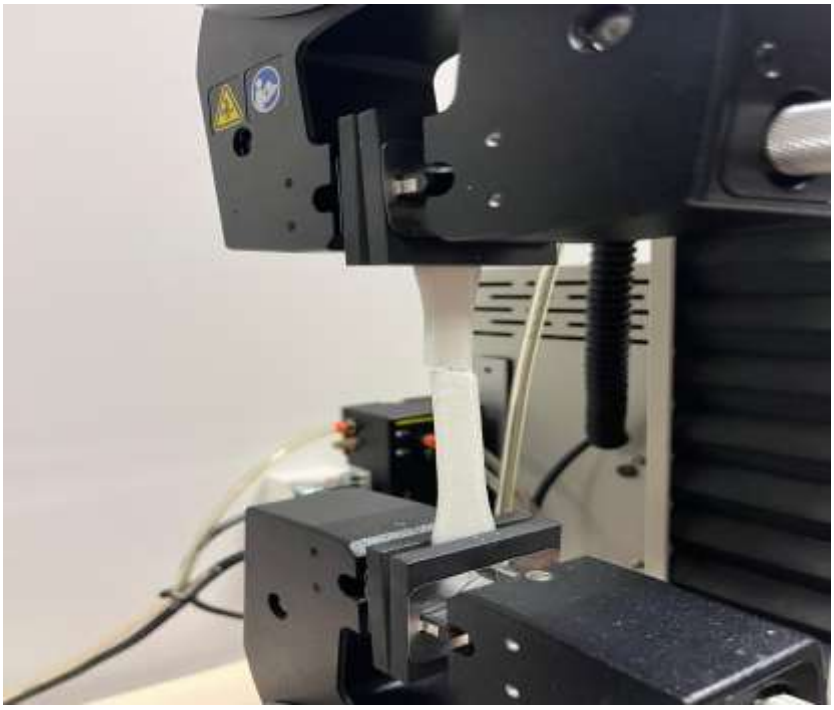
Saf PP numunelerinde de benzer bir eğilim gözlenmiş; ±30° açıda doluluk artışıyla ortalama yük 273,90 N'dan 320,44 N'a, ±45° açıda ise 281,52 N'dan 324,26 N'a çıkmıştır. Doluluk oranı artışının yük taşıma kapasitesine olan olumlu etkisi, kesit içerisindeki etkin malzeme miktarının artması ve boşluk oranının azalmasıyla açıklanabilir; ancak özellikle ±45° yönlenmede PP+GF için kazanımın daha sınırlı kalması, bu açıda zaten fiber–matris yük aktarımının daha dengeli olduğunu ve ilave malzemenin nispi katkısının azaldığını düşündürmektedir (Garzon ve ark 2020).

Baskı açısının etkisi açısından değerlendirildiğinde, PP+GF gruplarında ±30° ile ±45° arasında maksimum yük değerleri görece yakın seyretmiş ve en yüksek ortalama yük ±45°/%100 doluluk (G6: 1329,05 N) grubunda elde edilmiştir. Saf PP numunelerinde ise maksimum yük açısından iki açı arasında çok belirgin bir fark oluşmamıştır (örn. G1: 273,90 N – G3: 281,52 N). Bu bulgu, mukavemet açısından PP matris için baskı açısının tek başına belirleyici olmadığını; asıl belirleyici etkenin takviye varlığı ve doluluk oranı olduğunu göstermektedir.



Şekil 2. Numune gruplarına göre kopmadaki uzama değerleri

Kopmadaki uzama davranışı ise Şekil 2'de açıkça gözlenen çarpıcı farklılıklar sergilemektedir. PP+GF gruplarında kopmadaki uzama yalnızca 2,98–3,54 mm aralığında kalmış; tüm PP+GF grupları birbirine çok yakın, düşük ve dar bantlı uzama değerleri vermiştir. Buna karşılık saf PP gruplarında kopmadaki uzama çok daha yüksek seviyelere ulaşmış ve özellikle ±45° baskı açısında belirgin biçimde artmıştır. ±45° açıda PP numunelerinin ortalama uzaması %60 doluluk için 141,50 mm, %100 doluluk için ise 131,06 mm olarak ölçülmüştür. ±30° açıda ise saf PP'nin ortalama uzaması 34,37–41,67 mm aralığında kalmıştır.



Şekil 3. PP+GF uzama miktarını gösterimi

Bu sonuçlar, saf PP'nin sünek davranışının baskı açısından güçlü biçimde etkilendiğini göstermektedir: ±45° yönlenmede filamanlar yükleme eksenine göre daha simetrik konumlandığı için matris plastik deformasyonu boyunca belirgin bir uzama kapasitesi sergilemekte; ±30° yönlenmede ise kopma, daha kısa bir plastik deformasyon sonrasında meydana gelmektedir. Cam fiber takviyesi eklendiğinde ise fiberler, matrisin plastik akışını sınırlandırmakta ve kompozit sünek-kırılgana yakın bir davranışa yaklaşmaktadır; bu durum PP+GF numunelerinde uzama değerlerinin tüm parametre kombinasyonları için 3 mm civarına inmesine neden olmuştur. Benzer bir mukavemet–süneklik ters korelasyonu, kısa fiber takviyeli FDM kompozitler için Tekinalp ve arkadaşları (2014) ile Ning ve arkadaşları (2015) tarafından da rapor edilmiştir.

G8 grubunda (PP, %100, ±45°) kopmadaki uzama için gözlenen yüksek standart sapma (±55,40 mm), saf PP numunelerinde plastik deformasyon evresinin katman kalitesine ve lokal boşluklara karşı duyarlılığını yansıtmaktadır. Bu nedenle saf PP parçalarda tekrarlanabilir süneklik performansı için katman kalitesinin ve baskı ortamının kontrolü kritik önem taşımaktadır (Sood ve ark 2010; Sodeifian ve ark. 2019).

Genel olarak değerlendirildiğinde, yüksek yük taşıma kapasitesinin öncelikli olduğu uygulamalar için PP+GF filamanın tercih edilmesi ve özellikle ±45° baskı açısı ile %100 doluluk kombinasyonunun (G6) kullanılması önerilmektedir. Yüksek enerji yutma kapasitesi ve büyük uzama isteminin ön plana çıktığı uygulamalarda ise saf PP'nin ±45° baskı açısıyla üretilmesi, yük düzeyi sınırlı kalsa da belirgin bir süneklik avantajı sağlamaktadır.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, PP ve PP+GF filamanlardan FDM yöntemiyle ASTM D638 standardına uygun olarak üretilen çekme numunelerine 5 kN kapasiteli Instron üniversal test cihazında çekme testi uygulanmış; baskı açısı (±30°, ±45°) ve doluluk oranının (%60, %100) maksimum yük ve kopmadaki uzama üzerindeki etkileri incelenmiştir. Elde edilen başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- Cam fiber takviyesi, maksimum yük taşıma kapasitesini PP'ye göre yaklaşık 3,8–4,8 kat artırmış; PP+GF gruplarında ortalama yük 1046–1329 N aralığına ulaşmıştır.
- Doluluk oranının %60'tan %100'e çıkarılması her iki malzemede de maksimum yükü artırmış; en yüksek artış PP+GF/±30° kombinasyonunda (%25,8) gözlenmiştir.
- Kopmadaki uzama açısından saf PP, PP+GF'ye kıyasla çok daha yüksek değerler vermiş; özellikle ±45° baskı açısında uzama 131–142 mm seviyelerine ulaşmıştır. PP+GF'de ise uzama, tüm gruplarda yaklaşık 3 mm civarında kalmıştır.
- Mukavemet–süneklik arasındaki ters ilişki açıkça gözlenmiş; yüksek dayanım gerektiren uygulamalar için PP+GF / ±45° / %100 doluluk kombinasyonu, yüksek süneklik gerektiren uygulamalar için ise saf PP / ±45° kombinasyonu öne çıkmaktadır.

Elde edilen bulgular, PP tabanlı FDM parçalarında malzeme seçiminin ve baskı parametrelerinin uygulama gereksinimleri doğrultusunda birlikte optimize edilmesi gerektiğini göstermektedir. Gelecek çalışmalarda fiber oranının, katman kalınlığının ve baskı sıcaklığının ilave parametreler olarak değerlendirilmesi ve mikroyapısal incelemelerle (SEM, boşluk analizi) desteklenmesi planlanmaktadır.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destek Programı kapsamında desteklenmiştir (TÜBİTAK Proje No: 1919B012405120). Yazarlar, Kocaeli Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi Aşınma Laboratuvarı olanaklarının kullanımından dolayı teşekkürlerini sunar.

Kaynaklar

Ahn, S.H., Montero, M., Odell, D., Roundy, S., & Wright, P.K. (2002). Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS. Rapid Prototyping Journal, 8(4), 248–257.
Carneiro, O.S., Silva, A.F., & Gomes, R. (2015). Fused deposition modeling with polypropylene. Materials & Design, 83, 768–776.
Das, A., Gilmer, E. L., Biria, S., & Baird, D. G. (2018). Importance of convergence and non-isothermal crystallization on the adhesion of particles in fused deposition modeling. Additively Manufactured Infill Patterns and Mechanical Properties of a Filled Polypropylene.

Elayeb, A., Ahmed, A., & Klarić, S. (2023). Influence of raster angle on mechanical properties of 3d printed carbon fiber reinforced polylactic acid (CF-PLA). Structural Integrity and Life, 23(1), 75-79.
Fernandez-Vicente, M., Calle, W., Ferrandiz, S., & Conejero, A. (2016). Effect of infill parameters on tensile mechanical behavior in desktop 3D printing. 3D Printing and Additive Manufacturing, 3(3), 183–192.
Garzon-Hernandez, S., Garcia-Gonzalez, D., Arias, A., & Rodriguez-Martinez, J. A. (2020). A continuum constitutive model for FDM 3d printed thermoplastics. Composites Part B: Engineering, 197, 108373.
Hassan, M. Z., Roslan, S. A., Isaril, N. N. I., & Rasid, Z. A. (2021). Mechanical behavior of 3d printed polypropylene/glass fiber composites: The role of raster angle and infill density. Polymers, 13(10), 1654.
Kumar, R., Singh, R., & Ahuja, I. P. S. (2022). Mechanical and thermal characterization of FDM printed Polypropylene composites. Materials Chemistry and Physics, 287, 126511.
Milovanović, J., Stojković, P., Živković, M., & Rakic, D. (2020). Mechanical properties of 3D printed objects made of polypropylene. Structural Integrity and Life, 20(3), 299-302.
Ning, F., Cong, W., Qiu, J., Wei, J., & Wang, S. (2015). Additive manufacturing of carbon fiber reinforced thermoplastic composites using fused deposition modeling. Composites Part B: Engineering, 80, 369–378.
Sodeifian, G., Ghaseminejad, S., & Yousefi, A. A. (2019). Preparation of polypropylene/short glass fiber composite as Fused Deposition Modeling (FDM) filament. Results in Physics, 12, 205-222.
Sood, A.K., Ohdar, R.K., & Mahapatra, S.S. (2010). Parametric appraisal of mechanical property of fused deposition modelling processed parts. Materials & Design, 31(1), 287–295.
Spoerk, M., Arbeiter, F., Cajner, H., Sapkota, J., & Holzer, C. (2017). Parametric optimization of intra- and inter-layer strengths in parts produced by extrusion-based additive manufacturing of poly(lactic acid). Journal of Applied Polymer Science, 134(41), 45401.
Tekinalp, H.L., Kunc, V., Velez-Garcia, G.M., Duty, C.E., Love, L.J., Naskar, A.K., Blue, C.A., & Ozcan, S. (2014). Highly oriented carbon fiber–polymer composites via additive manufacturing. Composites Science and Technology, 105, 144–150.
Zandi, M. D., Erberdi, S., & Shakoor, M. (2020). Effect of short glass fiber reinforcement on the mechanical properties of 3d printed polypropylene. Materials Today: Proceedings, 26, 452-457.

KORUYUCU ARGON ATMOSFERI ALTINDA FIBER LAZERLE SINTERLEME YÖNTEMIYLE PMMA YÜZEYLERDE MIKRON BOYUTLU BAKIR TOZLARINDAN İLETKEN HAT ÜRETIMI VE KARAKTERIZASYONU

Furkan ÜNAL
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey
ORCID: 0009-0002-2397-2788
Mustafa KÜDÜR
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey
ORCID: 0009-0003-0885-7148
Sinan FİDAN
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey
ORCID: 0000-0003-4385-4981
Mustafa Özgür BORA
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey
ORCID: 0000-0003-0921-418X
Satılmış ÜRGÜN
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Aviation Electrics and Electronics, Kocaeli, Turkey
ORCID: 0000-0003-3889-6909
Mehmet İskender ÖZSOY
Sakarya University, Faculty of Engineering, Mechanical Engineering Department, Sakarya, Turkey
ORCID: 0000-0001-6777-4818

ÖZET

Esnek elektronik uygulamalarının yaygınlaşması, polimer altlıklar üzerinde düşük maliyetli iletken hatların üretimini kritik bir araştırma alanı hâline getirmiştir. Bu çalışmada, 100 W gücünde bir fiber lazer kullanılarak polimetil metakrilat (PMMA) yüzeyler üzerinde mikron boyutlu bakır (Cu) tozlarının sinterlenmesiyle iletken hatlar oluşturulmuş ve koruyucu argon (Ar) atmosferinin süreç üzerindeki etkisi sistematik olarak incelenmiştir. Lazer gücü (12,5–20 W), tarama hızı (500–1250 mm/s) ve frekans (50/150 kHz) değişkenlerinden oluşturulan dokuz parametre seti, hem açık (normal) atmosferde hem de argon koruyucu atmosferinde uygulanarak toplam 18 numune üretilmiştir. Numuneler optik mikroskopi, temassız lazer profilometre (ISO 25178 ve ISO 4287) ve dört terminalli (Kelvin) elektriksel ölçüm yöntemleriyle karakterize edilmiştir. Sonuçlar, açık atmosferde yüksek enerji girdili koşullarda şiddetli oksidasyon ve yüzey bozunması geliştiğini (Sa değerinin 323 µm mertebesine ulaştığını), argon atmosferinin ise aynı parametrelerde yüzey bütünlüğünü koruyarak ortalama alansal pürüzlülüğü yaklaşık altı kat azalttığını göstermiştir. Ölçülebilen argon numunelerinin eşdeğer kapasitans değerlerinin (ortalama 270 nF) normal atmosfer numunelerinden (197 nF) belirgin biçimde yüksek olması, daha yoğun ve sürekli bir bakır tabakasının oluştuğuna işaret etmektedir. Direnç değerlerinin kΩ mertebesinde kalması, tam metalik iletkenlik için işlem

sonrası redüksiyon ve ek sinterleme adımlarına gereksinim olduğunu ortaya koymuştur. Bulgular, koruyucu atmosfer destekli fiber lazer sinterlemenin polimer üzerine iletken hat üretiminde uygulanabilir ve geliştirilebilir bir yöntem olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Fiber lazer sinterleme, bakır tozu, PMMA, koruyucu argon atmosferi, iletken hat, yüzey pürüzlülüğü, esnek elektronik

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF CONDUCTIVE LINES FROM MICRON-SIZED COPPER POWDERS ON PMMA SURFACES BY FIBER LASER SINTERING METHOD UNDER PROTECTIVE ARGON ATMOSPHERE

ABSTRACT

The rapid growth of flexible electronics has made the fabrication of low-cost conductive tracks on polymer substrates a critical research field. In this study, conductive tracks were produced on polymethyl methacrylate (PMMA) substrates by sintering micron-sized copper (Cu) powders with a 100 W fiber laser, and the effect of a protective argon (Ar) atmosphere on the process was systematically investigated. Nine parameter sets composed of laser power (12.5–20 W), scanning speed (500–1250 mm/s) and pulse frequency (50/150 kHz) were applied under both ambient and argon atmospheres, producing a total of 18 samples. The samples were characterized by optical microscopy, non-contact laser profilometry (ISO 25178 and ISO 4287) and four-terminal (Kelvin) electrical measurements. The results revealed severe oxidation and surface degradation under high energy input in ambient atmosphere (Sa reaching 323 µm), whereas the argon atmosphere preserved surface integrity at identical parameters and reduced the average areal roughness approximately six-fold. The higher equivalent capacitance of the measurable argon samples (270 nF on average) compared with the ambient samples (197 nF) indicates the formation of a denser and more continuous copper layer. Resistance values remaining in the kΩ range demonstrate that post-process reduction and additional sintering steps are required to achieve full metallic conductivity. The findings show that protective-atmosphere-assisted fiber laser sintering is a feasible and improvable route for fabricating conductive tracks on polymers.

Keywords: Fiber laser sintering, copper powder, PMMA, protective argon atmosphere, conductive track, surface roughness, flexible electronics

1. GİRİŞ

Esnek ve baskılı elektronik teknolojilerinin hızla gelişmesi; sensörler, dokunmatik paneller, giyilebilir cihazlar ve anten yapıları gibi uygulamalar için polimer altlıklar üzerinde iletken desenlerin üretimini önemli bir araştırma konusu hâline getirmiştir (Kamyshny ve ark. 2014; Perelaer ve ark. 2012). Geleneksel baskı devre üretim teknikleri çok adımlı, maliyetli ve

çoğunlukla çevreye zararlı kimyasal süreçler içerdiğinden; lazerle seçici sinterleme gibi temassız, hızlı ve maskesiz doğrudan yazma yöntemleri güçlü bir alternatif olarak öne çıkmaktadır (Kwon ve ark. 2016; Hernandez ve ark.2020).

İletken faz olarak gümüş yaygın biçimde kullanılmakla birlikte, bakır (Cu) mükemmel elektriksel ve termal iletkenliğine karşın gümüşe kıyasla çok daha düşük maliyeti nedeniyle güçlü bir adaydır (Kamyshny ve ark. 2014). Ancak bakırın en önemli dezavantajı, yüksek sıcaklıklarda kolayca oksitlenerek iletkenliğini yitirmesidir; oluşan bakır oksit (Cu_2O/CuO) tabakaları hattın elektriksel direncini önemli ölçüde artırmaktadır (Kwon ve ark. 2016; Hernandez ve ark.2020). Literatürde bu sorunun; indirgeyici/inert atmosferler, oksidasyonsuz düşük sıcaklık sinterleme stratejileri ve altlık ön işlemleri ile sınırlandırılabileceği gösterilmiştir (Kwon ve ark. 2016; Hernandez ve ark.2020; Olsen ve ark. 2021). Öte yandan mevcut çalışmaların büyük bölümü nano boyutlu bakır pastaları ve PET/PI gibi altlıklara odaklanmakta; mikron boyutlu bakır tozlarının PMMA gibi düşük camsı geçiş sıcaklıklı bir polimer üzerinde, koruyucu gaz hücresi içinde fiber lazerle sinterlenmesine ilişkin sistematik veriler sınırlıdır.

Bu çalışmanın amacı, 100 W'lık bir fiber lazer kullanılarak PMMA yüzeyler üzerinde mikron boyutlu bakır tozlarından iletken hatlar oluşturulması ve koruyucu argon atmosferinin süreç çıktıları üzerindeki etkisinin nicel olarak ortaya konulmasıdır. Çalışmanın araştırma sorusu, "fiber lazerle sinterleme yöntemiyle polimer yüzeylerde mikron boyutlu bakır tozlarıyla iletken hatlar oluşturulabilir mi ve koruyucu gaz atmosferi bu süreci nasıl etkiler?" biçiminde tanımlanmıştır. Çalışmanın hipotezi, koruyucu argon atmosferi altında yapılan işlemin bakırın oksidasyonunu azaltarak daha kaliteli yüzey ve daha bütünleşik/iletken hatlar sağlayacağı yönündedir. Bu amaçla dokuz lazer parametre seti iki farklı atmosferde birebir eşleştirilmiş deney tasarımıyla uygulanmış ve numuneler morfolojik, topografik ve elektriksel açıdan karşılaştırmalı olarak karakterize edilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

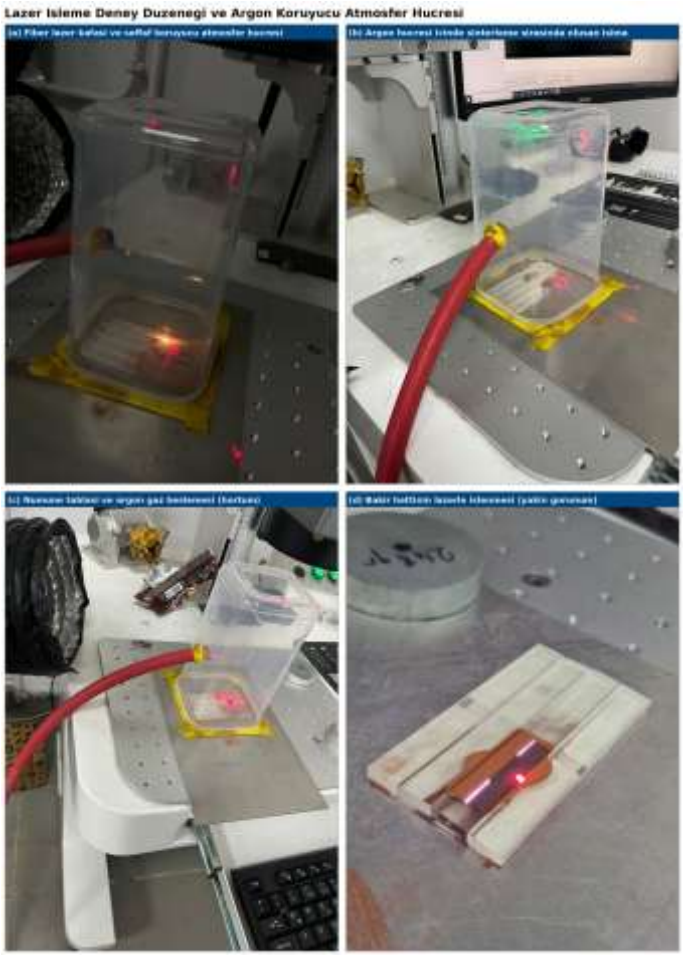
2.1. Malzeme ve Numune Hazırlığı

Altlık malzemesi olarak polimetil metakrilat (PMMA) levhalar kullanılmıştır. PMMA'nın düşük camsı geçiş sıcaklığı (105 °C) ve termal bozunma eşiği (300 °C) ile bakırın ergime noktası (1085 °C) arasındaki büyük fark nedeniyle, doğrudan tam ergitme yerine katı-hâl sinterleme ve yüzey füzyonu stratejisi benimsenmiştir. PMMA yüzeyleri, toz tutunmasını ve mekanik kilitlenmeyi artırmak amacıyla hat güzergâhı boyunca zımpara ile yönlü olarak pürüzlendirilmiş, ardından aseton ile temizlenerek yağ ve nemden arındırılmıştır. İletken

malzeme olarak mikron boyutlu bakır tozu hat güzergâhına serilerek lazer sinterlemeye hazır hâle getirilmiştir.

2.2. Fiber Lazer Sistemi ve Koruyucu Atmosfer Hücresi

Sinterleme işlemleri 100 W gücünde bir fiber lazer sistemi ile gerçekleştirilmiştir. Argon numunelerinde oksidasyonu önlemek amacıyla numune ve altlık, şeffaf bir koruyucu atmosfer hücresi içine alınmış ve hücreye sürekli argon gazı beslenerek ortamdaki oksijen uzaklaştırılmıştır (Şekil 1). Bu düzenek, normal ve argon koşullarının yalnızca atmosfer bakımından farklılaştığı, diğer tüm işlem koşullarının sabit tutulduğu kontrollü bir karşılaştırmaya olanak vermiştir.



Şekil 1. Lazer işleme deney düzeneği: (a) fiber lazer kafası ve şeffaf koruyucu atmosfer hücresi, (b) hücre içinde sinterleme sırasında oluşan ışıma, (c) numune tablası ve argon gaz beslemesi, (d) bakır hattın lazerle işlenmesinin yakın görünümü.

2.3. Deneysel Tasarım ve Lazer Parametreleri

Deneysel tasarımda üç bağımsız değişken incelenmiştir: lazer gücü (12,5–20 W), tarama hızı (500–1250 mm/s) ve frekans (50 ve 150 kHz). Bu değişkenlerin kombinasyonlarından dokuz parametre seti oluşturulmuş (Tablo 1) ve her set iki atmosferde uygulanarak toplam 18 numune üretilmiştir. Yalnızca sayı ile adlandırılan numuneler (1–9) normal atmosferi, başında “A”

bulunan numuneler (A-1…A-9) argon koruyucu atmosferini temsil etmektedir. Böylece aynı lazer parametreleriyle üretilen normal ve argon numuneleri birebir eşleştirilerek karşılaştırılabilmiştir. Birim uzunluğa aktarılan enerji güçle doğru, tarama hızıyla ters orantılı olduğundan en yüksek enerji girdisi düşük hız–yüksek güç kombinasyonlarında (ör. Set 5: 20 W / 500 mm/s) elde edilmektedir.

Tablo 1. Numunelerin üretiminde kullanılan lazer parametreleri (her set hem normal hem argon atmosferinde uygulanmıştır).

Numune (Normal / Argon)	Lazer Gücü (W)	Tarama Hızı (mm/s)	Frekans (kHz)
1 / A-1	15	500	50
2 / A-2	15	750	50
3 / A-3	15	1000	150
4 / A-4	15	1250	150
5 / A-5	20	500	50
6 / A-6	20	750	50
7 / A-7	20	1000	150
8 / A-8	20	1250	150
9 / A-9	12,5	500	150

2.4. Karakterizasyon Yöntemleri

Yüzey morfolojisi 10× büyütmeli optik mikroskop ile incelenmiştir. Yüzey topografyası ve pürüzlülüğü, temassız lazer profilometre ile 2000 × 2000 µm'lik alanlar üzerinden ölçülmüş; ISO 25178 (2012) alansal yükseklik parametreleri (Sa, Sq, Sz) ile ISO 4287 çizgisel profil parametreleri (Ra, Rz) elde edilmiştir.

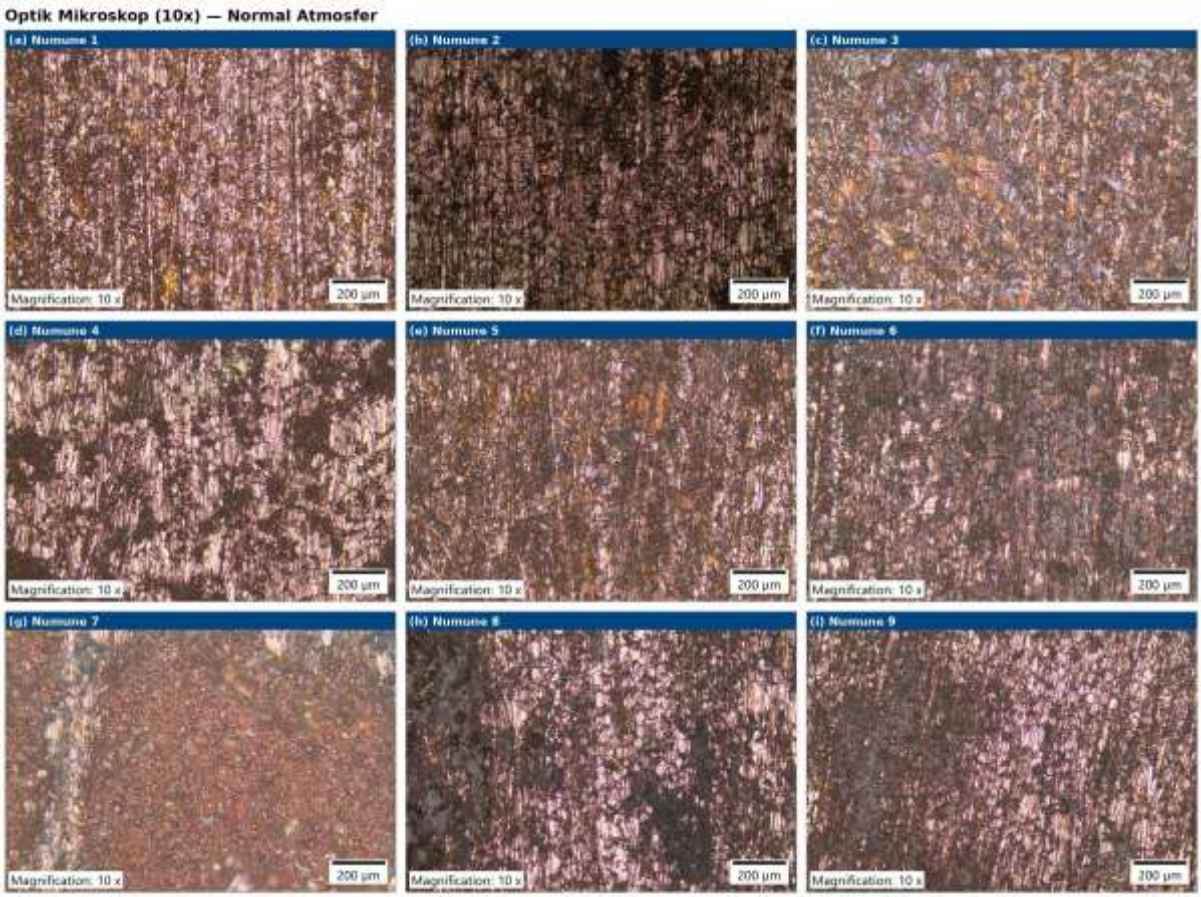
İletken hatların elektriksel özellikleri dört terminalli (Kelvin) bağlantı yöntemiyle ölçülmüştür. Bu yöntemde ölçüm sinyalini uygulayan akım uçları ile numune üzerindeki potansiyeli algılayan gerilim uçları fiziksel olarak ayrılmıştır; gerilim algılama kolunun giriş empedansı çok yüksek olduğundan kablo ve uç–numune temas dirençleri ölçüme karışmaz. Bu durum özellikle düşük empedanslı numunelerde doğru ölçüm için kritiktir. Numunenin empedansı, uygulanan akım (I) ve algılanan gerilim (V) üzerinden $Z = V / I$ bağıntısıyla hesaplanmış; her numune için eşdeğer kapasitans (C) ve direnç (R) değerleri kaydedilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Yüzey Morfolojisi

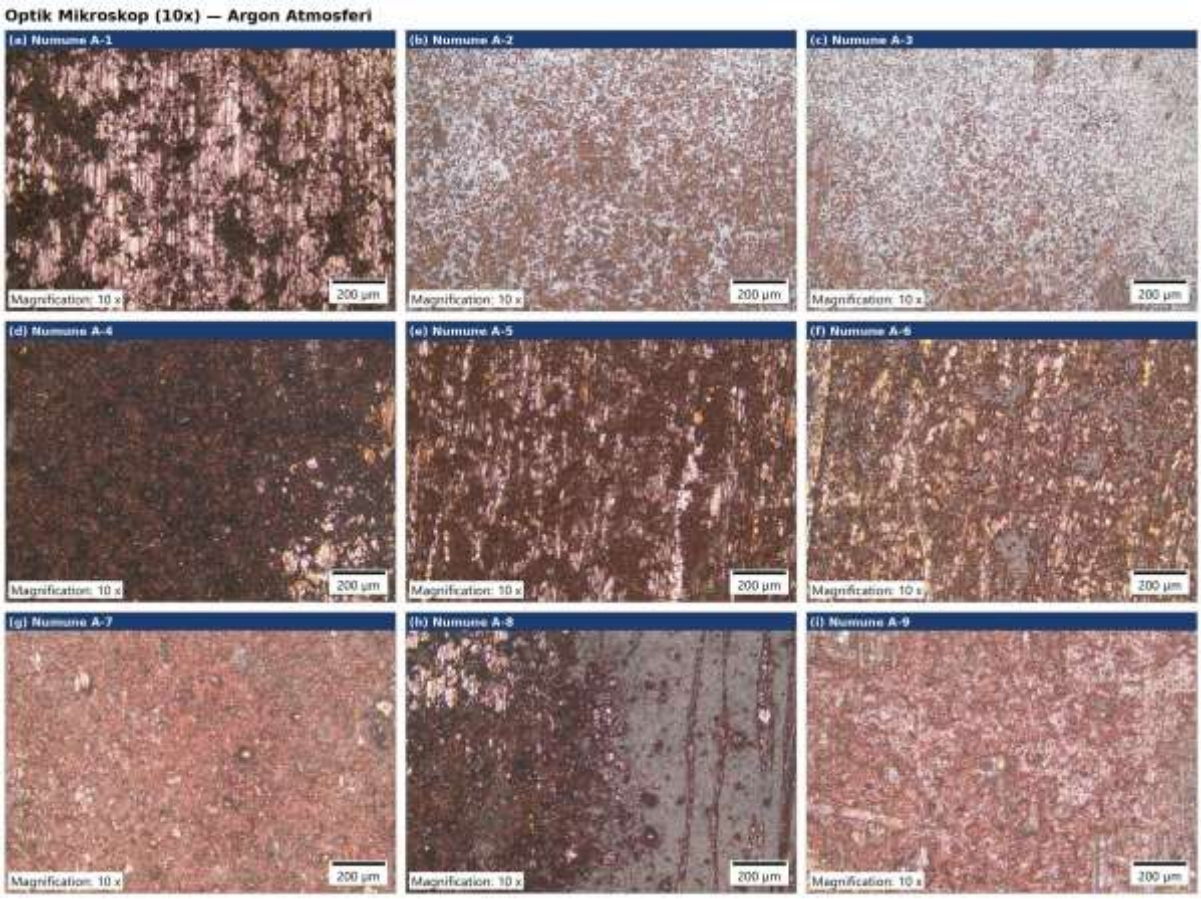
Normal ve argon atmosferi numunelerinin 10× optik mikroskop görüntüleri sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3'te sunulmuştur. Tüm numunelerde bakır tozlarının polimer yüzeye lazer taraması boyunca sinterlendiği ve paralel tarama izlerinin oluştuğu görülmektedir. Normal atmosferde düşük–orta enerji girdili numuneler (Numune 1, 2 ve 6) görece homojen ve düzenli tarama izlerine sahipken; Numune 4 ve 5'te yüzeyde belirgin koyulaşma, düzensiz ve kesikli bölgeler

ile lokal aşırı ısınma izleri baskındır. Bu görünüm, açık ortamda işlem sırasında yoğun oksidasyon ve düzensiz ergime/sıçrama ile uyumludur; artan enerji girdisiyle birlikte oksit oluşumuna bağlı koyulaşma ve düzensizlik artmaktadır.



Şekil 2. Normal atmosfer numunelerinin (a–i: Numune 1–9) 10× optik mikroskop görüntüleri.

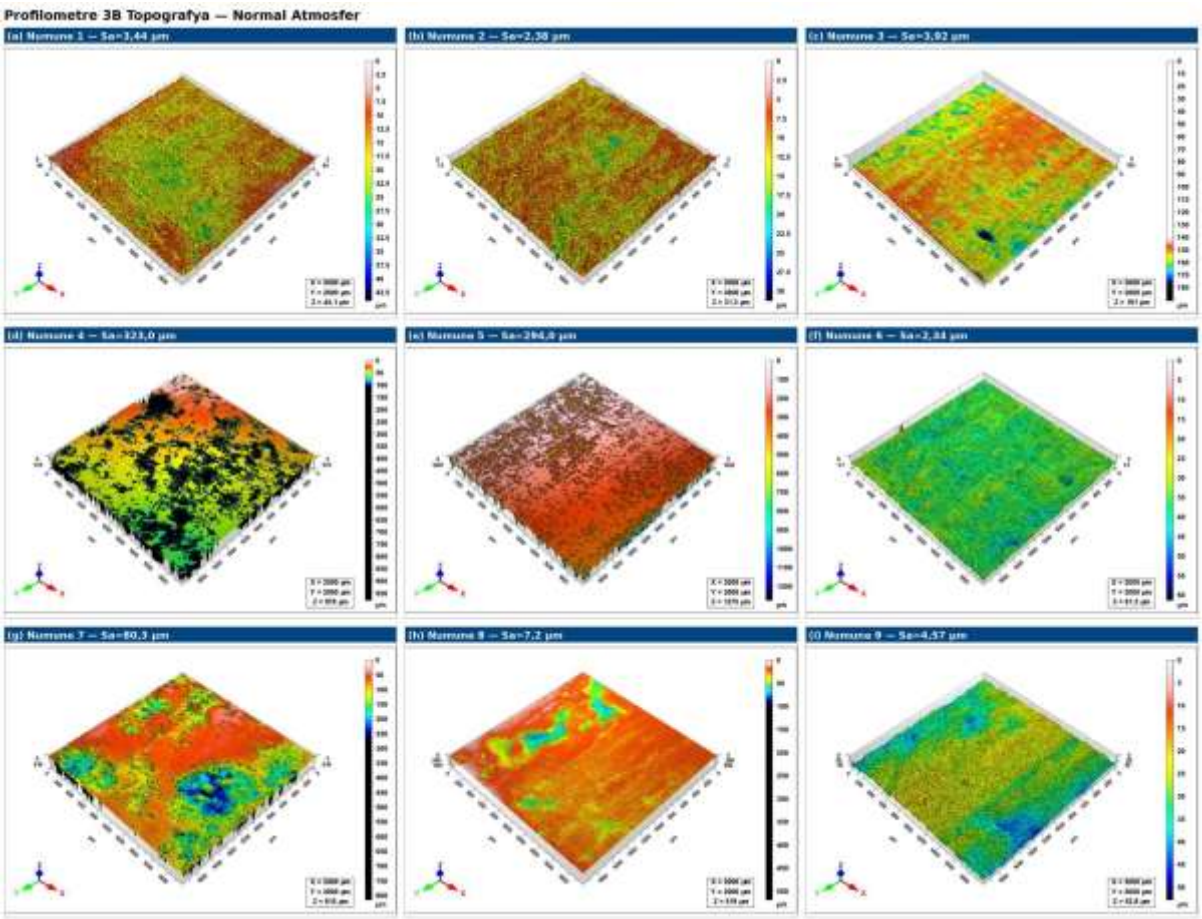
Aynı parametrelerle argon altında üretilen numunelerde ise bakır tozlarının genel olarak daha bütünleşik ve homojen dağıldığı, yüzeydeki koyu (oksitlenmiş) bölgelerin belirgin biçimde azaldığı gözlenmektedir (Şekil 3). Özellikle normal atmosferde ileri derecede bozulan setlerin argon karşılıkları olan A-4, A-5 ve A-7 numunelerinde yüzey bütünlüğünün korunduğu ve daha düzgün bir kaplama elde edildiği görülmektedir. Öte yandan A-1 ve A-2 numunelerinde yer yer düzensizlikler bulunması, atmosfer dışındaki işlem parametrelerinin de morfolojiyi belirlediğini göstermektedir.



Şekil 3. Argon atmosferi numunelerinin (a–i: Numune A-1…A-9) 10× optik mikroskop görüntüleri.

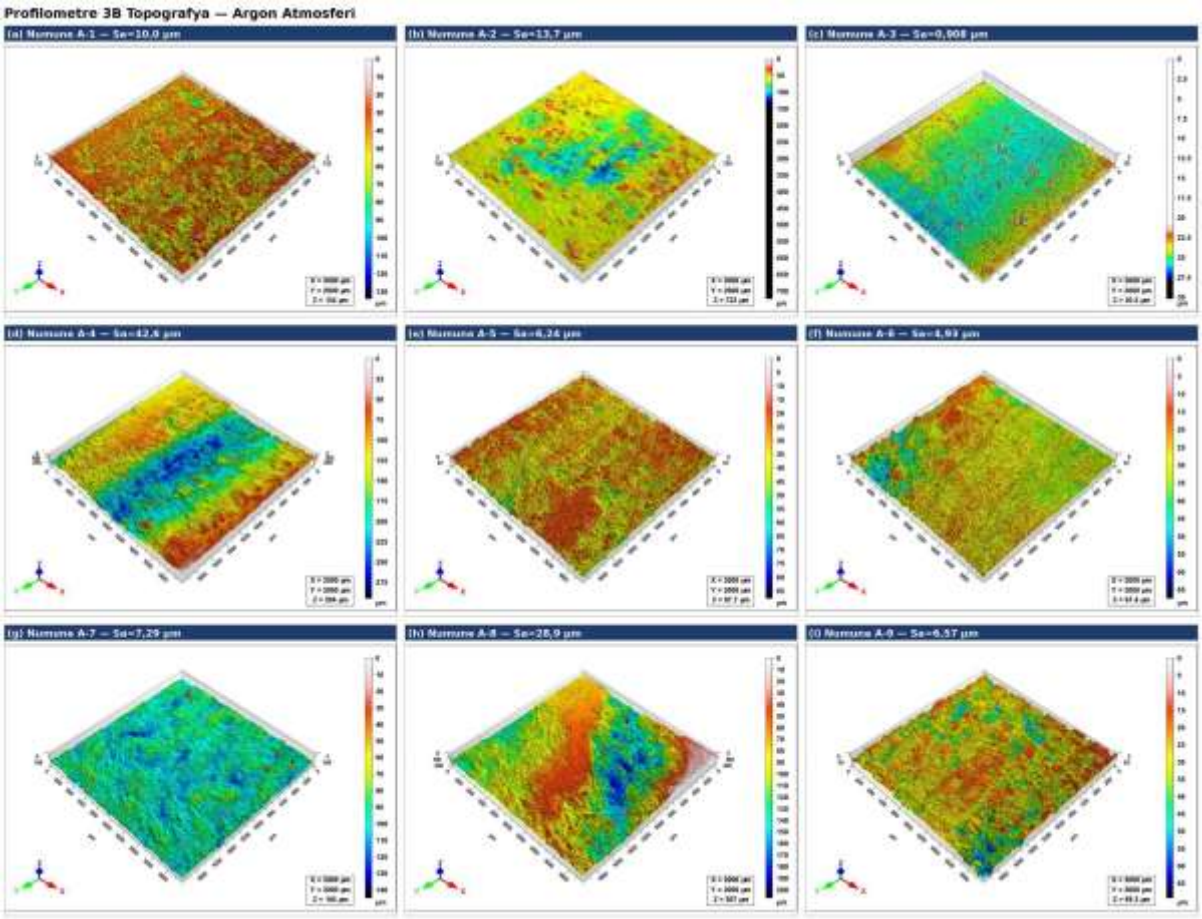
3.2. Yüzey Topografyası ve Pürüzlülük

Lazer profilometre ile elde edilen üç boyutlu topografya haritaları Şekil 4 ve Şekil 5'te, ölçülen alansal ve çizgisel pürüzlülük değerleri Tablo 2'de sunulmuştur. Normal atmosfer numunelerinde Sa değeri geniş bir aralıkta değişmekte; iyi sinterlenmiş numunelerde 2–4 µm mertebesinde kalırken (Numune 1, 2, 6), yüksek enerjili Numune 4 ve 5'te sırasıyla 323 ve 294 µm'ye ulaşmakta, Numune 7'de ise 80,3 µm olmaktadır. Sz değerlerinin bu numunelerde 800–1275 µm aralığına çıkması, ciddi yüzey bozunmasına ve malzeme kaybına işaret etmektedir.



Şekil 4. Normal atmosfer numunelerinin (a–i: Numune 1–9) profilometre 3B yüzey topografyaları (ölçüm alanı 2000 × 2000 µm).

Argon numunelerinde ise en yüksek Sa değeri 42,6 µm (A-4) ile sınırlı kalmış; kritik setlerin argon karşılıkları çok daha düşük pürüzlülük vermiştir (A-5: 6,24 µm; A-7: 7,29 µm). Dokuz setin ortalaması alındığında Sa, normal atmosferde 80 µm iken argon atmosferinde 13,5 µm'ye düşmektedir; bu, argonun ortalama yüzey pürüzlülüğünü yaklaşık altı kat azalttığını göstermektedir (Şekil 5).



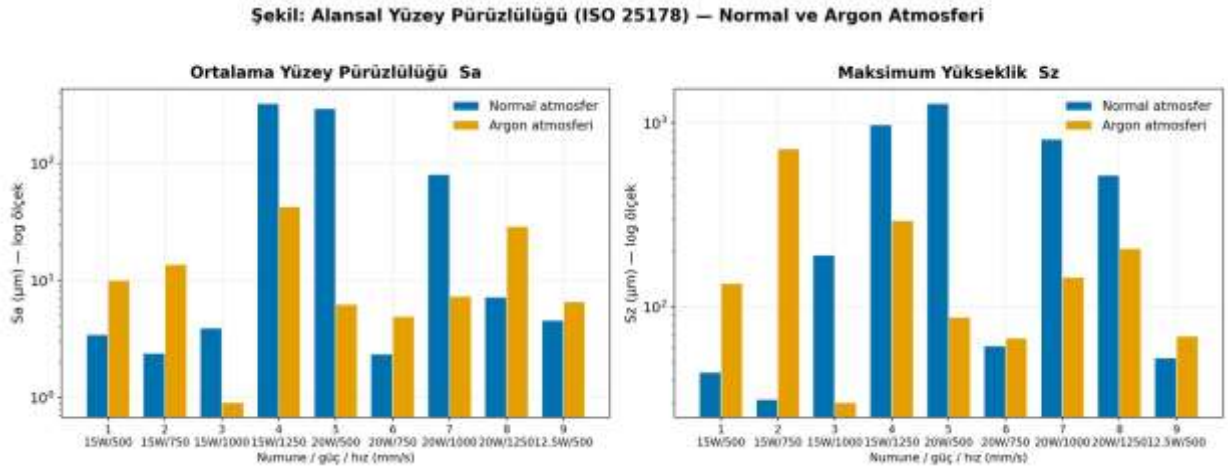
Şekil 5. Argon atmosferi numunelerinin (a–i: Numune A-1…A-9) profilometre 3B yüzey topografyaları (ölçüm alanı 2000 × 2000 µm).

Tablo 2. Numunelerin yüzey pürüzlülüğü ölçüm sonuçları (ISO 25178 alansal ve ISO 4287 çizgisel parametreler).

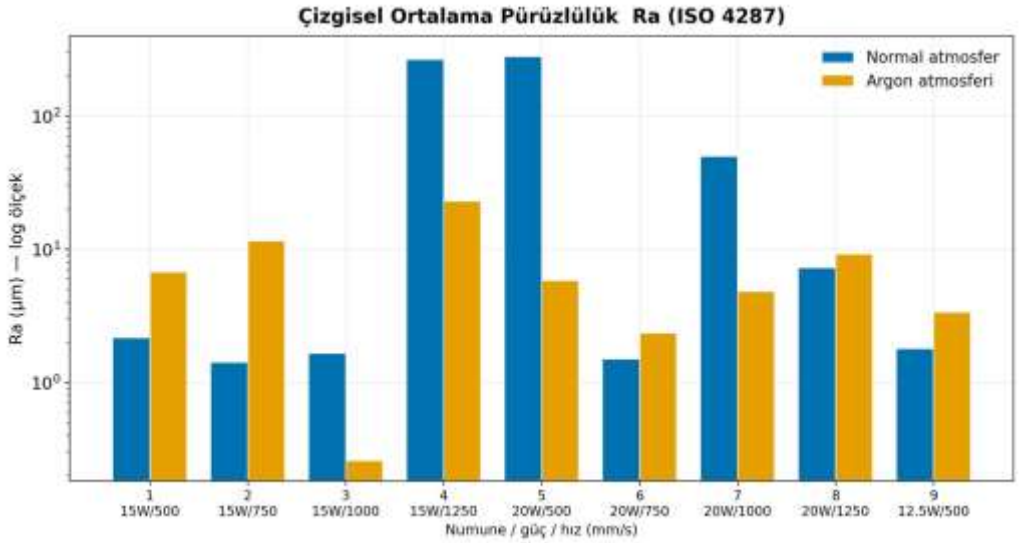
Numune	Atmosfer	Sa (µm)	Sq (µm)	Sz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
1	Normal	3,44	4,4	44,1	2,16	15,1
2	Normal	2,38	3,06	31,3	1,42	9,23
3	Normal	3,92	6,63	191	1,66	9,01
4	Normal	323	383	979	265	981
5	Normal	294	368	1275	279	965
6	Normal	2,34	3,2	61,3	1,5	12,1
7	Normal	80,3	160	815	49,8	695
8	Normal	7,2	12,1	519	7,27	44,5
9	Normal	4,57	5,59	52,8	1,8	14,3
A-1	Argon	10	12,9	134	6,72	38
A-2	Argon	13,7	31,8	723	11,6	69,1
A-3	Argon	0,908	1,45	30,2	0,259	3,11
A-4	Argon	42,6	50,1	294	23	100
A-5	Argon	6,24	7,9	87,7	5,83	32,8
A-6	Argon	4,93	6,46	67,4	2,36	17,1
A-7	Argon	7,29	9,28	145	4,83	25,9
A-8	Argon	28,9	35,4	207	9,23	57,3

Numune	Atmosfer	Sa (µm)	Sq (µm)	Sz (µm)	Ra (µm)	Rz (µm)
A-9	Argon	6,57	8,45	69,3	3,38	18,4

Sa, Sz ve Ra parametrelerinin iki atmosfer için karşılaştırmalı grafikleri Şekil 6 ve Şekil 7'de logaritmik ölçekte verilmiştir. Grafikler, 4, 5 ve 7 numaralı setlerde normal atmosfer değerlerinin argon değerlerinin çok üzerinde yer aldığını, yani argonun bu yüksek enerjili koşullarda pürüzlülüğü onlarca kat azalttığını açıkça göstermektedir. Buna karşılık 1, 6 ve 9 gibi düşük pürüzlü setlerde iki atmosfer benzer, hatta bazı durumlarda normal atmosfer bir miktar daha düşük değerler vermektedir. Dolayısıyla argonun asıl belirleyici katkısı, ortalama pürüzlülüğü düşürmenin ötesinde, yüksek enerji girdisinde ortaya çıkan katastrofik yüzey bozunmasını (Sa > 80 µm) önleyerek süreci kararlı hâle getirmesidir.



Şekil 6. Alansal yüzey pürüzlülüğü (Sa ve Sz) parametrelerinin normal ve argon atmosferi için karşılaştırması (logaritmik ölçek).



Şekil 7. Çizgisel ortalama pürüzlülük (Ra) değerlerinin normal ve argon atmosferi için karşılaştırması (logaritmik ölçek).

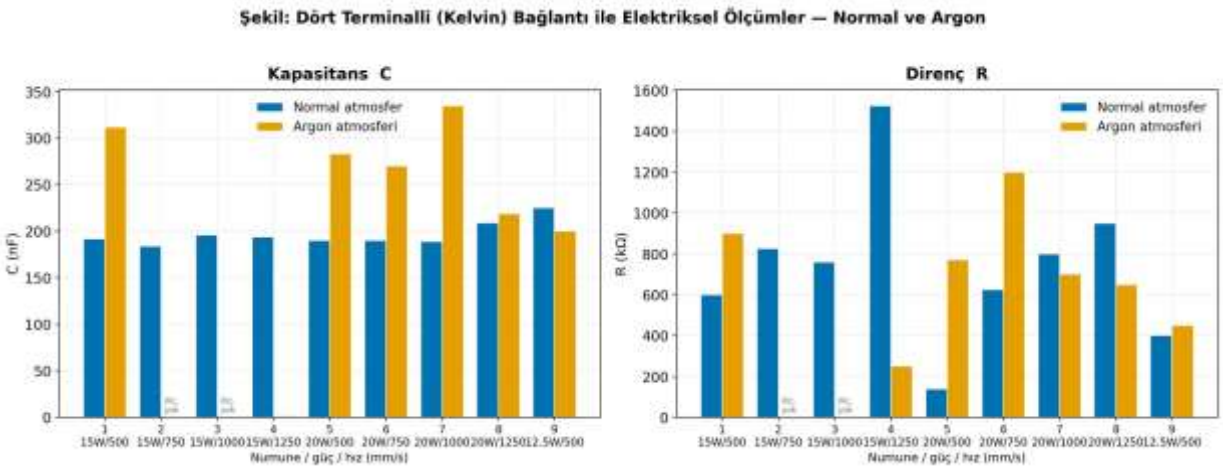
3.3. Elektriksel Ölçümler

Dört terminalli bağlantı yöntemiyle ölçülen eşdeğer kapasitans (C) ve direnç (R) değerleri Tablo 3'te, karşılaştırmalı grafikleri Şekil 8'de verilmiştir. Normal atmosfer numunelerinin kapasitansı 184–225 nF dar bandında toplanırken, argon numunelerinde ölçülebilen değerler 200–335 nF aralığında ve genel olarak daha yüksektir; ölçülebilen argon numunelerinin ortalama kapasitansı (270 nF) normal atmosfer ortalamasından (197 nF) belirgin biçimde büyüktür. Daha yüksek kapasitans, yüzeyde daha yoğun ve sürekli bir iletken bakır tabakasının oluştuğuna işaret etmektedir. A-2 ve A-3 numunelerinde kaplamanın süreksizliği nedeniyle geçerli bir ölçüm alınamamış; A-4 numunesindeki 1,38 nF düzeyindeki aykırı düşük kapasitans ise hat kopukluğuna (açık devre) işaret etmektedir.

Tablo 3. Numunelerin dört terminalli (Kelvin) bağlantı ile ölçülen elektriksel sonuçları.

Numune	Atmosfer	Kapasitans C (nF)	Direnç R (kΩ)
1	Normal	192	600
2	Normal	184	825
3	Normal	196	760
4	Normal	194	1525
5	Normal	190	138
6	Normal	190	625
7	Normal	189	800
8	Normal	209	950
9	Normal	225	400
A-1	Argon	312	900
A-2	Argon	Ölçülemedi	Ölçülemedi
A-3	Argon	Ölçülemedi	Ölçülemedi
A-4	Argon	1,38	250
A-5	Argon	283	770
A-6	Argon	270	1200
A-7	Argon	335	700
A-8	Argon	219	650
A-9	Argon	200	450

Direnç değerleri her iki atmosferde de kΩ mertebesinde kalmış ve net, tek yönlü bir atmosfer eğilimi göstermemiştir (Şekil 8). Bu durum, hat direncinin yalnızca atmosferden değil; tozlar arası boyun oluşumu, kalıntı oksidasyon ve hat sürekliliği gibi çok sayıda etkenden aynı anda etkilendiğini göstermektedir. Literatürde de bakır esaslı lazer sinterlenmiş hatlarda düşük direnç elde edilmesinin, oksit oluşumunun tamamen bastırılmasına ve parçacıklar arası metalik köprülerin geliştirilmesine bağlı olduğu vurgulanmaktadır [3–5]. İletkenliğin artırılması için işlem sonrası düşük sıcaklıkta fırın sinterlemesi, forming gas (H_2/Ar) ile in-situ redüksiyon ve toz yüzey modifikasyonu gibi ileri adımlara gereksinim vardır.



Şekil 8. Dört terminalli (Kelvin) bağlantı ile ölçülen kapasitans (C) ve direnç (R) değerlerinin normal ve argon atmosferi için karşılaştırması (A-2 ve A-3 ölçülememiştir).

3.4. Genel Değerlendirme

Bulgular birlikte değerlendirildiğinde, sonuçları belirleyen iki ana etkenin koruyucu atmosfer ve lazer enerji girdisi (güç–hız–frekans kombinasyonu) olduğu görülmektedir. Aynı lazer parametreleriyle üretilen numune çiftleri karşılaştırıldığında argonun etkisi özellikle yüksek enerjili koşullarda belirginleşmektedir: Sa değeri Set 4'te 323 µm'den 42,6 µm'ye, Set 5'te 294 µm'den 6,24 µm'ye ve Set 7'de 80,3 µm'den 7,29 µm'ye gerilemiştir. Normal atmosferde yüksek güç (20 W) düzeyindeki setler daha fazla termal bozunma sergilerken, tarama hızının artması birim uzunluğa düşen enerjiyi azaltarak genel olarak daha kararlı yüzeyler sağlamıştır; ancak yüksek frekansla (150 kHz) birleşen bazı kombinasyonlarda (ör. Set 4) beklenenin dışında yüksek pürüzlülük gözlenmesi, parametreler arası etkileşimin basit bir enerji-yoğunluğu ilişkisine indirgenemeyeceğini göstermektedir. En kararlı ve düzgün yüzeyler, argon atmosferi altında orta enerji girdili koşullarda elde edilmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, 100 W fiber lazer kullanılarak PMMA polimer yüzeyler üzerinde mikron boyutlu bakır tozlarının sinterlenmesiyle iletken hatların oluşturulabildiği deneysel olarak gösterilmiştir. Dokuz lazer parametre seti hem normal hem argon koruyucu atmosferinde uygulanarak 18 numune üretilmiş ve karşılaştırmalı olarak karakterize edilmiştir. Öne çıkan sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

(a) Koruyucu argon atmosferi, yüksek enerji girdili koşullarda açık atmosferde gelişen katastrofik oksidasyon ve yüzey bozunmasını önleyerek yüzey bütünlüğünü korumuş; ortalama alansal pürüzlülüğü (Sa) yaklaşık altı kat azaltmıştır.

(b) Ölçülebilen argon numunelerinin eşdeğer kapasitans değerlerinin normal atmosfer numunelerinden belirgin biçimde yüksek olması, daha yoğun ve sürekli bir bakır tabakasının

oluştuğunu düşündürmektedir; bu bulgular çalışmanın hipotezini büyük ölçüde desteklemektedir.

(c) Direnç değerlerinin kΩ mertebesinde kalması, hatların henüz metalik iletkenlik düzeyine ulaşmadığını göstermektedir; iletkenliğin artırılması için işlem sonrası düşük sıcaklıkta fırın sinterlemesi, forming gas (H_2/Ar) ile in-situ redüksiyon ve bakır tozunun yüzey modifikasyonu önerilmektedir.

Genel olarak, koruyucu atmosfer destekli fiber lazer sinterleme yaklaşımının esnek elektronik uygulamaları için umut verici olduğu ve süreç optimizasyonu ile geliştirilebileceği ortaya konulmuştur.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilim ve Teknolojik Araştırma Konseyi (TÜBİTAK) tarafından 2209-A Üniversite Öğrenci Araştırma Projeleri Destek Programı (TÜBİTAK PROJE NO: 1919B012404086) kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, Kocaeli Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi Aşınma Laboratuvarı olanaklarından yararlandıkları için minnettar olduklarını belirtirler.

KAYNAKLAR

Hernandez-Castaneda, J.C., Lok, B.K. & Zheng, H. Laser sintering of Cu nanoparticles on PET polymer substrate for printed electronics at different wavelengths and process conditions. Front. Mech. Eng. 15, 303–318 (2020). https://doi.org/10.1007/s11465-019-0562-x.

ISO 25178-2:2012, “Geometrical product specifications (GPS) — Surface texture: Areal — Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters”, International Organization for Standardization, Geneva, 2012.

Kamyshny, A. and Magdassi, S. (2014), Conductive Nanomaterials for Printed Electronics. Small, 10: 3515-3535. https://doi.org/10.1002/smll.201303000.

Kwon, J., Cho, H., Eom, H., Lee, H., Suh, Y. D., Moon, H., Shin, J., Hong, S., & Ko, S. H. (2016). Low-Temperature Oxidation-Free Selective Laser Sintering of Cu Nanoparticle Paste on a Polymer Substrate for the Flexible Touch Panel Applications. ACS Applied Materials and Interfaces, 8(18), 11575-11582. https://doi.org/10.1021/acsami.5b12714.

Olsen, E., Overmeyer, L., “Laser sintering of copper conductive traces on primer pre-treated additive manufactured 3D surfaces”, Flexible and Printed Electronics, 6(1): 015006, 2021. https://doi.org/10.1088/2058-8585/abdbfd.

Perelaer, J. and Schubert, U.S. (2012). Inkjet Printing of Interconnects and Contacts Based on Inorganic Nanoparticles for Printed Electronic Applications. In Inkjet-Based Micromanufacturing (eds J.G. Korvink, P.J. Smith and D.-Y. Shin). https://doi.org/10.1002/9783527647101.ch21.

PANKREATİK KANSERDE TRIANGLE DISEKSIYONU: İLK DENEYIMDE ONKOLOJIK RADIKALITE VE CERRAHI GÜVENLIK – VAKA SUNUMU

Uzm. Dr. Ümit ÖZDEMİR
Ankara Etlik City Hospital, Department of Gastroenterological Surgery, 06170 Ankara
ORCID ID: 0000-0001-5681-7421

ÖZET

Giriş: Pankreatik duktal adenokarsinomda cerrahi rezeksiyon küratif tedavinin temelini oluşturmakla birlikte, özellikle retropankreatik ve periarteriyel alanlarda mikroskobik rezidüel hastalık ve lokal rekürrens önemli sorunlardır. Triangle diseksiyonu; çölyak aks–common hepatik arter, superior mezenterik arter ve porto-mezenterik venöz aks arasındaki lenfatik, nöral ve yumuşak dokuların radikal eksizyonunu amaçlayan cerrahi bir yaklaşımdır. Bu sunumda pankreatikoduodenektomiye eklenen triangle diseksiyonuna ait ilk deneyimimizin perioperatif ve erken dönem sonuçlarını sunmayı amaçladık.

Olgu: Sarılık nedeniyle başvuran 67 yaşındaki erkek hastada pankreas başında 30×27×25 mm solid kitle ve SMV ile 90–180° temas saptandı. Kolanjit bulgusu olmaması nedeniyle preoperatif biliyer drenaj uygulanmadı. Pankreatikoduodenektomi sonrasında hepatik arter/çölyak aks, superior mezenterik arter ve porto-mezenterik venöz aks arasında triangle diseksiyonu gerçekleştirildi. Operasyon 360 dakika sürdü. Hasta iki gün yoğun bakımda izlendi ve postoperatif yedinci günde taburcu edildi. Pankreatik fistül, safra veya şilöz kaçak, kanama, gecikmiş mide boşalması, cerrahi alan enfeksiyonu, relaparotomi gereksinimi veya klinik olarak anlamlı diyare gelişmedi. Patolojik incelemede ana pankreatikoduodenektomi spesmenindeki 16 lenf nodunun tamamı negatif iken, ayrı gönderilen Triangle diseksiyon materyalindeki üç lenf nodundan birinde metastaz saptandı. Böylece okült nodal hastalık ortaya konularak patolojik evre değişti.

Sonuç: Triangle diseksiyonu, standart spesmende saptanamayan metastatik lenf nodunun çıkarılmasını sağlayarak daha doğru evreleme ve potansiyel lokal hastalık kontrolü sağlamış olabilir. Olgumuzda işlem majör morbidite veya mortalite olmaksızın güvenle uygulanmıştır. Uzun dönem onkolojik katkısının değerlendirilmesi için daha geniş serilere ve uzun süreli takibe ihtiyaç vardır.

Anahtar kelimeler: Pankreatik duktal adenokarsinom, Pankreatikoduodenektomi, triangle diseksiyonu

TRIANGLE DISSECTION FOR PANCREATIC CANCER: ONCOLOGICAL RADICALITY AND SURGICAL SAFETY IN AN INITIAL EXPERIENCE – CASE REPORT

ABSTRACT

Introduction: Although surgical resection remains the cornerstone of curative-intent treatment for pancreatic ductal adenocarcinoma, microscopic residual disease and local recurrence, particularly in the retropancreatic and periarterial regions, remain major challenges. triangle dissection is a surgical approach aimed at the radical clearance of lymphatic, neural, and soft tissues within the anatomical triangle bordered by the celiac axis–common hepatic artery, superior mesenteric artery, and portomesenteric venous axis. We aimed to present the perioperative and early postoperative outcomes of our initial experience with triangle dissection performed in addition to pancreaticoduodenectomy.

Case Presentation: A 67-year-old man presenting with jaundice was found to have a 30 × 27 × 25 mm solid mass in the pancreatic head with 90–180° contact with the superior mesenteric vein. Preoperative biliary drainage was not performed because there were no clinical signs of cholangitis. Following pancreaticoduodenectomy, triangle dissection was performed between the hepatic artery/celiac axis, superior mesenteric artery, and portomesenteric venous axis. The operative time was 360 minutes. The patient remained in the intensive care unit for two days and was discharged on postoperative day 7. No pancreatic fistula, bile or chyle leak, postoperative hemorrhage, delayed gastric emptying, surgical site infection, clinically significant diarrhea, or need for relaparotomy occurred. Histopathological examination revealed that all 16 lymph nodes retrieved from the main pancreaticoduodenectomy specimen were negative for metastasis**,** whereas one of three lymph nodes retrieved separately from the triangle dissection specimen was metastatic**.** Thus, occult nodal disease was identified, resulting in a change in pathological stage.

Conclusion: Triangle dissection enabled the removal of a metastatic lymph node that was not identified in the standard pancreaticoduodenectomy specimen, potentially providing more accurate pathological staging and improved local disease control. In our case, the procedure was performed safely without major morbidity or mortality. Larger case series with longer follow-up are required to determine the long-term oncological benefits of this approach.

Keywords: Pancreatic ductal adenocarcinoma, Pancreaticoduodenectomy, Triangle dissection

1. INTRODUCTION

Pancreatic ductal adenocarcinoma (PDAC) is an aggressive malignancy characterized by high recurrence rates and limited long-term survival despite chemotherapy and surgical treatment(Halbrook, Lyssiotis, Di Magliano, & Maitra, 2023). Surgery is the cornerstone of curative treatment for resectable disease; however, recurrence remains common after resection. Recurrence may present as local recurrence, distant metastasis, or a combination of local and systemic disease and has a substantial adverse effect on prognosis (Tanaka et al., 2019).

A positive surgical margin, lymph node metastasis, and locally advanced or borderline resectable disease are important risk factors for local recurrence(Kang et al., 2014). In particular, the retropancreatic soft-tissue margins along the posterior and medial aspects of the pancreas, adjacent to the superior mesenteric artery (SMA) and celiac axis, are critical anatomical sites for microscopic residual disease and R1 resection. Therefore, achieving a negative surgical margin (R0) and adequately removing regional lymphatic tissue are among the principal oncological goals of pancreaticoduodenectomy (McIntyre et al., 2021).

As the anatomical and oncological importance of the retropancreatic region has become better understood, the concept of the “mesopancreas” has emerged in pancreatic surgery, and more radical dissection techniques, including total mesopancreas excision, have been described (Adham & Singhirunnusorn, 2012). Building on this approach, the Heidelberg group developed TRIANGLE dissection, which entails radical clearance of the anatomical triangle bounded by the celiac axis–common hepatic artery, the SMA, and the portomesenteric venous axis (Hackert et al., 2017).

Triangle dissection aims to remove the lymphatic, neural, and fatty soft tissues within this anatomical space and to skeletonize the arterial structures. By providing more extensive clearance of the medial and posterior surgical margins around the SMA, hepatic artery, and portal venous axis, together with a wider lymphadenectomy than conventional surgery, the procedure seeks to reduce the risk of local recurrence. This approach permits a more radical retropancreatic dissection without the morbidity associated with arterial resection (Klotz et al., 2022).

Following the description of Triangle dissection and publication of its initial outcomes, studies reported a greater number of harvested lymph nodes and a lower rate of R1 resection. Conversely, longer operative times, greater intraoperative blood loss, and a higher incidence of postoperative diarrhea have been reported because of the more extensive perivascular and

perineural dissection (Klotz et al., 2022). Initial findings from the limited available studies have shown no difference in overall postoperative morbidity or mortality (Cao et al., 2025).

In light of these findings, we added Triangle dissection to standard pancreaticoduodenectomy in a selected patient with a pancreatic head malignancy. Our aims were to increase the likelihood of R0 resection, achieve more comprehensive clearance of retropancreatic lymphatic and perineural tissue, and enhance oncological radicality with the goal of reducing the risk of local recurrence.

In this presentation, we describe our first experience with pancreaticoduodenectomy combined with Triangle dissection performed by a single surgeon, including the anatomical steps of dissection, surgical technique, perioperative outcomes, and early clinical results.

2. CASE PRESENTATION

A 67-year-old man presenting to the hospital with jaundice was evaluated. His medical history included diabetes mellitus treated with oral antidiabetic medication. Cross-sectional imaging revealed a 30 × 27 × 25 mm solid mass in the pancreatic head causing dilation of the common bile duct and pancreatic duct. Dynamic pancreatic magnetic resonance imaging showed 90–180° contact between the mass and the superior mesenteric vein (SMV) over a 1.5 cm segment. While his evaluation and investigations were being completed, his total bilirubin increased to 12.23 mg/dL and direct bilirubin to 9.4 mg/dL. Acute-phase reactants were within normal limits; he had no fever or right upper quadrant tenderness, and cholangitis was not suspected. Because the preoperative preparations were completed without the development of cholangitis, preoperative biliary drainage was not planned. Following assessment by the anesthesiology department, the patient was assigned an American Society of Anesthesiologists (ASA) physical status score of III and scheduled for surgery.

The abdomen was entered through a midline incision. Exploration revealed a mass in the pancreatic head. No liver metastases or peritoneal involvement were identified. The pancreas was transected at the level of the SMV and portal vein. Dissection between the mass and the SMV separated the pancreatic head and uncinate process from the portomesenteric venous axis. There was no venous invasion by the tumor. Starting at the right lateral aspect of the hepatic duct, lymphadenectomy of the hepatoduodenal ligament was carried out to the level of the common hepatic artery and celiac axis, and the dissected tissue was included in the specimen. The conventional pancreaticoduodenectomy specimen was then removed from the abdomen.

Subsequently, to perform Triangle dissection as described by the Heidelberg group, the SMV, portal vein, and common hepatic artery were encircled with vessel loops (Figure 1) (Schneider,

Strobel, Hackert, & Büchler, 2019). Retropancreatic perivascular, perineural, and lymphatic tissue was dissected within the space bounded superiorly by the hepatic artery and celiac axis, laterally by the portomesenteric venous axis, and medially by the SMA. The resulting tissue was submitted to the pathology laboratory as a specimen separate from the main pancreaticoduodenectomy specimen.

Reconstruction was then completed using the same jejunal limb for pancreatic duct-to-jejunum anastomosis, hepaticojejunostomy, gastrojejunostomy, and Braun jejunojejunostomy. No intraoperative bleeding occurred apart from minor oozing from capillary vessels. Drains were placed adjacent to the pancreaticojejunostomy and hepaticojejunostomy, the abdomen was closed, and the operation was concluded. The procedure lasted approximately 360 minutes.

The patient remained in the intensive care unit for two postoperative days. Because his vital signs remained stable, there was no unexpected drain output, and his overall condition was good, he was transferred to the surgical ward on postoperative day 2 and started on an oral liquid diet. Prophylactic treatment with a third-generation cephalosporin and an antimicrobial agent providing anaerobic coverage, initiated perioperatively, was continued throughout his hospitalization. He was monitored on the ward for five days. On postoperative day 7, he was discharged in good general condition, with approximately 30 mL of serous drain output per day and stable complete blood count and biochemical parameters. At discharge, total bilirubin had decreased to 2.95 mg/dL and direct bilirubin to 2.23 mg/dL.

Drain fluid amylase testing during hospitalization was negative, and no pancreaticojejunostomy leak was observed during follow-up. Relaparotomy was not required within the first postoperative month. No bile leak, chyle leak, or delayed gastric emptying occurred, and the patient tolerated oral intake. Neither deep surgical-site infection nor superficial wound infection developed. There was no intraoperative or intraluminal gastrointestinal bleeding. Postoperatively, the patient did not experience diarrhea requiring antidiarrheal medication or causing fluid and electrolyte imbalance. At the time of this presentation, four months after surgery, the patient remains alive.

On histopathological examination, the tumor measured 3.5 × 2.5 cm. No tumor was identified at the gastric (proximal), jejunal (distal), hepatic duct, or retroperitoneal surgical margins. Perineural invasion was present, but lymphovascular invasion was absent. The main pancreaticoduodenectomy specimen contained 16 lymph nodes, none of which harbored tumor. The separately submitted Triangle dissection specimen contained three lymph nodes, one of which was positive for metastasis.

The tumor in the main pancreaticoduodenectomy specimen was classified as T2, and no lymph node involvement was identified in that specimen. However, metastatic lymph node involvement was detected in the Triangle dissection specimen. Triangle dissection therefore enabled the excision of a tumor-involved lymph node. Recording this positive node also changed the pathological stage, providing information relevant to subsequent systemic treatment decisions.

3. DISCUSSION

Surgical resection is the cornerstone of curative treatment for PDAC. Nevertheless, microscopic residual disease and local recurrence, particularly in the retropancreatic region, remain important challenges (Tummers et al., 2019). Given the marked propensity of PDAC for perineural and lymphatic spread, the Triangle region between the SMA, celiac axis, and portomesenteric venous axis is regarded as a critical anatomical area for both positive surgical margins and local recurrence (Hackert et al., 2017). The primary purpose of the Triangle approach is not merely to harvest more lymph nodes, but to achieve more comprehensive removal of lymphatic, neural, and soft tissues from a region in which microscopic local tumor spread commonly occurs. Indeed, Klotz et al. emphasized that an increased lymph node yield should be viewed as an indicator of more radical tissue clearance rather than as the principal objective of the procedure (Klotz et al., 2022).

The most notable finding in our case was that all 16 lymph nodes examined in the main pancreaticoduodenectomy specimen were tumor-negative, whereas metastasis was found in one of the three lymph nodes in the separately excised Triangle dissection specimen. This finding is important for two reasons. First, Triangle dissection revealed and removed metastatic nodal disease that was not identified in the standard specimen. It thus reduced the potential residual tumor burden in the retropancreatic region and allowed more accurate pathological nodal staging. Because lymph node metastasis and surgical margin involvement are important prognostic factors for local recurrence, removal of a metastatic lymph node from this region could theoretically contribute to local disease control. However, a single case with only four months of follow-up cannot establish that local recurrence has been reduced. Rather, this finding illustrates the potential of Triangle dissection to identify occult nodal disease and improve oncological staging.

This observation is also consistent with the current literature. Studies comparing the Triangle procedure with standard resection have reported a higher number of harvested lymph nodes and, in some series, a clinically meaningful reduction in the rate of direct R1 resection (Dasari

et al., 2015). In the study by Klotz et al., the pancreaticoduodenectomy and total pancreatectomy groups showed increased lymph node yields, suggestive of more radical surgery, and fewer direct R1 resections(Klotz et al., 2022). A more recent meta-analysis found that the number of harvested lymph nodes was significantly higher in the Triangle group and that one- and three-year recurrence rates were lower than with standard surgery. However, a definitive advantage in overall or recurrence-free survival has not yet been demonstrated (Cao et al., 2025). Thus, removal of the metastatic Triangle lymph node in our case may be considered a clinical example of the potential local control benefit reported in the literature, although longer follow-up is required to determine its effect on long-term recurrence and survival.

Our second important finding is that Triangle dissection was performed in this case without additional major morbidity or mortality. The operation lasted approximately 360 minutes; the patient spent only two days in intensive care and was discharged on postoperative day 7. No clinically relevant postoperative pancreatic fistula, bile leak, chyle leak, postoperative hemorrhage, delayed gastric emptying, surgical-site infection, or need for relaparotomy occurred. Furthermore, postoperative diarrhea, one of the procedure-specific complications most frequently emphasized in the literature, did not develop, and antidiarrheal treatment was not required.

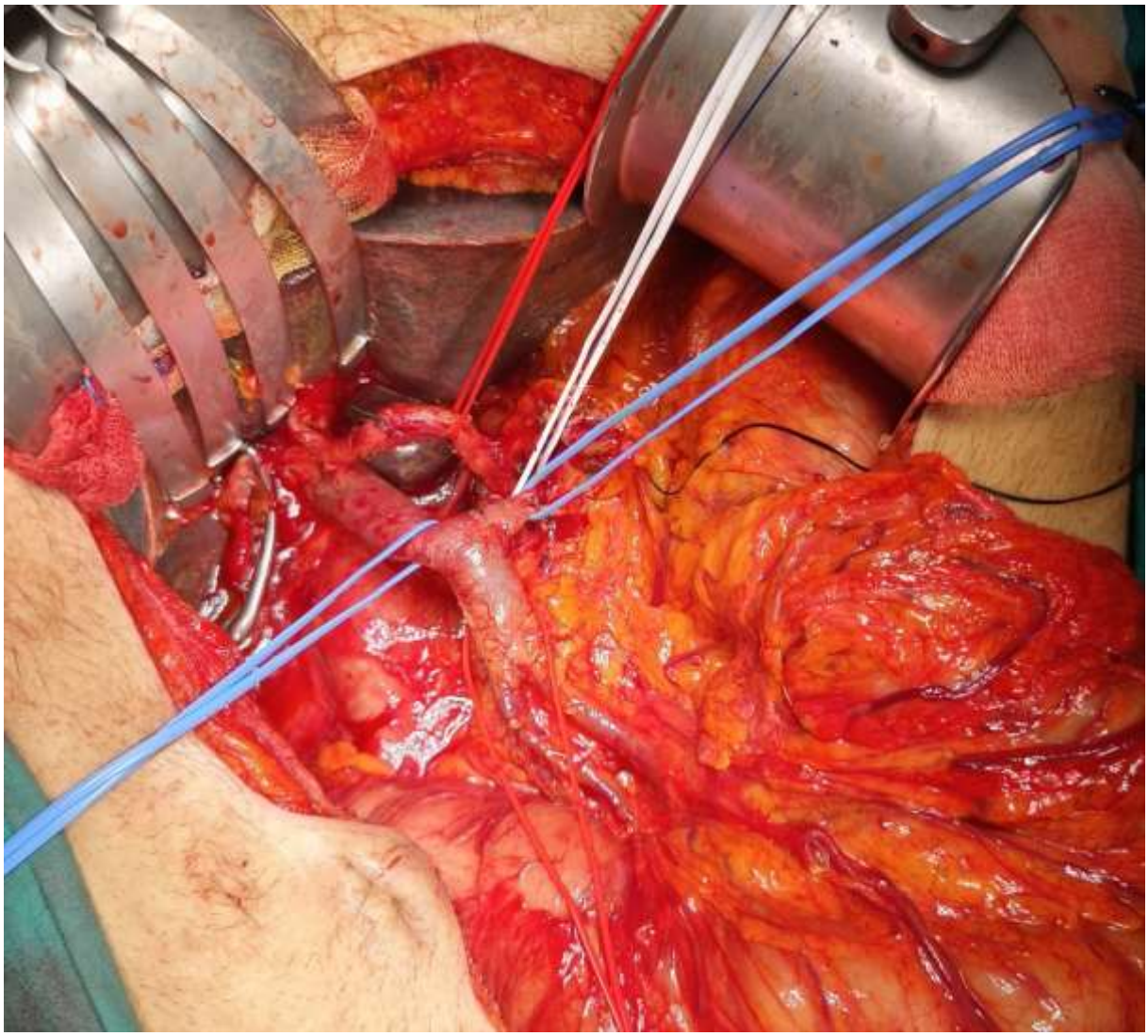
The literature indicates that Triangle dissection may be associated with longer operative times and greater blood loss, whereas major complications such as postoperative pancreatic fistula, bile leak, postpancreatectomy hemorrhage, and delayed gastric emptying do not appear to increase significantly compared with standard surgery (Hang et al., 2024; WANG et al., 2024). A recent meta-analysis similarly found no significant differences in pancreatic fistula, bile leak, delayed gastric emptying, or postoperative hemorrhage, while identifying postoperative diarrhea as the most prominent disadvantage of Triangle dissection (Cao et al., 2025). The absence of this complication in our patient further supports the feasibility of performing the procedure with acceptable perioperative outcomes when meticulous surgical dissection is applied.

4. CONCLUSION

In conclusion, this case illustrates two potential advantages of Triangle dissection: the removal of a metastatic lymph node that was not identified in the standard pancreaticoduodenectomy specimen, enabling more accurate pathological staging and potentially improving local disease control; and the feasibility of performing the procedure without additional major morbidity or

mortality. Nevertheless, longer follow-up and controlled, multicenter studies are needed to determine the true contribution of Triangle dissection to local recurrence and long-term survival.

FIGURE 1



REFERENCES

Adham, M., & Singhirunnusorn, J. (2012). Surgical technique and results of total mesopancreas excision (TMpE) in pancreatic tumors. *European Journal of Surgical Oncology (EJSO), 38*(4), 340-345.

Cao, R., Xuan, Y., Gong, X., Pang, C., Dong, C., & Liang, C. (2025). Efficacy and safety of TRIANGLE operation for pancreatic head and body cancer: a systematic review and meta-analysis: TRIANGLE operation in pancreatic head and body cancers. *Hpb*.

Dasari, B. V., Pasquali, S., Vohra, R. S., Smith, A. M., Taylor, M. A., Sutcliffe, R. P., . . . Mirza, D. F. (2015). Extended versus standard lymphadenectomy for pancreatic head cancer: meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Gastrointestinal Surgery, 19*(9), 1725-1732.

Hackert, T., Strobel, O., Michalski, C. W., Mihaljevic, A. L., Mehrabi, A., Müller-Stich, B., . . . Büchler, M. W. (2017). The TRIANGLE operation–radical surgery after neoadjuvant treatment for advanced pancreatic cancer: a single arm observational study. *Hpb, 19*(11), 1001-1007.

Halbrook, C. J., Lyssiotis, C. A., Di Magliano, M. P., & Maitra, A. (2023). Pancreatic cancer: Advances and challenges. *Cell*, *186*(8), 1729-1754.
Hang, H.-X., Cai, Z.-H., Yang, Y.-F., Fu, X., Qiu, Y.-D., & Cheng, H. (2024). Comparison of prognosis and postoperative morbidities between standard pancreaticoduodenectomy and the TRIANGLE technique for resectable pancreatic ductal adenocarcinoma. *World Journal of Gastrointestinal Surgery*, *16*(3), 689.
Kang, M. J., Jang, J.-Y., Chang, Y. R., Kwon, W., Jung, W., & Kim, S.-W. (2014). Revisiting the concept of lymph node metastases of pancreatic head cancer: number of metastatic lymph nodes and lymph node ratio according to N stage. *Annals of surgical oncology*, *21*(5), 1545-1551.
Klotz, R., Hackert, T., Heger, P., Probst, P., Hinz, U., Loos, M., . . . Müller-Stich, B. P. (2022). The TRIANGLE operation for pancreatic head and body cancers: early postoperative outcomes. *Hpb*, *24*(3), 332-341.
McIntyre, C. A., Zambirinis, C. P., Pulvirenti, A., Chou, J. F., Gonen, M., Balachandran, V. P., . . . Drebin, J. A. (2021). Detailed Analysis of Margin Positivity and the Site of Local Recurrence After Pancreaticoduodenectomy: CA McIntyre et al. *Annals of surgical oncology*, *28*(1), 539-549.
Schneider, M., Strobel, O., Hackert, T., & Büchler, M. W. (2019). Pancreatic resection for cancer—the Heidelberg technique. *Langenbeck's archives of surgery*, *404*(8), 1017-1022.
Tanaka, M., Mihaljevic, A., Probst, P., Heckler, M., Klaiber, U., Heger, U., . . . Hackert, T. (2019). Meta-analysis of recurrence pattern after resection for pancreatic cancer. *Journal of British Surgery*, *106*(12), 1590-1601.
Tummers, W., Groen, J., Sibinga Mulder, B., Farina-Sarasqueta, A., Morreau, J., Putter, H., . . . Mieog, J. (2019). Impact of resection margin status on recurrence and survival in pancreatic cancer surgery. *Journal of British Surgery*, *106*(8), 1055-1065.
WANG, Z., LIU, Z., MENG, Y., LI, J., ZHANG, L., LYU, W., . . . LIU, R. (2024). The effect of Heidelberg triangle dissection on the prognosis of patients after pancreatic head cancer resection. *Chinese Journal of General Surgery*, 45-50.

SAĞLIKLI GENÇ YETİŞKİNLERDE DAVRANIŞSAL AKTİVASYON SİSTEMİ ALT BOYUTLARI İLE STRİATAL HACİMLER ARASINDAKİ İLİŞKİNİN YAPISAL MRG İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Seyit EROL
Selçuk University, Faculty of Medicine, Department of Radiology, Konya, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-0547-872X
E-mail: seyiterol42@gmail.com

ÖZET

Davranışsal Aktivasyon Sistemi (BAS), ödül duyarlılığı ve yaklaşma davranışlarının bireysel farklılıklarını yansıtan motivasyonel bir sistemdir. Bu çalışmanın amacı, sağlıklı genç yetişkinlerde BAS alt boyutları ile striatal yapıların hacimleri arasındaki ilişkileri yapısal manyetik rezonans görüntüleme verileri kullanarak değerlendirmektir. Kamuya açık AOMIC-ID1000 (OpenNeuro ds003097) veri setinden 928 katılımcının verileri ikincil olarak analiz edildi. BAS-Drive, BAS-Fun Seeking ve BAS-Reward Responsiveness puanları ile bilateral nucleus accumbens, caudate ve putamen toplam hacimleri değerlendirildi. İlk aşamada BAS alt ölçekleri ile striatal hacimler arasındaki ilişkiler Spearman korelasyon analizi ile incelendi. Ardından her striatal bölge için üç BAS alt ölçeğinin birlikte yer aldığı, yaş, cinsiyet ve tahmini total intrakraniyal hacim (eTIV) için düzeltilmiş HC3-robust çoklu doğrusal regresyon modelleri oluşturuldu. Dokuz temel BAS-hacim karşılaştırmasına Benjamini-Hochberg yöntemiyle yanlış keşif oranı (FDR) düzeltmesi uygulandı. Katılımcıların ortalama yaşı 22,85±1,71 yıl olup %52,0'si kadındı. Düzeltilmemiş analizlerde BAS-Drive ile putamen hacmi (ρ=0,095; p=0,0039), BAS-Fun Seeking ile caudate (ρ=0,107; p=0,0011) ve putamen hacmi (ρ=0,131; p<0,001) ve BAS-Reward Responsiveness ile putamen hacmi (ρ=0,094; p=0,0041) arasında pozitif korelasyonlar saptandı. Düzeltilmiş modellerde en belirgin ilişki BAS-Reward Responsiveness ile putamen arasında izlendi (β=0,058; %95 GA: -0,002-0,118; p=0,058); ancak hiçbir BAS-hacim ilişkisi FDR düzeltmesi sonrasında istatistiksel anlamlılığını korumadı. Bulgular, sağlıklı genç yetişkinlerde BAS özellikleri ile striatal hacimler arasında ham analizlerde zayıf ilişkiler bulunabilse de bu ilişkilerin demografik değişkenler, intrakraniyal hacim ve örtüşen BAS boyutlarından bağımsız olarak güçlü ve tutarlı olmadığını göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Davranışsal Aktivasyon Sistemi, striatum, putamen, yapısal MRG, morfometri

STRUCTURAL MRI EVALUATION OF THE ASSOCIATION BETWEEN BEHAVIORAL ACTIVATION SYSTEM DIMENSIONS AND STRIATAL VOLUMES IN HEALTHY YOUNG ADULTS

ABSTRACT

The Behavioral Activation System (BAS) reflects individual differences in reward sensitivity and approach-related motivation. This study aimed to evaluate the associations between BAS

dimensions and striatal volumes in healthy young adults using structural magnetic resonance imaging data. Data from 928 participants in the publicly available AOMIC-ID1000 dataset (OpenNeuro ds003097) were analyzed as a secondary analysis. BAS Drive, BAS Fun Seeking, and BAS Reward Responsiveness scores were assessed in relation to the total bilateral volumes of the nucleus accumbens, caudate, and putamen. Associations between BAS subscales and striatal volumes were first examined using Spearman correlation analysis. Subsequently, HC3-robust multiple linear regression models were constructed for each striatal region, including all three BAS subscales simultaneously and adjusting for age, sex, and estimated total intracranial volume (eTIV). The nine primary BAS-volume comparisons were corrected for multiple testing using the Benjamini-Hochberg false discovery rate (FDR) procedure. The mean age of the participants was 22.85±1.71 years, and 52.0% were female. In unadjusted analyses, BAS Drive correlated positively with putamen volume (ρ=0.095; p=0.0039), BAS Fun Seeking with caudate (ρ=0.107; p=0.0011) and putamen volumes (ρ=0.131; p<0.001), and BAS Reward Responsiveness with putamen volume (ρ=0.094; p=0.0041). In adjusted models, the strongest association was observed between BAS Reward Responsiveness and putamen volume (β=0.058; 95% CI: -0.002 to 0.118; p=0.058); however, no BAS-volume association remained statistically significant after FDR correction. These findings indicate that although weak associations between BAS characteristics and striatal volumes may be observed in unadjusted analyses, they are not strong or consistent after accounting for demographic factors, intracranial volume, overlapping BAS dimensions, and multiple comparisons.

Keywords: Behavioral Activation System, striatum, putamen, structural MRI, morphometry

DOĞA TEMELLİ TURİZMDE YEREL KATILIM VE YÖNETİŞİM
LOCAL PARTICIPATION AND GOVERNANCE IN NATURE-BASED TOURISM

Dr. Öğr. Üyesi Adnan AKIN
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Bolu MYO, Otel, Lokanta ve İkram Hizmetleri Bölümü, Bolu
adnan.akin@ibu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0003-1274-1538
Prof. Dr. Aliye ÇİLAN AKIN
Bolu Abant İzzet Baysal Üniversitesi Turizm Fakültesi, Turizm İşletmeciliği Bölümü, Bolu
aliye.akin@ibu.edu.tr, ORCID ID: 0000-0001-8589-7547

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, doğa temelli turizmde yerel halkın yönetişim süreçlerine nasıl ve ne düzeyde katıldığını, bu katılımı etkileyen faktörleri ve literatürde önerilen yönetişim yaklaşımlarını incelemektir. Bu amaç doğrultusunda çalışma, ilgili ulusal ve uluslararası literatürün incelenmesine dayalı olarak gerçekleştirilmiştir. İnceleme sonucunda, doğa temelli turizmde yerel katılımın yalnızca ekonomik faydalardan yararlanma ile sınırlı olmadığı; planlama, karar alma, uygulama ve değerlendirme süreçlerinde farklı düzeylerde gerçekleşen çok boyutlu bir yapı taşıdığı belirlenmiştir. Bulgular, yerel halkın katılım düzeyinin ekonomik, kurumsal, sosyo-kültürel ve yönetsel faktörlerden etkilendiğini; katılım isteği ile karar süreçlerindeki fiilî etki arasında farklılıklar bulunabildiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca etkili yönetişimin, kamu, özel sektör, yerel halk ve diğer paydaşlar arasında iş birliği ve güç paylaşımını sağlayan katılımcı yapılara dayandığı görülmektedir. Bu doğrultuda, doğa temelli turizmin sürdürülebilir gelişimi için yerel halkın yalnızca ekonomik faydalardan yararlanan veya görüşüne başvurulan bir paydaş olmaktan çıkarılarak planlama ve karar alma süreçlerinde etkin rol üstlenen bir aktör olarak konumlandırılması önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Doğa temelli turizm, yerel katılım, yönetişim, yerel halk

ABSTRACT

This study aims to examine how and to what extent local communities participate in governance processes in nature-based tourism, the factors influencing such participation, and the governance approaches proposed in the literature. For this purpose, the study was conducted through a review of the relevant national and international literature. The review revealed that local participation in nature-based tourism is not limited to benefiting from economic outcomes but represents a multidimensional process occurring at different levels of planning, decision-making, implementation, and evaluation. The findings indicate that the level of local participation is influenced by economic, institutional, socio-cultural, and managerial factors and that discrepancies may exist between local communities' willingness to participate and their actual influence on decision-making processes. Furthermore, effective governance is

found to depend on participatory structures that promote collaboration and power-sharing among public authorities, the private sector, local communities, and other stakeholders. Accordingly, positioning local communities not merely as stakeholders who benefit economically or are consulted, but as active actors in planning and decision-making processes is important for the sustainable development of nature-based tourism.

Keywords: Nature-based tourism, local participation, governance, local communities

GİRİŞ

Doğal alanlar, turizm faaliyetleri açısından önemli çekicilik unsurları oluşturmakta ve doğayla etkileşime dayalı turizm deneyimleri doğa temelli turizmin gelişimine temel oluşturmaktadır. Bununla birlikte doğa temelli turizmin kapsamına ilişkin literatürde üzerinde uzlaşılmış tek bir tanım bulunmamaktadır. Genel olarak doğal alanların ziyaret edilmesi, doğal çevrenin deneyimlenmesi ve doğaya dayalı faaliyetlere katılım bu turizm biçiminin temel unsurları arasında yer almakta; sürdürülebilirlik ve yerel etkiler de kavramsal tartışmaların önemli bir boyutunu oluşturmaktadır (Fredman & Tyrväinen, 2010). Doğa temelli turizm, doğal alanlarda gerçekleştirilen çok çeşitli faaliyetleri kapsayabilmekte ve kitle turizmi, macera turizmi ve ekoturizm gibi farklı turizm biçimleriyle kesişebilmektedir (Margaryan & Fredman, 2017).

Doğa temelli turizmi diğer turizm biçimlerinden ayıran önemli özelliklerden biri, turizm faaliyetlerinin gerçekleştiği doğal çevre ile yerel toplumların yaşam alanları ve kaynak kullanım biçimleri arasındaki yakın ilişkidir. Doğal kaynaklar yalnızca ziyaretçilerin turistik deneyimlerinin temelini oluşturmamakta, aynı zamanda yerel toplulukların ekonomik faaliyetleri, gelenekleri ve kültürel yaşamlarıyla da bütünleşmektedir. Bu nedenle doğa temelli turizm; turistler ve turizm işletmelerinin yanı sıra yerel topluluklar, kamu kurumları, arazi sahipleri, doğal kaynak kullanıcıları ve koruma kuruluşları gibi çok sayıda aktörün dahil olduğu bir yapı göstermektedir (Fredman & Tyrväinen, 2010). Özellikle korunan alanlarda gerçekleştirilen turizm faaliyetlerinin, bu alanların temel amacı olan doğanın ve biyolojik çeşitliliğin korunmasıyla uyumlu biçimde geliştirilmesi gerekmektedir (Spenceley vd., 2017).

Doğa koruma, turizm gelişimi ve yerel toplulukların sosyal ve ekonomik beklentilerinin aynı alan içerisinde bir araya gelmesi, farklı çıkar ve önceliklere sahip aktörler arasındaki ilişkilerin nasıl yönetileceği sorununu gündeme getirmektedir. Doğa temelli turizmin sürdürülebilirliği açısından turizmden kaynaklanan faydaların farklı paydaşlara, özellikle de yerel topluluklara ulaşması ve koruma ile turizm gelişiminin birbirini dışlayan amaçlar olarak değerlendirilmemesi önem taşımaktadır. Bu amaçların birlikte ele alınabilmesi, paydaşlar arasında etkili iletişim, iş birliği ve açık ilişkilerin geliştirilmesini gerektirmektedir. Doğa

koruma ile sosyo-ekonomik gelişme hedeflerinin birlikte gerçekleştirilmesi, aynı zamanda farklı aktörlerin karar alma süreçlerine katılımına olanak sağlayan ve paydaşlar arasındaki ilişkileri dikkate alan yönetişim yapılarının önemini artırmaktadır (Heslinga vd., 2019).

Bu çerçevede yerel halkın doğa temelli turizme katılımı, yalnızca turizmin sağladığı ekonomik olanaklardan yararlanma açısından değil, doğal kaynakların kullanımı ve turizmin gelişimine ilişkin planlama ve karar alma süreçlerinde söz sahibi olma açısından da önem taşımaktadır. Doğa temelli turizmin çok paydaşlı yapısı dikkate alındığında, yerel katılımın hangi düzeylerde gerçekleştiğinin, bu katılımı destekleyen veya sınırlandıran koşulların ve yerel toplulukların karar süreçlerinde etkin rol üstlenmesini sağlayabilecek yönetişim yaklaşımlarının birlikte değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Bu doğrultuda çalışmanın amacı, doğa temelli turizmde yerel halkın yönetişim süreçlerine nasıl ve ne düzeyde katıldığını, bu katılımı etkileyen faktörleri ve literatürde doğa temelli turizm için önerilen yönetişim yaklaşımlarını incelemektir. Çalışma, bu amaç doğrultusunda ilgili ulusal ve uluslararası literatürün incelenmesine dayalı olarak gerçekleştirilmiştir.

1. Doğa Temelli Turizmde Yerel Katılım

Yerel katılım, turizm gelişiminin yalnızca ekonomik ve fiziksel sonuçlarından yararlanmayı değil, yerel halkın turizme ilişkin planlama ve karar alma süreçlerinde söz sahibi olmasını da içeren çok boyutlu bir kavramdır. Turizm literatüründe katılım özellikle karar alma süreçlerine dâhil olma ve turizm gelişiminin sağladığı faydalardan yararlanma olmak üzere iki temel boyutta ele alınmaktadır (Tosun, 2000; Li, 2006). Doğa temelli turizm bağlamında ise yerel topluluklar, turizm faaliyetlerinin önemli paydaşları olarak değerlendirilmekte; turizm faaliyetlerine katılımın ekonomik, sosyal ve çevresel faydalarla ilişkili olduğu belirtilmektedir. Yerel halkın planlama ve karar alma süreçlerine katılımının ise turizm girişimlerine ilişkin farkındalığı ve paydaşlar arasındaki ilişkileri güçlendirebildiği ifade edilmektedir (Ali vd., 2022).

Bununla birlikte yerel katılım, yalnızca katılımın varlığı ya da yokluğu üzerinden değerlendirilebilecek ikili bir olgu değildir; yerel halka tanınan karar verme gücüne göre farklı düzeylerde gerçekleşebilmektedir. Bu konudaki temel yaklaşımlardan biri Arnstein (1969) tarafından geliştirilen Katılım Merdiveni (Ladder of Citizen Participation) modelidir. Arnstein, katılımı bireylerin karar ve uygulamalar üzerindeki güç derecesine göre sekiz basamakta ele almakta; manipülasyon ve terapiyi katılmama (non-participation), bilgilendirme, danışma ve uzlaştırmayı (placation) sembolik katılım (tokenism), ortaklık, devredilmiş yetki ve vatandaş kontrolünü ise vatandaş gücü (citizen power) kapsamında değerlendirmektedir. Bu yaklaşımın

temelinde, gerçek katılımın yalnızca bireylerin görüşlerinin alınmasıyla değil, kararların sonuçlarını etkileyebilecek ölçüde güç paylaşımının gerçekleşmesiyle mümkün olduğu düşüncesi bulunmaktadır.

Arnstein'ın genel katılım yaklaşımını turizm bağlamına taşıyan Tosun (1999), turizm gelişim sürecindeki yerel katılımı tek biçimli ve her destinasyona uygulanabilecek sabit bir yapı olarak değerlendirmek yerine, farklı destinasyon koşullarına göre değişebilen bir olgu olarak ele almaktadır. Bu doğrultuda yerel katılım; kendiliğinden katılım (spontaneous participation), teşvik edilmiş katılım (induced participation) ve zorlayıcı katılım (coercive participation) olmak üzere üç temel biçimde sınıflandırılmıştır (Tosun, 1999). Kendiliğinden katılım aşağıdan yukarıya gelişen, yerel halkın karar alma, uygulama, fayda paylaşımı ve değerlendirme süreçlerine aktif biçimde katıldığı en ileri katılım biçimini ifade ederken; teşvik edilmiş ve zorlayıcı katılım biçimlerinde süreç daha çok yukarıdan aşağıya ilerlemekte ve yerel halkın kararlar üzerindeki etkisi sınırlı kalmaktadır (Tosun, 1999; Tosun, 2006).

Turizm literatüründe yerel katılımın düzeyi, paydaşların turizmin gelişimine ilişkin beklentileri ile fiilî katılım olanaklarının her zaman örtüşmediğini göstermektedir. Farklı paydaş grupları turizm planlama ve gelişim süreçlerine katılımı gerekli görmekle birlikte, uygulamada yerel halkın karar süreçlerinin dışında kalabildiği ve beklenen katılım biçimlerinin katılmamadan kendiliğinden katılıma kadar farklılaşabildiği görülmektedir (Tosun, 2006). Benzer biçimde, turizm planlamasının yerel halk, kamu, özel sektör ve sivil toplumun ortak katılımıyla gerçekleştirilmesine yönelik güçlü bir beklenti bulunmasına rağmen, yerel paydaşların fiilen planlama süreçlerine dâhil edilme düzeyleri sınırlı kalabilmektedir (Şahbaz & Akdu, 2010). Bu durum, turizmde yerel katılımın yalnızca normatif olarak benimsenen bir ilke olarak değil, katılım talebi ile karar süreçlerinde sahip olunan gerçek etki arasındaki ilişki üzerinden değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Doğa temelli turizmde yerel katılım, yalnızca planlama ve karar alma süreçlerinde söz sahibi olma ile sınırlı olmayıp, yerel halkın turizm faaliyetlerine ekonomik açıdan dâhil olması ve bu faaliyetlerden fayda sağlaması yoluyla da gerçekleşebilmektedir. Nitekim karar alma süreçlerine katılımın sınırlı olduğu durumlarda dahi yerel halkın istihdam ve küçük ölçekli girişimcilik aracılığıyla turizmin ekonomik faydalarına erişebildiği görülmektedir. Ayrıca katılım biçimlerinin kaynak mülkiyetine ilişkin düzenlemeler, turizmin gelişim aşaması ile kurumsal ve kültürel koşullara bağlı olarak farklılaşabilmesi, doğa temelli turizmde yerel katılımın bağlama duyarlı ve çok boyutlu bir yapı taşıdığına işaret etmektedir (Li, 2006). Bununla birlikte, doğa temelli turizmde yerel katılımın daha ileri düzeylere ulaşabildiği

ve turizm gelişiminin farklı aşamalarını kapsayabildiği örneklere de rastlanmaktadır. Yerel toplulukların ekoturizm projelerinin başlatılması, planlanması, uygulanması ve izleme-değerlendirilmesi aşamalarında etkili olabildiği ve katılımın Arnstein'ın sınıflandırmasındaki vatandaş kontrolü düzeyine yaklaşabildiği görülmektedir (Dubale & Melese, 2026).

2. Doğa Temelli Turizmde Yerel Katılımı Etkileyen Faktörler

Doğa temelli turizmde yerel katılım, yalnızca yerel halkın turizm faaliyetlerine katılma isteğine bağlı olmayıp, katılımı mümkün kılan veya sınırlandıran çok boyutlu koşullar tarafından şekillenmektedir. Bu kapsamda *kurumsal ve yönetsel yapı, yerel kapasite ve kaynaklar, ekonomik faydalara erişim ve faydaların dağılımı, farkındalık ve motivasyon ile doğal kaynak kullanımından kaynaklanan çatışmalar* yerel katılımı etkileyen başlıca faktörler olarak öne çıkmaktadır (Bello vd., 2017; Zakia, 2021; Ali vd., 2022; Thapa vd., 2022). Özellikle karar alma süreçlerinin merkezi bir yapıda yürütülmesi, yerel halkın turizme ilişkin bilgiye erişiminin sınırlı olması ve ilgili aktörler arasındaki koordinasyon eksikliği, yerel toplulukların planlama ve karar alma süreçlerinde etkin biçimde yer almasını güçleştirebilmektedir (Bello vd., 2017; Zakia, 2021).

Yerel halkın sahip olduğu *bilgi, eğitim, insan kaynağı ve finansal kapasite* de katılımın niteliğini belirleyen önemli unsurlardır. Turizm konusunda yeterli bilgi ve beceriye sahip olunmaması, düşük eğitim düzeyi, yetişmiş insan kaynağının yetersizliği ve finansal kaynaklara erişimde yaşanan güçlükler, yerel halkın gerek karar alma süreçlerine gerekse turizm faaliyetlerine katılımını sınırlandırabilmektedir (Bello vd., 2017; Zakia, 2021). Bu bağlamda yerel kapasitenin geliştirilmesi, yalnızca turizmden ekonomik fayda sağlanması açısından değil, yerel halkın planlama ve yönetim süreçlerinde etkili biçimde temsil edilebilmesi açısından da önem taşımaktadır. Nitekim katılımın sürdürülebilmesi için farkındalık ve eğitim, kapasite geliştirme, yerel örgütlerle bağlantı kurulması, uygun katılım yöntemlerinin kullanılması, yönetimin yerelleştirilmesi ve kurumlar arası koordinasyon gibi mekanizmaların geliştirilmesi gerektiği belirtilmektedir (Bello vd., 2017).

Ekonomik faydalara erişim ve faydaların dağılımı da yerel katılımın sürekliliği açısından belirleyicidir. Doğa temelli turizm yerel topluluklar açısından gelir, istihdam ve girişimcilik olanakları yaratabilmekle birlikte, bu faydaların toplum içinde eşit veya kapsayıcı biçimde dağılmaması katılım isteğini zayıflatabilmektedir (Thapa vd., 2022). Özellikle turizmden elde edilen faydalara erişimin sınırlı olması veya faydaların adaletsiz dağıldığı yönündeki algı, yerel halkın korunan alan yönetimi ve turizm planlama süreçlerinden uzaklaşmasına neden olabilmektedir (Bello vd., 2017). Bu nedenle yerel katılım açısından önemli olan yalnızca

turizmin ekonomik fayda üretmesi değil, bu faydaların yerel topluluklara erişilebilir ve kapsayıcı biçimde dağıtılmasıdır.

Yerel halkın *farkındalığı ve katılım motivasyonu* sürecin bir diğer boyutunu oluşturmaktadır. Doğa temelli turizmin sağlayabileceği ekonomik, sosyal ve çevresel kazanımlar konusunda farkındalığın düşük olması ve turizm gelişimine yönelik ilgisizlik katılımı sınırlandırabilmektedir (Bello vd., 2017; Zakia, 2021). Buna karşılık doğal çekiciliklerin varlığı ve ekoturizm faaliyetlerine katılmaya yönelik motivasyon, yerel halkın katılımını destekleyebilmektedir. Bununla birlikte motivasyonun fiilî katılıma dönüşmesi daha geniş politik ve kurumsal koşullardan bağımsız değildir; politik istikrarsızlık gibi dışsal koşullar, yerel halkın katılım motivasyonu yüksek olsa dahi katılım düzeyini olumsuz etkileyebilmektedir (Ali vd., 2022).

Doğa temelli turizmin özellikle korunan alanlarda gerçekleşmesi, *yerel halkın doğal kaynaklara erişimi ve insan-yaban hayatı çatışmaları* gibi alana özgü faktörleri de önemli hâle getirmektedir. Yerel toplulukların geçimlerini sağlamak amacıyla geleneksel olarak kullandıkları doğal kaynaklara erişimlerinin sınırlandırılması, turizm ve koruma faaliyetlerine yönelik tutumlarını ve katılım isteğini olumsuz etkileyebilmektedir. Benzer biçimde yaban hayatının tarımsal ürünlere ve mülklere zarar vermesi ya da insan güvenliği açısından risk oluşturması, yerel halk ile korunan alan yönetimleri arasındaki ilişkileri zayıflatarak katılımın önünde önemli bir engel oluşturabilmektedir (Bello vd., 2017).

Dolayısıyla doğa temelli turizmde yerel katılım; yönetsel yapı, yerel kapasite, ekonomik faydaların dağılımı, farkındalık ve motivasyon ile doğal kaynaklara erişim ve kullanım koşullarının birlikte şekillendirdiği çok boyutlu bir süreçtir. Bu faktörlerin birbirleriyle ilişkili olması, yerel katılımın geliştirilmesinde yalnızca bireylerin katılım isteğinin artırılmasının yeterli olmadığını; katılımı mümkün kılan kurumsal, ekonomik ve yönetsel koşulların da oluşturulması gerektiğini göstermektedir.

3. Doğa Temelli Turizmde Yönetişim Yaklaşımları

Doğa temelli turizm, doğal kaynakların korunması ile turizmin ekonomik ve sosyal amaçlarının bir arada ele alınmasını gerektiren çok aktörlü bir yapıya sahiptir. Özellikle korunan alanlarda kamu kurumları, yerel topluluklar, turizm işletmeleri, sivil toplum kuruluşları ve diğer paydaşların farklı öncelik ve beklentilere sahip olması, yönetim süreçlerini daha karmaşık hâle getirmektedir. Turizm, doğa koruma ve yerel topluluk sistemlerinin birbiriyle ilişkili olması ve karar alma süreçlerinde farklı çıkar ve etki düzeylerine sahip çok sayıda paydaşın bulunması, bu alanların yönetiminde iş birliğine dayalı yaklaşımlara duyulan ihtiyacı artırmaktadır (Jamal

& Stronza, 2009). Bu nedenle doğa temelli turizmde farklı paydaşların karar alma ve uygulama süreçlerine dahil edildiği yönetişim yaklaşımları önem kazanmaktadır.

Korunan alanlarda yönetişim, karar alma yetkisi ve yönetim sorumluluğunun aktörler arasında nasıl dağıldığına bağlı olarak farklı biçimlerde gerçekleştirilebilmektedir. Bu kapsamda *kamu yönetimli, ortak yönetimli (co-managed), özel yönetimli ve toplum yönetimli* olmak üzere dört temel yönetişim biçimi öne çıkmaktadır. Kamu yönetimli yapılarda yönetim sorumluluğu büyük ölçüde kamu kurumlarında bulunurken, merkezi yapı bürokratik süreçlerin ağırlaşmasına ve yerel katılımın sınırlı kalmasına neden olabilmektedir. Ortak yönetim modelinde kamu kurumları, yerel topluluklar, sivil toplum kuruluşları ve özel sektör gibi farklı aktörler yönetim sorumluluğunu paylaşmaktadır. Özel yönetimli yapılarda yönetim özel kişi veya kuruluşlar tarafından yürütülürken, toplum yönetimli yapılarda yerel toplulukların karar alma süreçlerindeki rolü ve yerel bilgiden yararlanılması daha belirgin hâle gelmektedir (Sarhan vd., 2024).

Doğa temelli turizm açısından *iş birlikçi yönetişim*, devlet ve devlet dışı aktörlerin politika, plan ve yönetim uygulamalarına ilişkin karar süreçlerine birlikte katılmasını esas alan bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Bu yaklaşım, farklı aktörlerin yalnızca sürece dahil edilmesini değil, kararların oluşturulması ve uygulanmasında aktif rol üstlenmelerini ve yönetim sorumluluğunun paylaşılmasını gerektirmektedir. İş birlikçi yönetişimin etkin biçimde işlemesi; yerel katılımı teşvik eden mekanizmaların oluşturulması, karar alma gücünün paylaşılması, yerel kaynaklar üzerinde sahipliğin desteklenmesi, hesap verebilirliğin sağlanması, karşılıklı güvenin geliştirilmesi ve değişen koşullara uyum sağlayabilecek yönetim yapılarının oluşturulmasıyla ilişkilidir (de Koning vd., 2017). Bu yönüyle iş birlikçi yönetişim, yerel halkın yalnızca görüşüne başvurulan bir paydaş olmaktan çıkarak karar alma süreçlerinde etkili bir aktör hâline gelmesine olanak sağlayabilecek bir yapı sunmaktadır.

İş birlikçi yönetişimin uygulamadaki önemli araçlarından biri de *çok paydaşlı ortaklıklardır*. Bu ortaklıklar kamu kurumları, yerel topluluklar, özel sektör ve sivil toplum kuruluşlarının sahip oldukları bilgi, kaynak ve uzmanlığı ortak amaçlar doğrultusunda bir araya getirmelerine olanak sağlamaktadır. Korunan alanlarda bu tür ortaklıklar, turizm faaliyetlerinin yönetilmesi ile koruma hedeflerinin birlikte ele alınmasını, farklı aktörlerin karar süreçlerine dahil edilmesini ve yönetim sorumluluklarının paylaşılmasını destekleyebilmektedir. Bununla birlikte paydaşların farklı ve zaman zaman çatışan çıkarları, taraflar arasındaki güç dengesizlikleri, sınırlı finansal ve beşerî kaynaklar ile iletişim ve koordinasyon sorunları bu yapıların etkinliğini sınırlandırabilmektedir. Bu nedenle ortak amaçların belirlenmesi,

paydaşların rollerinin açık biçimde tanımlanması, kapsayıcı karar alma mekanizmalarının oluşturulması, iletişim ve güvenin geliştirilmesi ile çatışmaların yönetilmesine yönelik mekanizmaların kurulması çok paydaşlı ortaklıkların sürdürülebilirliği açısından önem taşımaktadır (Sarhan vd., 2024).

Yönetişim süreçlerinin etkinliği, turizmden elde edilen faydaların paydaşlar arasında nasıl paylaşıldığıyla da yakından ilişkilidir. Doğa koruma ile turizm gelişiminin birbirinden bağımsız ya da zorunlu olarak çatışan amaçlar şeklinde ele alınması yerine, bu iki alan arasında karşılıklı fayda yaratabilecek ilişkilerin geliştirilmesi önem taşımaktadır. Bu ilişkilerin kurulabilmesi için paydaşlar arasında etkili iletişim, iş birliği ve açıklığın sağlanması; farklı aktörlerin çıkarlarının ve süreç üzerindeki etkilerinin dikkate alınması gerekmektedir. Böyle bir yönetişim yapısı, turizmden kaynaklanan ekonomik ve sosyal faydaların yerel topluluklar da dahil olmak üzere daha geniş bir paydaş grubuna ulaşmasını destekleyebilmektedir. Bunun yanında kapsayıcılık, değişen sosyal ve ekolojik koşullara uyum sağlayabilecek esnek yönetsel düzenlemeler ve farklı yönetim ölçekleri arasındaki ilişkilerin dikkate alınması, turizm ile doğa koruma arasındaki etkileşimin yönetilmesinde önem taşımaktadır (Heslinga vd., 2019).

Sonuç olarak doğa temelli turizmde yönetişim, farklı paydaşların yalnızca sürece dahil edilmesinden daha kapsamlı bir yapıyı ifade etmektedir. Etkili bir yönetişim için yerel toplulukların karar alma süreçlerinde gerçek bir etkiye sahip olması, yetki ve sorumlulukların paydaşlar arasında paylaşılması, güven ve açık iletişimin geliştirilmesi, turizmden elde edilen faydaların kapsayıcı biçimde dağıtılması ve yönetim yapılarının değişen sosyal ve ekolojik koşullara uyum sağlayabilmesi önem taşımaktadır (de Koning vd., 2017; Heslinga vd., 2019; Sarhan vd., 2024). Böyle bir yönetişim anlayışı, doğa koruma hedefleri ile yerel toplulukların sosyal ve ekonomik beklentilerinin birlikte ele alınmasına ve doğa temelli turizmin sürdürülebilirliğinin desteklenmesine katkı sağlayabilir.

SONUÇ

Doğa temelli turizmde yerel katılım, yalnızca yerel halkın turizm faaliyetlerinden ekonomik fayda sağlamasıyla sınırlı olmayıp, planlama, karar alma, uygulama ve değerlendirme süreçlerinde farklı düzeylerde gerçekleşen çok boyutlu bir yapıya sahiptir. İncelenen literatür, katılımın niteliğinin yerel halka tanınan karar verme gücüyle yakından ilişkili olduğunu ve yerel halkın sürece dâhil edilmesinin her durumda kararlar üzerinde gerçek bir etkiye sahip olduğu anlamına gelmediğini göstermektedir. Bu nedenle yerel katılımın değerlendirilmesinde, katılımın varlığından çok yerel toplulukların karar süreçlerinde ne ölçüde etkili olabildiğinin dikkate alınması önem taşımaktadır.

Yerel katılımın düzeyi ve niteliği, birbirleriyle ilişkili çok sayıda faktör tarafından şekillenmektedir. Kurumsal ve yönetsel yapı, yerel halkın bilgi, eğitim, insan kaynağı ve finansal kapasitesi, ekonomik faydalara erişim ve bu faydaların dağılımı, farkındalık ve katılım motivasyonu ile doğal kaynaklara erişim ve kullanım koşulları bu süreçte belirleyici olmaktadır. Dolayısıyla katılımın yalnızca yerel halkın isteğine bağlı bireysel bir süreç olarak değerlendirilmesi yeterli değildir. Katılım isteğinin fiilî katılıma dönüşebilmesi, yerel toplulukların karar süreçlerine erişebildiği ve sahip oldukları bilgi ve kaynakları kullanabildiği kurumsal ve yönetsel koşulların varlığıyla ilişkilidir.

Doğa temelli turizmin çok aktörlü yapısı ise yerel katılım ile yönetişim arasındaki ilişkinin önemini ortaya koymaktadır. Kamu kurumları, yerel topluluklar, özel sektör ve sivil toplum kuruluşları gibi farklı aktörlerin karar alma ve uygulama süreçlerine dâhil edildiği iş birlikçi yönetişim ve çok paydaşlı yapılar, farklı bilgi, kaynak ve beklentilerin birlikte ele alınmasına olanak sağlamaktadır. Ancak bu yapıların varlığı tek başına etkili yönetişimi garanti etmemektedir. Yerel toplulukların kararlar üzerinde gerçek bir etkiye sahip olması, yetki ve sorumlulukların paylaşılması, paydaşlar arasında güven ve açık iletişimin geliştirilmesi ve turizmden elde edilen faydaların kapsayıcı biçimde dağıtılması, katılımcı yönetişimin işlevsel hâle gelmesinde önem taşımaktadır.

Sonuç olarak doğa temelli turizmin sürdürülebilirliği açısından temel mesele, yerel halkın sürece yalnızca dâhil edilmesi değil, katılımın niteliği ve karar süreçleri üzerindeki etkisidir. Yerel toplulukların yalnızca ekonomik faydalardan yararlanan ya da görüşüne başvurulan paydaşlar olarak değil, turizmin planlanması ve yönetiminde karar süreçlerine etkin biçimde katılan aktörler olarak konumlandırılması; doğa koruma, turizm gelişimi ve yerel toplumun beklentilerinin birlikte ele alınabilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu çerçevede yerel katılım ile yönetişim birbirinden bağımsız iki unsurdan ziyade, doğa temelli turizmin sürdürülebilir gelişimini birlikte şekillendiren tamamlayıcı süreçler olarak değerlendirilebilir.

KAYNAKÇA

Ali, M. B., Quaddus, M., Rabbanee, F. K., & Shanka, T. (2022). Community participation and quality of life in nature-based tourism: Exploring the antecedents and moderators. *Journal of Hospitality & Tourism Research, 46*(3), 630–661. https://doi.org/10.1177/1096348020980094

Arnstein, S. R. (1969). A ladder of citizen participation. *Journal of the American Institute of Planners, 35*, 216–224. https://doi.org/10.1080/01944366908977225

Bello, F. G., Lovelock, B., & Carr, N. (2017). Constraints of community participation in protected area-based tourism planning: The case of Malawi. *Journal of Ecotourism, 16*(2), 131–151. https://doi.org/10.1080/14724049.2016.1251444

Dubale, S. A., & Melese, K. B. (2026). Community participation in ecotourism project development: Evidence from Menz-Guassa Community Conservation Area, Ethiopia. Gateways: International Journal of Community Research and Engagement, 19(1), 1–20. https://doi.org/10.5130/z86qzp98

de Koning, M., Nguyen, T., Lockwood, M., Sengchanthavong, S., & Phommasane, S. (2017). Collaborative governance of protected areas: Success factors and prospects for Hin Nam No National Protected Area, Central Laos. *Conservation and Society, 15*(1), 87–99. https://doi.org/10.4103/0972-4923.201396

Fredman, P., & Tyrväinen, L. (2010). Frontiers in nature-based tourism. *Scandinavian Journal of Hospitality and Tourism, 10*(3), 177–189. https://doi.org/10.1080/15022250.2010.502365

Heslinga, J., Groote, P., & Vanclay, F. (2019). Strengthening governance processes to improve benefit-sharing from tourism in protected areas by using stakeholder analysis. *Journal of Sustainable Tourism, 27*(6), 773–787. https://doi.org/10.1080/09669582.2017.1408635

Jamal, T., & Stronza, A. (2009). Collaboration theory and tourism practice in protected areas: Stakeholders, structuring and sustainability. *Journal of Sustainable Tourism, 17*(2), 169–189. https://doi.org/10.1080/09669580802495741

Li, W. (2006). Community decision making: Participation in development. *Annals of Tourism Research, 33*(1), 132–143. https://doi.org/10.1016/j.annals.2005.07.003

Margaryan, L., & Fredman, P. (2017). Bridging outdoor recreation and nature-based tourism in a commercial context: Insights from the Swedish service providers. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism, 17*, 84–92. https://doi.org/10.1016/j.jort.2017.01.003

Sarhan, M., Pernecky, T., Lück, M., & Orams, M. (2024). Tourism governance and multi-stakeholder partnerships in protected areas: A scoping review. *Journal of Park and Recreation Administration*. https://doi.org/10.18666/JPRA-2024-11851

Spenceley, A., Snyman, S., & Eagles, P. F. J. (2017). *Guidelines for tourism partnerships and concessions for protected areas: Generating sustainable revenues for conservation and development*. Report to the Secretariat of the Convention on Biological Diversity and IUCN.

Şahbaz, R. P., & Akdu, U. (2010). Katılımcı turizm planlaması: Fethiye'de alan araştırması. *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 13*(23), 152–170.

Thapa, K., King, D., Banhalmi-Zakar, Z., & Diedrich, A. (2022). Nature-based tourism in protected areas: A systematic review of socio-economic benefits and costs to local people. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 29*(7), 625–640. https://doi.org/10.1080/13504509.2022.2073616

Tosun, C. (1999). Towards a typology of community participation in the tourism development process. *Anatolia, 10*(2), 113–134.

Tosun, C. (2000). Limits to community participation in the tourism development process in developing countries. *Tourism Management, 21*, 613–633.

Tosun, C. (2006). Expected nature of community participation in tourism development. *Tourism Management, 27*, 493–504.

Zakia, K. (2021). Ecotourism in Indonesia: Local community involvement and the affecting factors. *Journal of Governance and Public Policy, 8*(2), 93–105. https://doi.org/10.18196/jgpp.v8i2.10789

TANSHİNONE IIA'NIN İNSAN DERMAL FİBROBLASTLARDA YARA İYİLEŞMESİ VE TGF-β DÜZEYLERİ ÜZERİNE ETKİSİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Nilay İŞİTEZ
Afyonkarahisar Health Sciences University, Faculty of Pharmacy, Department of Basic Pharmaceutical Sciences, 33030, Afyonkarahisar
ORCID ID: 0000-0002-1928-7158
Prof. Dr. Sevim Feyza ERDOĞMUŞ
Afyonkarahisar Health Sciences University, Faculty of Pharmacy, Department of Basic Pharmaceutical Sciences, 33030, Afyonkarahisar
ORCID ID: 0000-0002-4319-7558

ÖZET

Salvia miltiorrhiza (Danshen) bitkisinin aktif bileşeni olan Tanshinone IIA'nın antioksidan, antiinflamatuvar, nöroprotektif, hücre proliferasyonunu baskılayıcı, hücre döngüsünün durdurulması, apoptoz indükleyici, vasküler koruyucu gibi çeşitli farmakolojik özelliklere sahip olduğu bilinmektedir. Yara iyileşmesi, inflamasyon fazı, proliferasyon fazı ve dokunun yeniden şekillenmesi süreçlerini içeren biyolojik bir süreçtir. Dermal fibroblatların hücre göçü, proliferasyonu ve granülasyon dokusunun oluşumundaki merkezi rolü nedeniyle yaraların onarımı için gerekli olduğu vurgulanmaktadır. Dönüştürücü büyüme faktörü beta (TGF-β), yara iyileşme sürecinde önemli bir rol oynamaktadır. Bu çalışmada yara iyileşmesi sırasında insan dermal fibroblast (HDFa) hücrelerinde *in vitro* yara kapanması ve TGF-β düzeyleri üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi amaçlandı. Bu amaçla, HDFa hücrelerinde farklı konsantrasyonlarda uygulanan Tanshinone IIA'nın etkisi hücre canlılık analiziyle değerlendirildikten sonra çizik yara modeli oluşturuldu. TGF-β düzeyleri hücre lizatlarında ELISA yöntemiyle ölçüldü. Hücre canlılık analizi sonucunda Tanshinone IIA'nın sitotoksik olmayan dozu belirlendi. Çalışmamız sonucunda özellikle 48 saat sonunda yara kapanma oranının daha yüksek olduğu belirlendi. TGF-β düzeyinin de kontrol grubuna kıyasla, Tanshinone IIA uygulanan grupta yüksek olduğu belirlendi. Elde edilen bulgular, Tanshinone IIA uygulamasının HDFa hücrelerinde in vitro olarak yara kapanmasını destekleyebileceğini ve bu yara kapanmasına TGF-β düzeyindeki artış eğiliminin eşlik ettiğini düşündürmekle birlikte, TGF-β düzeyindeki artış ile yara kapanması arasındaki ilişkinin ve altta yatan moleküler mekanizmaların ortaya konulması için ileri çalışmalara ihtiyaç vardır.

Anahtar kelimeler: Tanshinone IIA, yara iyileşmesi, TGF-β, insan dermal fibroblast, çizik yara modeli

EVALUATION OF THE EFFECTS OF TANSHINONE IIA ON WOUND HEALING AND TGF-β LEVELS IN HUMAN DERMAL FIBROBLASTS

ABSTRACT

Salvia miltiorrhiza (Danshen) is a medicinal plant whose major bioactive constituent, Tanshinone IIA, is known to exhibit a wide range of pharmacological properties, including antioxidant, anti-inflammatory, neuroprotective, anti-proliferative, cell cycle arrest, pro-apoptotic, and vasculoprotective activities. Wound healing is a complex biological process that involves the inflammatory phase, proliferative phase, and tissue remodeling phase. Dermal fibroblasts play a central role in wound repair through their ability to migrate, proliferate, and contribute to granulation tissue formation. Transforming growth factor-beta (TGF-β) is one of the key regulators involved in the wound healing process. The present study aimed to evaluate the effects of Tanshinone IIA on in vitro wound closure and TGF-β levels in human dermal fibroblast (HDFa) cells during wound healing. Initially, the effects of different concentrations of Tanshinone IIA on HDFa cells were assessed using a cell viability assay to determine a non-cytotoxic concentration. Subsequently, an in vitro scratch wound model was established in HDFa cells. TGF-β levels were measured in cell lysates using an enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). Cell viability analysis identified a non-cytotoxic concentration of Tanshinone IIA for subsequent experiments. The scratch assay demonstrated that wound closure was greater in the Tanshinone IIA-treated group, with a more pronounced effect observed at 48 hours. Furthermore, TGF-β levels were higher in the Tanshinone IIA-treated group than in the control group. These findings suggest that Tanshinone IIA may promote in vitro wound closure in HDFa cells and that enhanced wound closure is accompanied by increased TGF-β levels. However, further studies are required to elucidate the relationship between increased TGF-β levels and wound closure, as well as the underlying molecular mechanisms involved in this process.

Keywords: Tanshinone IIA, wound healing, TGF-β, human dermal fibroblast, scratch assay

1. INTRODUCTION

Wound healing is a complex process consisting of four stages: hemostasis, inflammation, proliferation, and remodeling/maturation (Fernández-Guarino et al. 2023; Cioce et al. 2024; Jin et al. 2025). During this process, platelets, neutrophils, macrophages, fibroblasts, keratinocytes, endothelial cells, and stem/progenitor cells, as well as molecular mediators such as growth factors and chemokines, play a role (Jin et al. 2025). Inflammatory cells migrate to the wound site immediately after the formation of the fibrin and platelet plug during the hemostasis phase. Neutrophils, macrophages, and fibroblasts play a role in the proliferation

phase. During the remodeling/maturation stage, the extracellular matrix is reorganized, and the newly formed tissue matures (Fernández-Guarino et al. 2023; Cioce et al. 2024). Dysregulation of the immune system at any stage of these processes can prolong the inflammatory phase and lead to the formation of chronic wounds (Cioce et al. 2024).

Dermal fibroblasts are mesenchymal cells commonly found throughout the human body that play a role in all stages of wound healing, including extracellular matrix remodeling and inflammation (Knoedler et al. 2023; Boraldi et al. 2024; Dong et al. 2025). After synthesizing the extracellular matrix during this process, dermal fibroblasts communicate with other cell types by secreting cytokines and growth factors (Boraldi et al. 2024). Transforming growth factor beta (TGF-β) is one of the cytokines that play the most significant role among the many cytokines and growth factors involved in wound healing (Penn et al. 2012; Finnson et al. 2013).

TGF-β is a cytokine secreted by platelets, keratinocytes, macrophages, and fibroblasts that is important for maintaining skin homeostasis (Irma et al. 2025). During hemostasis, platelets release large amounts of TGF-β, which contributes to wound healing through TGF-β's chemotactic function (Deng et al. 2024). TGF-β signaling regulates re-epithelialization, inflammation, angiogenesis, and granulation tissue formation during wound healing (Irma et al. 2025). However, it has been noted that maintaining a balanced level and duration of TGF-β signaling is important for wound healing, while excessive or prolonged TGF-β activation may be associated with excessive extracellular matrix deposition, fibrosis, and pathological scar formation (Deng et al. 2024). For this reason, proper regulation of TGF-β signaling is considered an important factor in maintaining physiological wound healing.

Tanshinone IIA is an active compound obtained from the roots of the *Salvia miltiorrhiza* plant and has various biological activities, including antioxidant, anti-inflammatory, neuroprotective, and cardiovascular protective effects (Zhong et al. 2021). These activities have also been reported to be associated with the regulation of various cellular signaling pathways, such as Nrf2, NF-κB, MAPK, PI3K/Akt/mTOR, and TGF-β/Smad (Zhong et al. 2021). In addition to these effects of tanshinone IIA, its ability to influence processes involved in wound healing such as angiogenesis, the inflammatory response, and extracellular matrix remodeling, is increasing interest in this compound's potential effects on tissue repair. Tanshinone IIA is reported to reduce the inflammatory response by regulating macrophage polarization while also facilitating wound healing by promoting the secretion of anti-

inflammatory factors such as IL-10 (Fan et al. 2016). It has also been reported to accelerate the closure of full-thickness skin wounds in diabetic rats, enhance re-epithelialization and angiogenesis, and improve collagen organization (Pan et al. 2025). These findings highlight the importance of investigating the potential role of Tanshinone IIA in wound healing and its effects on the cellular mechanisms involved in this process.

Given the role of dermal fibroblasts in wound healing and the importance of TGF-β in this process, investigating the effects of Tanshinone IIA on dermal fibroblasts is significant. This study aimed to evaluate the effects of Tanshinone IIA on in vitro wound healing and TGF-β levels in HDFa cells. To this end, the non-cytotoxic concentration of Tanshinone IIA was determined, wound closure was assessed at various time points using an in vitro scratch wound model, and TGF-β levels were measured in cell lysates.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Cell culture and determination of cell viability

HDFa cells (ATCC, PCS-201-012) were cultured in Dulbecco's Modified Eagle Medium (DMEM) supplemented with 10% fetal bovine serum (FBS) and 1% penicillin-streptomycin (Sigma-Aldrich, Germany). Tanshinone IIA (TargetMol, 568-72-9, USA) was obtained commercially. The effect of Tanshinone IIA on cell viability was evaluated using the 3-(4,5-dimethylthiazol-2-yl)-2,5-diphenyltetrazolium bromide (MTT) reduction assay (Kumar et al. 2018). HDFa cells were seeded into 96-well plates at a density of 2×10^4 cells per well and incubated until they reached approximately 70–80% confluence. Subsequently, the cells were treated with doses (0.09–25 µM) of Tanshinone IIA and incubated at 37 °C in a humidified incubator containing 5% CO_2 for 24 hours. At the end of the treatment period, MTT reagent was added to each well, and the plates were incubated for an additional 2 hours at 37 °C. Following incubation, the supernatant was carefully removed, and dimethyl sulfoxide (DMSO) was added to dissolve the formed formazan crystals. To ensure complete dissolution of the formazan crystals, the plates were shaken at low speed for 5 minutes at room temperature. Absorbance values were measured at 570 nm using a microplate reader (Multiscan Sky, Thermo Fisher Scientific). Cell viability was calculated as a percentage relative to the untreated control group, which was considered to have 100% viability. The calculation of the cell viability percentage was performed according to the following formula.

$$\text{Cell viability (\%)} = \left[1 - \left(\frac{\text{A}_{570}\text{of the test}}{\text{A}_{570}\text{of control}}\right)\right] \times 100$$

2.2. Scratch wound healing model

The effect of Tanshinone IIA on wound healing was evaluated in HDFa cells using the CytoSelect™ 24-well Wound Healing Assay Kit (Cell Biolabs, San Diego, CA, USA). Based on the MTT assay results, a Tanshinone IIA concentration of 1.56 µM, which yielded the highest cell viability, was selected for use in subsequent experiments. Tanshinone IIA was dissolved in culture medium, and untreated cells were used as the control group. To create the wound area, inserts were placed in each well using sterile forceps, ensuring complete contact with the bottom surface and alignment of the wound areas in the same direction. In accordance with the kit protocol, an HDFa cell suspension was prepared at a density of 1.0×10^6 cells/mL in DMEM containing 10% FBS. Then, 500 µL of the prepared cell suspension was added to each well and incubated for 24 hours to allow a homogeneous cell layer to form.

After the cell monolayer had formed, the inserts were carefully removed so as not to damage the cells at the wound edges. To remove cellular debris and non-adherent cells, the wells were washed 4–6 times with serum-free medium. Subsequently, fresh medium containing 10% FBS was added to the wells, and Tanshinone IIA was applied to the relevant wells. The cells were incubated at 37°C in an atmosphere containing 5% CO_2. Wound closure was imaged at 0, 24, and 48 hours at 10× magnification using an inverted light microscope (Nikon Eclipse TS100) equipped with a Nikon digital camera. The wound areas were measured using ImageJ software, and the percentage of wound closure was calculated according to the following formula.

$$\text{Wound Closure } (\%) = [Migrated\ Cell\ Surface\ Area / Total\ Surface\ Area)] \times 100$$

2.3. Determination of TGF-β levels in cell lysates

HDFa cells were incubated in DMEM medium supplemented with 10% FBS and 1% penicillin-streptomycin at 37°C and 5% CO_2. The cells were treated with 1.56 µM Tanshinone IIA—the concentration yielding the highest cell viability in the MTT assay—while untreated cells served as the control group. After 24 hours of incubation, the cells were detached via trypsinization and collected in Falcon tubes. Following neutralization of the trypsin with complete culture medium, the cell suspensions were centrifuged. The resulting cell pellets were washed twice to remove residual trypsin. Subsequently, the cell pellets were lysed on ice using a lysis buffer containing 100 mM NaH_2PO_4, 1% Triton X-100, 1 M HEPES, and a 1% protease inhibitor cocktail. The cell lysates were centrifuged at 13,000 × g for 40 minutes at 4°C, and the supernatants were collected for TGF-β analysis. TGF-β levels in the cell lysates were measured using a commercial Human TGF-β ELISA kit (Cat. No. E3051Hu, Bioassay Technology Laboratory, China) in accordance with the manufacturer's protocol.

2.4. Statistical analyses

Statistical analyses were performed using GraphPad Prism 8.0.2 (GraphPad Software, San Diego, CA, USA). The data were expressed as the mean ± standard deviation (SD). One-way ANOVA was used to evaluate the effects of different concentrations of tanshinone IIA on cell viability. The Šídák multiple comparisons test was applied to compare the concentration at which cell viability was highest (1.56 µM) with the other concentrations. A Two-way ANOVA test and the Šídák multiple comparison test were used to evaluate wound closure rates. An independent samples t-test with Welch's correction was used to compare TGF-β levels in cell lysates between the control and Tanshinone IIA groups. $p < 0.05$ was considered statistically significant in all analyses.

3. RESULTS AND DISCUSSION

To determine the effect of Tanshinone IIA on the viability of HDFa cells, the cells were treated with Tanshinone IIA at concentrations ranging from 0.09 to 25 µM. MTT analysis revealed that cell viability values changed in a statistically significant manner depending on the treatment doses.

($p<0.0001$). It was determined that the highest application dose increasing cell viability was 1.56 µM, and cell viability in this group was found to be statistically significantly higher than at all other concentrations compared ($p < 0.05$) (Figure 1). Tanshinone IIA concentration of 1.56 µM was used in subsequent experiments.

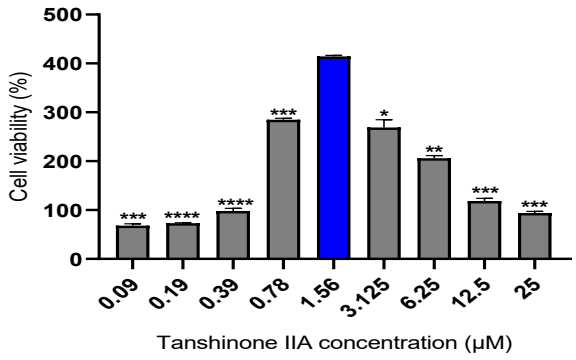


Figure 1. Effect of Tanshinone IIA on HDFa cell viability
Data are presented as mean ± SD (n=3). Statistical analysis was performed using One-way ANOVA for repeated measures and the Šídák multiple comparison test. Comparisons were made using the 1.56 µM Tanshinone IIA group as the reference. *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001, ****p<0.0001.

It is reported that the effects of Tanshinone IIA on fibroblasts may vary depending on the concentration and the cellular model (Shi et al. 2020; Jiang et al. 2024). It has been shown that Tanshinone IIA suppresses fibroblast proliferation in a dose-dependent manner and

reduces the expression of α-SMA, VEGFA, Collagen I, HSRL, SNX9, and p-Smad2/3 in a hypertrophic scar model generated from TGF-β1-stimulated fibroblasts (Shi et al. 2020). In another study, it is reported that the proliferation of skin fibroblasts from patients with systemic sclerosis is inhibited in a dose-dependent manner in primary cultures (Jiang et al. 2024). However, it was determined that the application of low-concentration Tanshinone IIA enhanced wound closure in HDFa cells not stimulated with TGF-β1 in our study. It is thought that the differences among the findings may stem from variations in the condition of the fibroblasts used, the experimental model, the dosage of Tanshinone IIA administered, and the evaluation time points. This suggests that the effects of Tanshinone IIA on fibroblasts may be dependent on cellular condition.

In the *in vitro* scratch wound model established using HDFa cells, the wound closure rate at 24 hours was determined to be 30.10% in the control group and 49.22% in the Tanshinone IIA group. The rate was determined to be 77.15% in the control group and 96.22% in the Tanshinone IIA group at 48 hours. It was determined that both time and Tanshinone IIA treatment had a significant effect on the wound closure rate based on the results of the Two-way ANOVA ($p<0.0001$). It was determined that the wound closure rate in the Tanshinone IIA group was significantly higher than that of the control group at both the 24th and 48th hours ($p<0.0001$) (Figure 2).

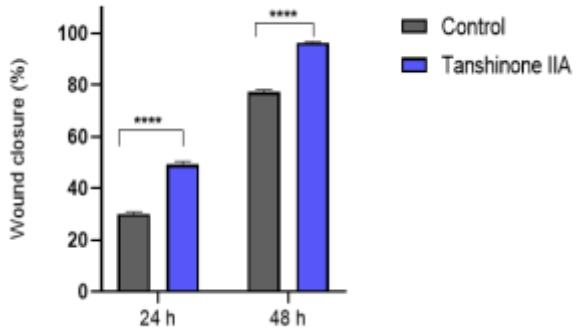


Figure 2. Effect of Tanshinone IIA on the wound closure rate in HDFa cells.
Data are presented as mean ± SD (n=3). Statistical analysis was performed using Two-way ANOVA and Šídák's multiple comparisons test. ****p<0.0001.

The wound-closure-promoting effect observed in our study is also supported by research investigating the impact of Tanshinone IIA on wound healing. It has been reported that Tanshinone IIA application accelerates wound closure, enhances re-epithelialization, improves collagen organization, and increases angiogenesis in a dorsal skin wound model established in diabetic rats (Pan et al. 2025). These effects were primarily associated with the regulation of macrophage polarization and the inhibition of the NLRP3-mediated inflammatory response.

These results suggest that, despite the use of different experimental models, Tanshinone IIA may have biological effects that could support tissue repair. Nevertheless, the effects of Tanshinone IIA on fibroblasts appear to vary depending on the experimental model. A study investigating the suppression of hypertrophic scarring in dermal tissue fibrosis reported that Tanshinone IIA inhibits the proliferation and migration of human dermal fibroblasts, while also reducing TGF-β1 secretion and increasing Smad7 expression (Zhan et al. 2023). Differences between the findings may stem from differences in the cellular model used, the method and concentration of Tanshinone IIA administration, and the physiological or pathological states of the fibroblasts.

TGF-β levels measured at 24 hours in HDFa cell lysates were normalised to the total protein concentration. TGF-β level was determined to be 1.581 pg/mg protein in the control group and 1.944 pg/mg protein in the Tanshinone IIA group. Although the TGF-β level was found to be higher in the Tanshinone IIA group than in the control group, the difference between the groups was not statistically significant ($p>0.05$) (Figure 3).

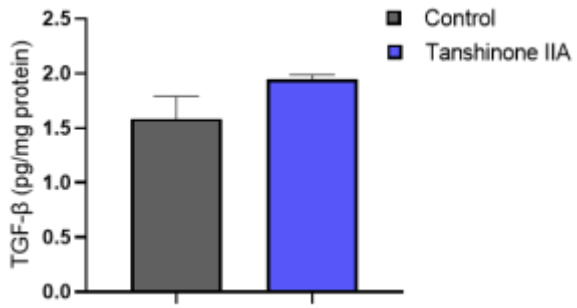


Figure 3. Effect of Tanshinone IIA on TGF-β levels in HDFa cells.
Data are presented as mean ± SD (n=3). Groups were compared using an independent samples t-test with Welch's correction ($p > 0.05$).

It is reported that TGF-β plays a significant role in regulating processes such as the migration and activation of fibroblasts to the wound site, as well as extracellular matrix synthesis and remodeling, during wound healing (Deng et al. 2024). It is suggested that the trend of increasing TGF-β levels observed following Tanshinone IIA administration may be a finding associated with the enhanced wound closure response determined under the same conditions. However, it should also be taken into account that the difference between the groups did not reach statistical significance and that TGF-β levels were evaluated only at the 24th hour. Furthermore, it is reported that in skin fibroblasts from patients with systemic sclerosis, Tanshinone IIA reduces the activation of the TGF-β/Smad signaling pathway, suppresses fibroblast proliferation, and decreases extracellular matrix and collagen expression (Jiang et al.

2024). Differences are observed when comparing the findings of the current study with those of previous research investigating the effects of Tanshinone IIA on TGF-β signaling across various cellular and pathological models. The use of normal human dermal fibroblasts in our study, combined with the observation of a statistically non-significant upward trend in TGF-β levels, suggests that the effects of Tanshinone IIA related to TGF-β may vary depending on variables such as the cellular model, the activation state of the fibroblasts, and the administered dose and duration.

4. CONCLUSION

The potential role of Tanshinone IIA in wound healing, the highest HDFa cell viability was achieved at a concentration of 1.56 µM, and it was determined that this dose significantly enhanced in vitro wound closure. Furthermore, the observation of a statistically non-significant trend toward increased TGF-β levels following Tanshinone IIA administration suggests that this change may accompany the enhanced wound closure response. However, further studies evaluating TGF-β isoforms and the underlying molecular mechanisms at various time intervals are needed to elucidate the role of TGF-β in the effect of Tanshinone IIA on wound healing.

REFERENCES

Boraldi, F., Lofaro, F. D., Bonacorsi, S., Mazzilli, A., Garcia-Fernandez, M., & Quaglino, D. (2024). The Role of Fibroblasts in Skin Homeostasis and Repair. Biomedicines, 12(7). https://doi.org/10.3390/biomedicines12071586

Cioce, A., Cavani, A., Cattani, C., & Scopelliti, F. (2024). Role of the skin immune system in wound healing. Cells, 13(7), 624.

Deng, Z., Fan, T., Xiao, C., Tian, H., Zheng, Y., Li, C., & He, J. (2024). TGF-β signaling in health, disease and therapeutics. Signal transduction and targeted therapy, 9(1), 61.

Dong, X., Xiang, H., Li, J., Hao, A., Wang, H., Gou, Y., Li, A., Rahaman, S., Qiu, Y., Li, J., Mei, O., Zhong, J., You, W., Shen, G., Wu, X., Li, J., Shu, Y., Shi, L. L., Zhu, Y., Reid, R. R., He, T. C., & Fan, J. (2025). Dermal fibroblast-derived extracellular matrix (ECM) synergizes with keratinocytes in promoting re-epithelization and scarless healing of skin wounds: Towards optimized skin tissue engineering. Bioact Mater, 47, 1–17. https://doi.org/10.1016/j.bioactmat.2024.12.030

Fan, G., Jiang, X., Wu, X., Fordjour, P. A., Miao, L., Zhang, H., Zhu, Y., & Gao, X. (2016). Anti-inflammatory activity of tanshinone IIA in LPS-stimulated RAW264. 7 macrophages via miRNAs and TLR4–NF-κB pathway. Inflammation, 39(1), 375–384.

Fernández-Guarino, M., Hernández-Bule, M. L., & Bacci, S. (2023). Cellular and Molecular Processes in Wound Healing. Biomedicines, 11(9). https://doi.org/10.3390/biomedicines11092526

Finnson, K. W., Arany, P. R., & Philip, A. (2013). Transforming Growth Factor Beta Signaling in Cutaneous Wound Healing: Lessons Learned from Animal Studies. Adv Wound Care (New Rochelle), 2(5), 225–237. https://doi.org/10.1089/wound.2012.0419

Irma, J., Kartasasmita, A. S., Kartiwa, A., Irfani, I., Rizki, S. A., & Onasis, S. (2025). From Growth Factors to Structure: PDGF and TGF-β in Granulation Tissue Formation. A Literature Review. J Cell Mol Med, 29(11), e70374. https://doi.org/10.1111/jcmm.70374

Jiang, Y., Hu, F., Li, M., & Li, Q. (2024). Tanshinone IIA ameliorates the development of dermal fibrosis in systemic sclerosis. Clinical and Experimental Pharmacology and Physiology, 51(2), e13834.

Jin, C., Jin, Y., Ding, Z., Nuch, K. S., Han, M., Shim, J., Chien, P. N., & Heo, C. Y. (2025). Cellular and molecular mechanisms of wound repair: from biology to therapeutic innovation. Cells, 14(23), 1850.
Knoedler, S., Broichhausen, S., Guo, R., Dai, R., Knoedler, L., Kauke-Navarro, M., Diatta, F., Pomahac, B., Machens, H.-G., Jiang, D., & Rinkevich, Y. (2023). Fibroblasts – the cellular choreographers of wound healing [Review]. Frontiers in Immunology, Volume 14 - 2023. https://doi.org/10.3389/fimmu.2023.1233800
Kumar, P., Nagarajan, A., & Uchil, P. D. (2018). Analysis of cell viability by the MTT assay. Cold spring harbor protocols, 2018(6), pdb. prot095505.
Pan, T., Zhu, X., Sui, Y., Zhang, Z., & Su, Y. (2025). Tanshinone IIA accelerates diabetic wound healing via suppression of macrophage NLRP3 inflammasome activity. Biochemical and Biophysical Research Communications, 153171.
Penn, J. W., Grobbelaar, A. O., & Rolfe, K. J. (2012). The role of the TGF-β family in wound healing, burns and scarring: a review. Int J Burns Trauma, 2(1), 18–28.
Shi, J., Lai, J., Lin, Y., Xu, X., Guo, S., Wang, H., Wang, F., & Mai, Y. (2020). Tanshinone IIA down-regulated p-Smad3 signaling to inhibit TGF-β1-mediated fibroblast proliferation via lncRNA-HSRL/SNX9. The International Journal of Biochemistry & Cell Biology, 129, 105863.
Zhan, Y., Xu, X., Luo, X., Liu, R., Lin, Y., Zhao, P., & Shi, J. (2023). Preparation of tanshinone IIA self-soluble microneedles and its inhibition on proliferation of human skin fibroblasts. Chinese Herbal Medicines, 15(2), 251–262.
Zhong, C., Lin, Z., Ke, L., Shi, P., Li, S., Huang, L., Lin, X., & Yao, H. (2021). Recent Research Progress (2015–2021) and Perspectives on the Pharmacological Effects and Mechanisms of Tanshinone IIA [Review]. Frontiers in Pharmacology, Volume 12 - 2021. https://doi.org/10.3389/fphar.2021.778847

GENÇLERDE RİSKLİ SAĞLIK DAVRANIŞLARI VE MENTAL İYİ OLUŞ

İrem SEVİM EKİCİ
Marmara University, Institute of Health Sciences, Department of Nursing, Department of Public Health Nursing, İstanbul, Türkiye
ORCID ID: 0009-0007-3433-9538
Prof. Dr. Ayşe ERGÜN
Marmara University, Faculty of Health Sciences, Department of Nursing, Department of Public Health Nursing, İstanbul, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-3132-2005

ÖZET

Gençlik dönemi, bireylerin fiziksel, ruhsal ve sosyal değişimlerin yaşandığı, sağlık davranışlarının oluştuğu önemli bir yaşam evresidir. Bu dönemde şekillenen yaşam tarzı ve davranış örüntüleri, bireyin fiziksel ve zihinsel sağlığının sürdürülmesinde belirleyici bir role sahiptir. Gençler, yaşam tarzı ve davranış alışkanlıkları açısından riskli bir grubu oluşturmakta; alkol tüketimi, sigara ve madde kullanımı, fiziksel inaktivite ve sağlıksız beslenme, mental iyi oluşun zayıflamasına neden olabilen başlıca riskli sağlık davranışları arasında yer almaktadır. Mevcut çalışmalar, bu davranışların bireylerde artan stresle birlikte çeşitli psikolojik problemlerle ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır. Ayrıca bu davranışlar, sosyal ilişkilerde bozulma, akademik performansın düşmesi, topluma uyum sağlamada zorlanma gibi olumsuz sonuçlarla ilişkilendirilmektedir. Fiziksel inaktivite ve sağlıksız beslenme, beyindeki mutlulukla ilişkili nörokimyasal mekanizmaları baskılayarak duygusal dengeyi bozmakta; buna bağlı olarak gençlerin stresle baş etme becerisi ve psikolojik dayanıklılığı olumsuz etkilenmektedir.

Bu derlemede literatür taraması PubMed, Scopus ve Web of Science veri tabanlarında gerçekleştirilmiştir. Tarama sürecinde “risky health behaviors”, “health risk behaviors”, “mental well-being”, “mental wellbeing”, “young people”, “youth”, “adolescents” ve “young adults” anahtar kelimeleri kullanılarak ağırlıklı olarak son beş yıl içinde yayımlanmış çalışmalar incelenmiştir.

Bu derlemenin amacı, gençlerde riskli sağlık davranışları ve mental iyi oluş arasındaki ilişkiyi çok boyutlu bir bakış açısıyla ele almaktır. Gençlerin sağlıklı yaşam alışkanlıkları geliştirmeleri ve bu alışkanlıkları sürdürmeleri, mental iyi oluş düzeylerinin artırılması okul sağlığı hemşireleri ve sağlık profesyonellerinin temel amaçlarındandır. Bu derleme gençlerin sağlığını güçlendirmeye yönelik önleyici strateji ve müdahalelerin geliştirilmesi açısından temel oluşturacaktır.

Anahtar Kelimeler: Riskli Sağlık Davranışları, Mental İyi Oluş, Genç Sağlığı

RISKY HEALTH BEHAVIORS AND MENTAL WELL-BEING AMONG YOUNG PEOPLE

ABSTRACT

Youth is a critical stage of life in which individuals experience changes in physical, psychological, and social domains, and where health behaviors begin to develop. The lifestyle and behavioral patterns formed during this period play a crucial role in maintaining an individual's physical and mental health. Young people constitute a risk group in terms of lifestyle and behavioral habits; during this period, alcohol consumption, tobacco and substance use, physical inactivity, and unhealthy eating are among the major risky health behaviors that may lead to a reduction in mental well-being.

Current studies indicate that these behaviors are associated with various psychological problems accompanied by increased levels of stress in individuals. In addition, these behaviors are linked to multidimensional negative outcomes such as deterioration in social relationships, decreased academic performance, and difficulties in adapting to society. Physical inactivity and unhealthy eating suppress neurochemical mechanisms in the brain that are associated with happiness, thereby disrupting emotional balance; consequently, young people's ability to cope with stress and their psychological resilience are negatively affected.

For this review, a literature search was conducted using the PubMed, Scopus, and Web of Science databases. The search focused on studies published within the last five years that included the keywords "risky health behaviors," "health-risk behaviors," "mental well-being," "youth," "adolescents," and "young adults."

The aim of this review is to examine the relationship between risky health behaviors and mental well-being among young people from a multidimensional perspective. Supporting young people in developing and maintaining healthy lifestyle habits and improving their levels of mental well-being are among the primary goals of school health nurses and other health professionals. This review provides a foundation for the development of preventive strategies and interventions aimed at strengthening the health of young people.

Keywords: Risky Health Behaviors, Mental Well-Being, Youth Health

DENEYSEL ALZHEİMER HASTALIĞI MODELİNDE QUERCETİNİN İNFLAMASYON ÜZERİNDEKİ ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Sadiye Uygur
Department of Histology and Embryology, Institute of Health Sciences, Gaziantep University, Gaziantep, Türkiye
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1950-5194
elifuyguur@gmail.com
Mehmet TÜRKER
Department of Histology and Embryology, Faculty of Medicine, Gaziantep University, Gaziantep, Türkiye
https://orcid.org/0000-0002-3556-4610
mehmettturker@gmail.com

Özet

Alzheimer hastalığı (AH), ilerleyici bilişsel kayıp ve nöronal dejenerasyonla karakterize, merkezi sinir sisteminin yaygın nörodejeneratif hastalıklarından biridir. Hastalığın patogenezinde hiperfosforile tau proteinleri ve beta-amiloid (Aβ) plaklarının birikiminin yanı sıra oksidatif stres, nöroinflamasyon ve hücresel protein homeostazındaki bozulmalar önemli rol oynamaktadır. NF-κB, inflamatuvar genlerin ekspresyonunu düzenleyen temel transkripsiyon faktörlerinden biri olup, Alzheimer hastalığında (AH) nöroinflamatuvar süreçlerin oluşumu ve sürdürülmesinde önemli rol oynamaktadır. Aβ gibi patolojik uyaranlar ve TLR aktivasyonu, özellikle mikroglia ve astrositlerde NF-κB sinyalizasyonunu aktive ederek TNF-α, IL-1β ve IL-6 gibi proinflamatuvar mediyatörlerin üretimini artırmaktadır. Süreğen NF-κB aktivasyonu, mikroglia ve astrositlerin reaktif fenotipe geçişini destekleyerek kronik nöroinflamasyonu güçlendirmekte ve buna bağlı nöronal hasarın ilerlemesine katkıda bulunmaktadır. Ayrıca NF-κB aktivasyonunun tau patolojisiyle de ilişkili olduğu, artmış NF-κB sinyalizasyonunun tau proteininin hiperfosforilasyonunu ve buna bağlı nörodejeneratif süreçleri destekleyebildiği bildirilmektedir. Bu nedenle NF-κB sinyal yolağındaki düzensiz aktivasyon, AH patogenezinde önemli bir mekanizma olarak değerlendirilmekte ve NF-κB'nin hedeflenmesi potansiyel terapötik yaklaşımlardan biri olarak araştırılmaktadır. Quercetin, çeşitli meyve ve sebzelerde bulunan, güçlü antioksidan ve antinflamatuar özelliklere sahip doğal bir flavonoiddir. Önceki çalışmalar, quercetinin oksidatif stres ve inflamatuar sinyal yolaklarını modüle ederek hücresel hasarı azaltabileceğini ve anormal proteinlerin uzaklaştırılmasına katkı sağlayabileceğini göstermektedir. Bu çalışmada, streptozotosin (STZ) ile oluşturulan deneysel Alzheimer modelinde quercetin uygulamasının inflamatuar yanıt ve NF-κB ekspresyonu üzerindeki etkilerinin immünohistokimyasal yöntemlerle incelenmesi ve elde edilen bulguların istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Alzheimer hastalığı, NF-κB; Nöroinflamasyon, Quercetin, Streptozotosin

INVESTİGATİON OF THE EFFECTS OF QUERCETİN ON INFLAMMATİON İN AN EXPERİMENTAL MODEL OF ALZHEİMER'S DİSEASE

ABSTRACT

Alzheimer's disease (AD) is one of the most prevalent neurodegenerative disorders of the central nervous system, characterized by progressive cognitive decline and neuronal degeneration. In the pathogenesis of AD, the accumulation of hyperphosphorylated tau proteins and β-amyloid (Aβ) plaques, together with oxidative stress, neuroinflammation, and disruptions in cellular protein homeostasis, plays a critical role. Nuclear factor kappa B (NF-κB) is one of the key transcription factors regulating the expression of inflammatory genes and plays an important role in the initiation and perpetuation of neuroinflammatory processes in AD. Pathological stimuli, such as Aβ, and Toll-like receptor (TLR) activation can induce NF-κB signaling, particularly in microglia and astrocytes, thereby increasing the production of proinflammatory mediators, including tumor necrosis factor-alpha (TNF-α), interleukin (IL)-1β, and IL-6. Sustained NF-κB activation promotes the transition of microglia and astrocytes toward reactive phenotypes, thereby exacerbating chronic neuroinflammation and contributing to the progression of neuronal damage. Accordingly, dysregulated activation of the NF-κB signaling pathway is considered an important mechanism underlying AD pathogenesis, and targeting NF-κB has been investigated as a potential therapeutic strategy.

Quercetin is a naturally occurring flavonoid found in a variety of fruits and vegetables and is characterized by potent antioxidant and anti-inflammatory properties. Previous studies have demonstrated that quercetin may attenuate cellular damage by modulating oxidative stress and inflammatory signaling pathways and may also contribute to the clearance of aberrantly accumulated proteins. In the present study, the effects of quercetin administration on the inflammatory response and NF-κB expression were investigated immunohistochemically in a streptozotocin (STZ)-induced experimental model of AD, and the findings obtained were statistically evaluated.

Keywords: *Alzheimer's disease, Quercetin, NF-κB, Neuroinflammation, Streptozotocin*

FOODBORNE DISEASE OUTBREAKS AND PUBLIC HEALTH: STRENGTHENING SURVEILLANCE, EPIDEMIOLOGICAL INVESTIGATION, AND PREVENTION

Prof. Dr. Mir-Hassan MOOSAVY
University of Tabriz, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Food Hygiene & Aquatics, Tabriz-Iran
ORCID ID: 0000-0002-0762-3599

ABSTRACT

Foodborne disease outbreaks remain a major public health concern, as contaminated food can affect many people within a short period of time. Managing such outbreaks requires more than identifying the responsible microorganism. Timely recognition of unusual disease patterns, epidemiological investigation, identification of possible sources, and rapid public health intervention are all essential for limiting their impact. This review examines the main challenges in foodborne disease outbreak surveillance and investigation, with particular attention to early detection, epidemiological and laboratory evidence, source identification, and the prevention of further transmission. Recent developments have emphasized the value of strengthening surveillance systems and bringing together information from different sources to support faster and better-informed public health decisions. However, differences in surveillance capacity, laboratory resources, data sharing, and communication can still delay the recognition and investigation of outbreaks, especially in settings with limited resources. A more effective response therefore depends on close coordination between disease surveillance, epidemiological investigation, laboratory services, and preventive measures. Strengthening these connections can improve the early recognition of foodborne outbreaks, support more effective public health responses, and ultimately reduce their health and societal burden.

Keywords: Foodborne diseases; Foodborne outbreaks; Public health; Disease surveillance; Epidemiological investigation; Prevention

INTRODUCTION

Foodborne diseases remain an important public health concern because contaminated food can transmit a wide range of biological and chemical hazards and can affect large numbers of people. The current World Health Organization (WHO) estimates indicate that foodborne hazards cause approximately 866 million illnesses and 1.52 million deaths each year, with children under five years of age carrying a disproportionate share of the burden (WHO, 2026). These estimates also illustrate why foodborne disease should not be viewed only as an individual clinical problem, but as a population-level challenge requiring effective surveillance and coordinated response.

Foodborne outbreaks are particularly important because several cases may arise from a common exposure within a limited period. Recognizing this pattern creates an opportunity to

identify the source, interrupt exposure, protect additional people, and identify failures that allowed contamination to occur. In practice, however, outbreaks are not always recognized immediately. Cases may occur in different locations, patients may seek care from different health services, symptoms may be nonspecific, and reporting and laboratory confirmation may take time. These factors can delay the transition from an individual illness to recognition of a wider public health event (WHO, 2025a; CDC, 2025d).

Surveillance is therefore a central component of foodborne disease control. The updated WHO framework emphasizes the complementary roles of indicator-based surveillance, which uses routinely collected structured information, and event-based surveillance, which can identify unusual signals that may not yet be visible in routine datasets (WHO, 2025b). Effective surveillance is not an endpoint in itself. Its value depends on whether signals can be assessed rapidly and connected to epidemiological investigation, laboratory services, environmental assessment, and food safety authorities.

Once an outbreak is suspected, investigation requires the integration of several forms of evidence. Epidemiological data can identify patterns of illness and associations with particular exposures; laboratory methods can characterize pathogens and help establish relationships between isolates; traceback can reconstruct the movement of foods and ingredients; and environmental assessment can identify conditions that may have contributed to contamination (WHO, 2025c; CDC, 2025a). Whole-genome sequencing has strengthened the ability to detect related bacterial isolates and support cluster investigation, but genomic similarity alone does not establish the contaminated food or precise point of contamination (Deng et al., 2016; Schadron et al., 2024).

Despite advances in surveillance and laboratory methods, important practical barriers remain. Underreporting, delays in information flow, incomplete traceback records, recall limitations, limited laboratory and epidemiological capacity, and fragmented communication can all affect the speed and certainty of an investigation (WHO, 2025a; CDC, 2025c). These challenges are particularly relevant where public health resources are unevenly distributed. Strengthening outbreak response therefore requires attention not only to advanced technologies, but also to routine surveillance, trained personnel, communication pathways, and coordination across sectors.

This review examines the role of foodborne disease surveillance in early outbreak detection, the main stages of epidemiological investigation, the integration of epidemiological, laboratory, traceback, and environmental evidence, and the practical challenges that can limit

outbreak response. It also considers how investigation findings can be translated into immediate control measures and longer-term prevention.

RESEARCH AND FINDINGS

1. FOODBORNE DISEASE OUTBREAKS AS A PUBLIC HEALTH CHALLENGE

Foodborne outbreaks differ from isolated foodborne illnesses because multiple cases may be linked to a shared exposure. This connection creates a specific public health opportunity: once a common source is suspected, action can be taken to reduce continued exposure while the investigation proceeds. The purpose of an outbreak investigation is therefore not simply to identify a pathogen, but to understand who became ill, when and where illness occurred, what exposures were shared, and which conditions may have contributed to transmission (Jones, 2021).

The global burden of foodborne disease is substantial, although the number of reported cases does not represent the full burden in the population. Many illnesses are never reported, some patients do not seek medical care, and laboratory confirmation is not available for every case. Consequently, surveillance data should be interpreted as an important source of information rather than a complete count of all illnesses (WHO, 2026).

An outbreak investigation can provide information that routine surveillance alone cannot provide. Describing cases by person, place, and time can reveal clusters and guide hypothesis generation. Epidemiological analysis can then examine possible food and environmental exposures, while laboratory and traceback investigations can provide additional evidence about the suspected source. The investigation thus serves as a bridge between recognition of an unusual pattern and implementation of preventive action.

2. SURVEILLANCE OF FOODBORNE DISEASES AND EARLY OUTBREAK DETECTION

Surveillance provides the foundation for recognizing foodborne disease patterns before they become larger public health events. The WHO framework distinguishes indicator-based surveillance from event-based surveillance, while emphasizing that the two approaches are complementary. Indicator-based surveillance uses routinely collected information, such as laboratory-confirmed cases and notifications, to identify trends and unusual increases. Event-based surveillance captures information about unusual health events or signals from sources that may not yet be represented in routine reporting systems (WHO, 2025b).

The effectiveness of either approach depends heavily on the timeliness and quality of information. Delays can occur at several points, including illness recognition, healthcare

consultation, specimen collection, laboratory testing, reporting, and data analysis. CDC guidance notes that a considerable interval may occur between illness and recognition of a multistate outbreak, meaning that additional illnesses can be reported even after the contaminated food is no longer available (CDC, 2025d).

Laboratory surveillance is particularly valuable when pathogen-specific information can be linked with epidemiological data. Increasingly, genomic methods can help identify clusters of related bacterial isolates and support surveillance and investigation (Deng et al., 2016; Schadron et al., 2024). Nevertheless, laboratory signals need epidemiological interpretation. A genetic relationship between isolates may identify a cluster, but it does not by itself establish the food source or route of contamination.

WHO guidance also emphasizes rapid risk assessment and collaboration among public health, food safety, and laboratory authorities. Strengthening surveillance should therefore focus on the complete information pathway: detecting a signal, assessing its significance, communicating it to the appropriate authorities, and initiating investigation when necessary (WHO, 2025a; WHO, 2025b).

3. EPIDEMIOLOGICAL INVESTIGATION OF FOODBORNE OUTBREAKS

Once an outbreak is suspected, the investigation needs a structured but flexible approach. Initial steps generally include verifying that an unusual increase has occurred, establishing a working case definition, identifying additional cases, and describing the outbreak by person, place, and time (WHO, 2025c; CDC, 2025a). These steps provide the basis for deciding what exposures should be examined in greater detail.

Hypothesis generation is often one of the most demanding parts of the investigation. Investigators may interview cases about foods eaten, places visited, social activities, and other possible exposures. Recall becomes more difficult as the interval between illness and interview increases, and patients may not remember ingredients consumed in mixed dishes or foods eaten outside the home. CDC guidance also identifies small numbers of cases, difficulty contacting ill people, and commonly consumed foods as practical challenges that can limit the strength of early hypotheses (CDC, 2025a).

Once plausible hypotheses have been developed, analytical epidemiology can be used to examine associations between illness and specific exposures. Depending on the outbreak, investigators may use cohort, case-control, or case-case approaches. Measures such as odds ratios or relative risks, together with confidence intervals, can help determine whether an exposure is associated with illness. Epidemiological findings are most informative when they

are considered alongside laboratory, traceback, and environmental evidence rather than interpreted in isolation.

Traceback investigation can then examine where suspected food or ingredients originated, how they were distributed, and where they were handled. Food and environmental sampling may provide direct evidence, although the absence of a positive sample does not necessarily exclude a food as the source. Short shelf life, incomplete records, limited sample availability, and the uneven distribution of contamination can all reduce the likelihood of recovering the causative organism (CDC, 2025a).

WHO's updated investigation manual describes outbreak investigation as a systematic process involving early detection, assessment, control, documentation, hypothesis generation, and coordination among epidemiological, laboratory, environmental, and food safety functions (WHO, 2025c). In practice, these activities may overlap and investigators may return to earlier steps as new information becomes available.

4. INTEGRATING EPIDEMIOLOGICAL, LABORATORY, AND ENVIRONMENTAL EVIDENCE

No single evidence stream is sufficient for every foodborne outbreak. The strongest investigations usually emerge from the convergence of several independent forms of evidence. WHO's Stage 3 framework emphasizes the value of integrating surveillance information across sectors and using evidence from the food chain to better understand risks and guide control measures (WHO, 2025e).

Epidemiological evidence helps answer whether particular exposures are associated with illness. Laboratory evidence can identify the causative organism and, where appropriate, establish genetic relationships among isolates. Whole-genome sequencing has become an important supporting tool for detecting clusters and improving pathogen surveillance, although its interpretation still depends on epidemiological context and the limitations of available databases and sampling (Deng et al., 2016; Schadron et al., 2024).

Source attribution illustrates why multiple forms of evidence are needed. Epidemiological, microbiological, quantitative, and expert approaches each provide different information and have different limitations (Mughini-Gras et al., 2018; Mughini-Gras et al., 2019; Pires et al., 2014). Traceback adds another dimension by linking a suspected food to producers, manufacturers, suppliers, or distribution pathways. Environmental assessment can then help determine how contamination may have occurred and whether the conditions remain present.

Food and environmental testing can strengthen an investigation when the same pathogen is recovered from a suspected source and affected people. However, negative testing should be interpreted cautiously because contamination may be heterogeneous, the implicated food may no longer be available, and sampling may not cover the relevant portion of the food chain (CDC, 2025a). The practical implication is that investigators should seek convergence rather than wait for a single definitive piece of evidence.

Evidence integration is therefore an iterative process. Epidemiological findings may redirect laboratory sampling; laboratory results may refine the case definition; traceback may identify additional locations for environmental assessment; and environmental findings may generate new epidemiological questions. This interaction allows the investigation to move from detecting an association toward identifying actionable points for control and prevention. The overall relationship among these components is summarized in Figure 1.

5. CHALLENGES IN FOODBORNE OUTBREAK SURVEILLANCE AND INVESTIGATION

Foodborne outbreak investigations can be affected by limitations at almost every stage, from initial case recognition to final source attribution. One fundamental problem is under-ascertainment. Not every person with foodborne illness seeks care, not every patient is tested, and not every confirmed infection enters a surveillance system. WHO therefore emphasizes the importance of interpreting surveillance information within the limitations of available data (WHO, 2026).

Timeliness is another major challenge. CDC notes that several weeks may commonly pass between illness and recognition of a foodborne outbreak, with longer delays possible for some infections such as listeriosis (CDC, 2025d). During this period, the implicated food may have been consumed, distributed, or removed from the market. The investigation may consequently need to reconstruct exposures after the opportunity for direct observation has passed.

Recall bias can also affect hypothesis generation. People may have difficulty remembering foods eaten days or weeks earlier, particularly when meals contain multiple ingredients or when the suspected

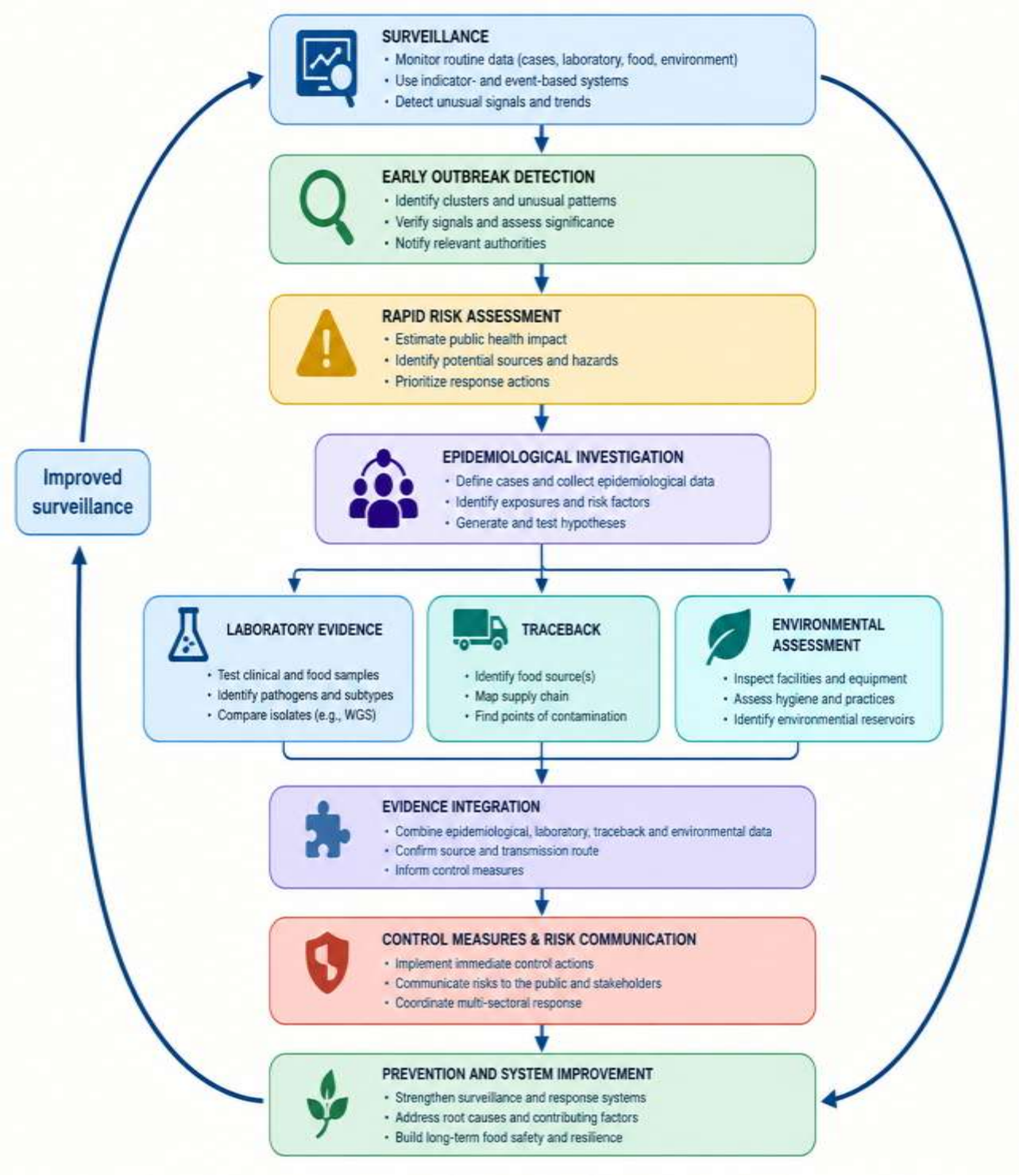


Figure 1. An integrated framework for foodborne outbreak surveillance, investigation, response, and prevention.
Source: Developed by the author based on WHO (2025a, 2025e) and CDC (2025a).

exposure is common in the general population. Small numbers of cases can further limit statistical analysis, while difficulty contacting patients may produce incomplete information (CDC, 2025a).

Food distribution systems create additional complexity. A single ingredient can enter multiple products and move through several businesses or geographic regions. Traceback therefore depends on accurate records and cooperation across organizations. Missing or incomplete records can prevent investigators from establishing a clear connection between an ill person and a particular food source (CDC, 2025a).

Sampling has its own limitations. Food may have a short shelf life, contaminated portions may no longer be available, and contamination may not be evenly distributed. Consequently, a negative laboratory result does not necessarily prove that a suspected food was uncontaminated (CDC, 2025a).

Organizational capacity also matters. CDC reports practical difficulties including staff shortages, insufficient training or experience, limited epidemiological support, weak teamwork between agencies, difficulties obtaining cooperation, and delays in reporting (CDC, 2025c). These challenges show that outbreak preparedness cannot depend solely on advanced laboratory technology.

Communication presents a final challenge. Public health authorities may need to warn the public or initiate control measures before every uncertainty has been resolved. At the same time, messages must be sufficiently accurate and specific to support appropriate action. CDC guidance emphasizes the importance of providing timely, accurate, and actionable information during outbreak communication (CDC, 2025e). Some outbreaks will remain unresolved because the available evidence is insufficient to identify a definitive source. Strengthening the system therefore means improving the overall investigation pathway rather than expecting every outbreak to produce a single conclusive answer.

6. STRENGTHENING SURVEILLANCE AND RESPONSE SYSTEMS

Strengthening foodborne disease surveillance requires a connected system that links signal detection with assessment, investigation, control, and prevention. WHO's updated manuals provide a staged framework that can be adapted to national capacities rather than assuming that every setting has the same infrastructure or resources (WHO, 2025a; WHO, 2025b).

At the surveillance level, indicator-based and event-based systems should operate together. Routine laboratory and notification data can identify trends, while event-based signals may provide earlier warning of unusual clusters or suspected foodborne events. Improving the speed at which information moves from local services to surveillance units is therefore as important as increasing the volume of data collected.

Laboratory capacity should be developed alongside epidemiological capacity. Molecular and genomic methods can improve cluster detection and characterization, but their value is greatest when results can be interpreted in relation to patient information, exposure histories, traceback data, and environmental findings (Schadron et al., 2024). A laboratory-intensive system without adequate epidemiological coordination may identify related isolates without resolving their public health significance.

Multidisciplinary response structures are equally important. Epidemiologists, laboratory specialists, environmental health professionals, food safety authorities, clinicians, and relevant regulatory bodies may each hold part of the information required to understand an outbreak. Clear responsibilities and established communication pathways can reduce delays and prevent important information from remaining within separate institutional systems (WHO, 2025a; CDC, 2025b).

Food-chain traceability and access to distribution information can further improve response. When investigators can rapidly identify suppliers, manufacturers, distributors, and points of sale, control measures can be more focused and unnecessary disruption can be reduced. WHO's Stage 3 manual emphasizes the value of integrating surveillance data with food-chain information to support risk understanding and coordinated action (WHO, 2025e).

Finally, workforce development and standard procedures should remain part of system strengthening. Training in case investigation, interviewing, epidemiological analysis, sampling, traceback, communication, and documentation can improve consistency and preparedness. WHO's current framework supports progressive strengthening based on identified capacity gaps, allowing countries and institutions to improve their systems in a practical sequence (WHO, 2025a).

7. FROM OUTBREAK INVESTIGATION TO PREVENTION

The value of an outbreak investigation extends beyond identifying the pathogen or contaminated food. The immediate purpose is to interrupt exposure and prevent additional illness, but the investigation can also reveal why contamination occurred and what changes are needed to reduce recurrence.

Immediate control measures may include removal of a suspected food from distribution, targeted recalls or warnings, temporary closure of affected facilities, or other actions appropriate to the circumstances. These measures should be based on the best available evidence and updated as new information becomes available (CDC, 2025a; CDC, 2025e).

Environmental assessment is particularly important for moving from outbreak response to prevention. Identifying contributing factors such as inadequate temperature control, cross-contamination, poor hygiene practices, unsafe handling, or weaknesses in process control can reveal points where preventive measures should be strengthened. The purpose is not only to describe what happened, but to identify conditions that allowed the event to occur.

Traceback findings can also inform preventive action beyond the original outbreak. If several cases are connected to a common ingredient or distribution pathway, corrective measures may need to extend beyond the final point of consumption. Similarly, lessons from an investigation can be incorporated into inspection priorities, surveillance strategies, staff training, and food safety practices.

Communication is another part of prevention. Clear information for healthcare professionals, food businesses, and the public can support appropriate action while avoiding unnecessary confusion. After the immediate response, reviewing what worked and what failed can help institutions improve future detection and investigation.

Prevention should therefore operate at several levels: immediate interruption of exposure, short-term correction of identified failures, and longer-term improvement of surveillance, practices, and food-chain controls. In this way, an outbreak becomes not only an emergency event to manage, but also an opportunity to strengthen the system and reduce the likelihood of recurrence.

CONCLUSION

Foodborne disease outbreaks require a coordinated public health response because the consequences of delayed recognition can extend beyond the individuals initially affected. Effective outbreak management begins with surveillance capable of detecting unusual patterns and continues through epidemiological investigation, laboratory analysis, traceback, environmental assessment, communication, and control.

The evidence reviewed in this article indicates that no single component is sufficient on its own. Indicator-based and event-based surveillance provide complementary routes to early detection; epidemiological investigation helps identify relevant exposures; laboratory and genomic methods strengthen pathogen characterization; and traceback and environmental assessment help connect cases with food-chain processes. The usefulness of these components depends on how effectively information is shared and interpreted across disciplines and sectors.

Important limitations remain, including under-ascertainment, reporting delays, recall bias, incomplete records, complex food distribution, sampling constraints, and differences in

surveillance and response capacity. These limitations cannot be solved by laboratory technology alone. Strengthening workforce capacity, communication pathways, routine surveillance, multidisciplinary coordination, and food-chain information systems is equally important.

Most importantly, outbreak investigation should not be regarded as the endpoint of the response. Its findings should be translated into immediate control measures, corrective actions, improved surveillance, and longer-term prevention. A connected pathway from surveillance to investigation, evidence integration, response, and prevention can make foodborne disease control more timely, systematic, and sustainable (WHO, 2025a; WHO, 2025e).

REFERENCES

Centers for Disease Control and Prevention. (2025a). Multistate foodborne outbreaks: Investigation steps.

Centers for Disease Control and Prevention. (2025b). Roles in a foodborne outbreak investigation.

Centers for Disease Control and Prevention. (2025c). Common issues when investigating outbreaks.

Centers for Disease Control and Prevention. (2025d). Foodborne outbreak investigation timeline.

Centers for Disease Control and Prevention. (2025e). Issuing notices about foodborne outbreaks.

Centers for Disease Control and Prevention. (2026). Improving outbreak investigations.

Deng, X., den Bakker, H. C., & Hendriksen, R. S. (2016). Genomic epidemiology: Whole-genome-sequencing-powered surveillance and outbreak investigation of foodborne bacterial pathogens. Annual Review of Food Science and Technology, 7, 353–374. doi:10.1146/annurev-food-041715-033259.

Ford, L., Miller, M., Cawthorne, A., Fearnley, E., & Kirk, M. (2015). Approaches to the surveillance of foodborne disease: A review of the evidence. Foodborne Pathogens and Disease, 12(12), 927-936. doi:10.1089/fpd.2015.2013.

Jones, T. F. (2021). Foodborne outbreak investigation. In Foodborne infections and intoxications (5th ed.). Elsevier. doi:10.1016/B978-0-12-819519-2.00019-0.

Mughini-Gras, L., Kooh, P., Augustin, J.-C., David, J., Fravalo, P., Guillier, L., Jourdan-Da-Silva, N., Thébault, A., Sanaa, M., & Watier, L. (2018). Source attribution of foodborne diseases: Potentialities, hurdles, and future expectations. Frontiers in Microbiology, 9, 1983. doi:10.3389/fmicb.2018.01983.

Mughini-Gras, L., Kooh, P., Fravalo, P., Augustin, J.-C., Guillier, L., David, J., Thébault, A., Carlin, F., Leclercq, A., Jourdan-Da-Silva, N., Pavio, N., Villena, I., Sanaa, M., & Watier, L. (2019). Critical orientation in the jungle of currently available methods and types of data for source attribution of foodborne diseases. Frontiers in Microbiology, 10, 2578. doi:10.3389/fmicb.2019.02578.

Pires, S. M., Vieira, A. R., Hald, T., & Cole, D. (2014). Source attribution of human salmonellosis: An overview of methods and estimates. Foodborne Pathogens and Disease, 11(9), 667–676. doi:10.1089/fpd.2014.1744.

Schadron, T., van den Beld, M., Mughini-Gras, L., & Franz, E. (2024). Use of whole genome sequencing for surveillance and control of foodborne diseases: Status quo and quo vadis. Frontiers in Microbiology, 15, 1460335. doi:10.3389/fmicb.2024.1460335.

World Health Organization. (2025a). Strengthening surveillance of and response to foodborne diseases: Introductory manual. ISBN 978-92-4-011724-2.

World Health Organization. (2025b). Strengthening surveillance of and response to foodborne diseases: Stage one manual (part A): Using indicator- and event-based surveillance to detect foodborne events. ISBN 978-92-4-011858-4.

World Health Organization. (2025c). Strengthening surveillance of and response to foodborne diseases: Stage one manual (part B): Investigating foodborne disease outbreaks. ISBN 978-92-4-011860-7.

World Health Organization. (2025d). Strengthening surveillance of and response to foodborne diseases: Stage two manual: Strengthening indicator-based surveillance. ISBN 978-92-4-011818-8.

World Health Organization. (2025e). Strengthening surveillance of and response to foodborne diseases: Stage three manual: Integrating surveillance data to better understand risks across the food chain. ISBN 978-92-4-011820-1.

World Health Organization. (2026). Food safety.

AKSU İLÇESİNDE BİYOİKLİMSEL KONFOR KOŞULLARININ BELİRLENMESİ VE CBS TABANLI HARİTALANMASI

Öğr. Gör. Dr. Nihat KARAKUŞ
Akdeniz Üniversitesi, Serik Gülsün-Süleyman Süral Meslek Yüksekokulu, Peyzaj ve Süs Bitkileri Yetiştiriciliği, 07500 Serik, Antalya, nkarakus@akdeniz.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-6924-1879

ÖZET

Biyoiklimsel konfor, insanların açık alanlarda maruz kaldıkları termal koşulların değerlendirilmesinde kullanılan temel göstergelerden biridir. Bu çalışmada, Aksu ilçesindeki biyoiklimsel konfor koşullarının Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklık (PET) indeksi kullanılarak zamansal ve mekânsal açıdan belirlenmesi, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında haritalanması ve termal konfor koşullarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma alanı olarak Akdeniz Bölgesi'nde yer alan Antalya ili Aksu ilçesi seçilmiştir. Çalışma alanı ve yakın çevresinde bulunan meteoroloji istasyonlarından elde edilen aylık ortalama hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı ve bulutluluk gibi iklim değişkenleri ile termo-fizyolojik parametreler RayMan modeli kullanılarak analiz edilmiş ve meteoroloji istasyonları özelinde PET değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen PET değerleri, CBS ortamında oluşturulan noktasal veri setine aktarılmıştır. İstasyon noktalarında hesaplanan PET değerlerinin çalışma alanındaki mekânsal dağılımını belirlemek amacıyla Ters Mesafe Ağırlıklı (IDW) enterpolasyon yöntemi uygulanmıştır. Bu yöntem aracılığıyla meteoroloji istasyonlarındaki PET değerlerinden yararlanılarak çalışma alanının aylık ve mevsimlik PET dağılım haritaları oluşturulmuştur. PET haritalarının ısıl algı eşiklerine göre sınıflandırılmasıyla biyoiklimsel konfor haritaları elde edilmiştir. Elde edilen bulgular, Aksu ilçesinde biyoiklimsel konfor koşullarının yıl içerisinde hem zamansal hem de mekânsal açıdan önemli farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur. Zamansal analiz sonuçları, en uygun konfor koşullarının ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde oluştuğunu göstermiştir. Kış mevsiminde soğuk stresinin, yaz mevsiminde ise sıcak stresinin etkili olması nedeniyle araştırma alanında termal konfor koşullarının oluşmadığı belirlenmiştir. Mekânsal analiz sonuçları ise çalışma alanındaki termal konfor koşullarının homojen bir dağılım göstermediğini ortaya koymuştur. Özellikle aynı mevsim içerisinde çalışma alanının farklı bölümlerinde farklı ısıl algı sınıflarının oluştuğu belirlenmiştir. Elde edilen bulguların, Aksu ilçesinde dış mekân kullanımına yönelik konfor koşullarının iyileştirilmesi amacıyla kentsel planlama, peyzaj tasarımı ve açık-yeşil alan düzenlemelerinde iklim duyarlı kararların geliştirilmesine katkı sağlayabileceği değerlendirilmektedir.

Anahtar kelimeler: Biyoiklimsel konfor, RayMan, PET, CBS, Aksu/Antalya

DETERMINATION AND GIS-BASED MAPPING OF BIOCLIMATIC COMFORT CONDITIONS IN AKSU DISTRICT

ABSTRACT

Bioclimatic comfort is one of the fundamental indicators used to evaluate the thermal conditions to which people are exposed in outdoor spaces. This study aims to determine the bioclimatic comfort conditions in Aksu district temporally and spatially using the Physiologically Equivalent Temperature (PET) index, to map them in a Geographic Information Systems (GIS) environment, and to evaluate the thermal comfort conditions. Aksu district of Antalya Province, located in the Mediterranean Region, was selected as the study area. Climatic variables such as monthly mean air temperature, relative humidity, wind speed, and cloud cover obtained from meteorological stations located within and around the study area, together with thermo-physiological parameters, were analyzed using the RayMan model, and PET values were calculated for individual meteorological stations. The obtained PET values were transferred to the point dataset created in the GIS environment. In order to determine the spatial distribution of the PET values calculated at the station points across the study area, the Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation method was applied. Through this method, monthly and seasonal PET distribution maps of the study area were created using the PET values at the meteorological stations. Bioclimatic comfort maps were obtained by classifying the PET maps according to thermal perception thresholds. The findings revealed that bioclimatic comfort conditions in Aksu district showed significant temporal and spatial variations throughout the year. The results of the temporal analysis showed that the most suitable comfort conditions occurred during spring and autumn. It was determined that thermal comfort conditions did not occur in the study area due to the effects of cold stress in winter and heat stress in summer. The results of the spatial analysis revealed that the thermal comfort conditions within the study area did not exhibit a homogeneous distribution. In particular, it was determined that different thermal perception classes occurred in different parts of the study area within the same season. The findings are considered to have the potential to contribute to the development of climate-sensitive decisions in urban planning, landscape design, and open-green space arrangements in order to improve comfort conditions for outdoor use in Aksu district.

Keywords: Bioclimatic comfort, RayMan, PET, GIS, Aksu/Antalya

1. GİRİŞ

Kentsel alanlarda açık mekânlar, bireylerin günlük yaşam, sosyal etkileşim ve rekreasyonel faaliyetlerini sürdürdükleri önemli yaşam alanlarıdır ve bu mekânların kullanımında çevresel

koşullar önemli bir rol oynamaktadır (Chen & Ng, 2012; Sert & Topay, 2023). İnsanların dış mekân kullanımını etkileyen çevresel unsurların başında iklim koşulları gelmektedir (Tağıl & Ersayın, 2015; Kaya, 2023). Özellikle yoğun yapılaşma ve yapay yüzeylerin yaygınlaşmasıyla birlikte kentsel alanlarda sıcaklıkların ve sıcak hava dalgalarının artması, insan sağlığı açısından önemli riskler oluşturabilmektedir (Savic vd., 2018; Jacobs vd., 2019; Henderson vd., 2022). Bu nedenle, dış mekânlarda insanların maruz kaldığı termal koşulların bütüncül biçimde değerlendirilmesi, kentsel çevrenin yaşanabilirliğinin ortaya konulması açısından önem taşımaktadır.

Biyoiklimsel konfor, bireyin bulunduğu çevrede herhangi bir termal rahatsızlık hissetmeden fiziksel ve zihinsel faaliyetlerini sürdürebildiği atmosferik koşulları ifade etmektedir (Höppe, 1999). Literatürde ilk biyoiklimsel konfor indeksi, Haldane (1905) tarafından geliştirilen Islak Hazne Sıcaklığı (Wet-Bulb Temperature) indeksidir. Daha sonraki yıllarda farklı kullanım amaçları için çok sayıda termal konfor indeksi geliştirilmiş olup, günümüzde 160'ın üzerinde farklı termal indeks tanımlanmıştır (de Freitas & Grigorieva, 2017). Dış mekân biyoklimatik konfor çalışmalarında insan enerji dengesine dayalı en yaygın kullanılan indeksler ise Evrensel Termal İklim İndeksi (Universal Thermal Climate Index–UTCI) ve Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklık (Physiological Equivalent Temperature–PET) indeksleridir (Matzarakis vd., 2014; Pecelj vd., 2021; Zafarmandi vd., 2024).

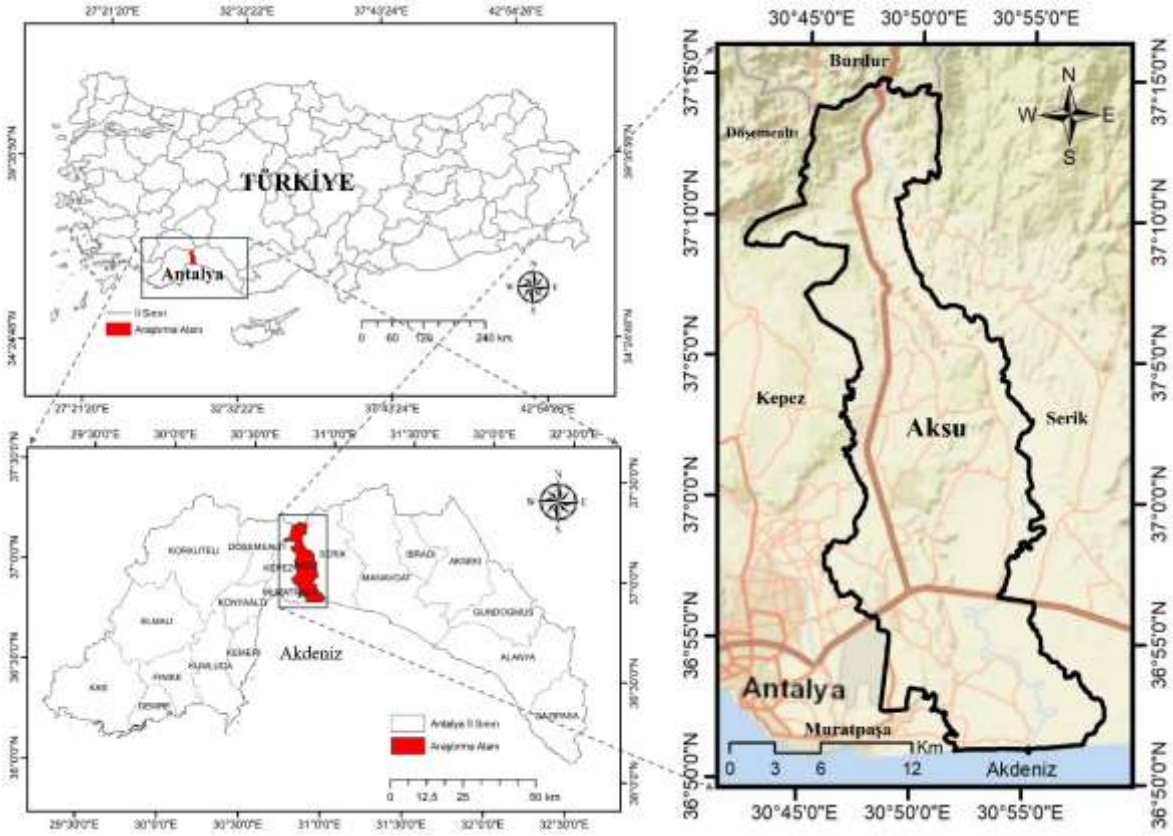
Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklık (PET), insan vücudunun termal enerji dengesini esas alan ve dış ortamda hissedilen termal koşulların değerlendirilmesini sağlayan bir biyoiklimsel konfor indeksidir. PET indeksi, hava sıcaklığı, ortalama nem, rüzgâr hızı ve bulutluluk gibi iklim verilerinin yanı sıra bireyin metabolik aktivitesi ve giyim yalıtımı gibi termo-fizyolojik parametreleri de dikkate alarak dış mekânlardaki termal stres koşullarının belirlenmesine olanak sağlamaktadır. PET indeksinin bilgisayar ortamında hesaplanmasında RayMan modeli kullanılmaktadır (Matzarakis vd., 1999; Matzarakis vd., 2007; Matzarakis, 2017). Ayrıca PET, biyoiklimsel konfor sonuçlarını santigrad cinsinden vermesi nedeniyle dış mekân biyoiklimsel konfor çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Höppe, 1999; Matzarakis vd., 1999; Zhao vd., 2021; Karakuş vd., 2024).

Çalışmada, Akdeniz iklim kuşağında yer alan Aksu ilçesinde dış mekân biyoiklimsel konfor koşullarının insan enerji dengesine dayalı PET indeksi kullanılarak belirlenmesi ve CBS tabanlı olarak mekânsal dağılımının haritalanması ve değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma alanı

Araştırma alanı olarak, Türkiye'nin Akdeniz Bölgesi'nde yer alan Antalya iline bağlı Aksu ilçesi seçilmiştir. Aksu ilçesi, doğuda Serik, batıda Kepez ve Döşemealtı, güneybatıda Muratpaşa ilçeleri, kuzeyde Burdur ili ve güneyde Akdeniz ile çevrilidir (Şekil 1). Tipik Akdeniz ikliminin görüldüğü ilçede yerleşim birimleri genel olarak dağınık bir yapı gösterirken, turizm tesisleri ağırlıklı olarak kıyı kesiminde yoğunlaşmaktadır (Altuntaş & Ortaçeşme, 2017). Türkiye'nin önemli turizm bölgelerinden biri olan Aksu, turistik öneminin yanı sıra tarımsal üretim açısından da öne çıkmakta ve özellikle ülkedeki örtü altı tarımının gelişmesine önemli katkı sağlamaktadır (Bostancı vd., 2024). Toplam 35 mahalleye sahip olan ilçenin nüfusu, 2025 yılı itibarıyla 87070 kişidir (TÜİK, 2026).



Şekil 1. Araştırma alanı

2.2. Veri seti

Çalışmada kullanılan veri seti, iklim verileri ile kişisel parametrelerden oluşmaktadır. Çalışmada kullanılan iklim verileri, Meteoroloji 4. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilen 2015–2019 dönemine ait aylık meteorolojik gözlemlerden (hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı ve bulutluluk) oluşmaktadır. Araştırma alanının biyoiklimsel konfor koşullarının belirlenmesi

amacıyla, araştırma alanı sınırları içerisinde yer alan Aksu/Boztepe TİGEM meteoroloji istasyonunun yanı sıra araştırma alanının yakın çevresinde bulunan Antalya Havalimanı, Döşemealtı/Karain Havacılık ve Serik/Gebiz Orman Sahası meteoroloji istasyonlarının iklim verileri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan meteoroloji istasyonların konumları ve konumsal özellikleri Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 2. Araştırmada kullanılan meteoroloji istasyonlarının konumu

Çalışmada kişisel veriler literatürde RayMan sabiti olarak kullanılan 80W'lık metabolizma hızı ve 0.90 clo giysi ısı transferi olan, 35 yaşında, 175 cm boyunda ve dış mekânda açık havada bulunan bir erkek birey verisi olarak kullanılmıştır (Çalışkan & Türkoğlu, 2012; Daneshvar vd., 2013; Matzarakis vd., 2017).

2.3. Yöntem

Çalışma veri toplama, analiz ve değerlendirme olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, biyoiklimsel konforu hesaplayabilmek için Meteoroloji 4. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilen 2015–2019 dönemine ait aylık hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı ve bulutluluk verilerinin ortalaması alınarak iklim verileri veri seti oluşturulmuştur. Kişisel veriler literatürde RayMan sabiti olarak kullanılan verilerden temin edilmiştir.

İkinci aşamada, dış mekân biyoiklimsel konfor koşullarının belirlenmesinde RayMan modelinde fizyolojik eşdeğer sıcaklık (PET) indeksi kullanılmıştır (Höppe, 1999; Matzarakis vd., 1999). Çalışmada her bir meteoroloji istasyonu için aylık meteorolojik veriler ile kişisel veriler modele girilmiş ve PET değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan PET değerleri, bireylerin dış ortamda algıladıkları biyoiklimsel konfor koşullarının belirlenmesi amacıyla ısıl algı sınıflarına ayrılmıştır. Çalışmada kullanılan PET sınıfları ve bunlara karşılık gelen ısıl algılar Tablo 1'de verilmiştir.

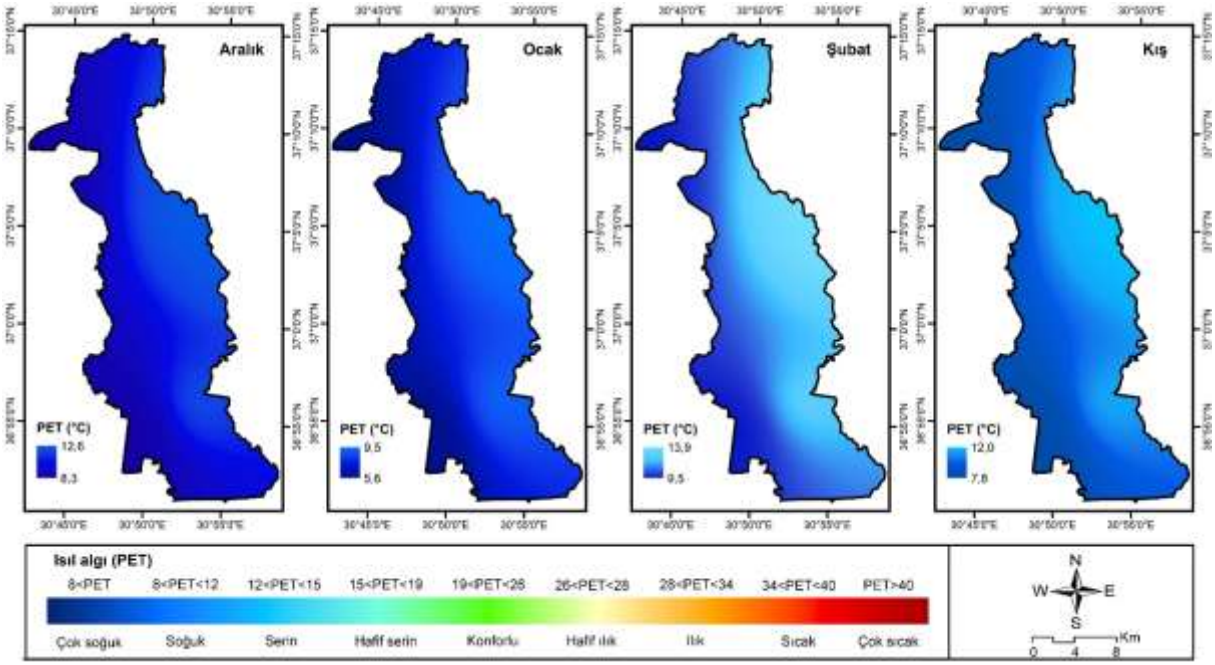
Tablo 1. Biyoiklimsel konforun sınıflandırılması (Cohen vd., 2013)

Köppen-Geiger iklim sınıflandırması:		**Csa**
Isıl algı	**Fizyolojik stres değeri**	**PET (°C)**
Çok Soğuk	Çok Şiddetli Üşüme Stresi	<8
Soğuk	Şiddetli Üşüme Stresi	8-12
Serin	Orta Dereceli Üşüme Stresi	12-15
Hafifçe Serin	Hafifçe Üşüme	15-19
Konforlu	**Isı Stresi Yok**	**19-26**
Hafifçe Ilık	Hafifçe Isınma Stresi	26-28
Ilık	Orta Derecede Isınma Stresi	28-34
Sıcak	Şiddetli Isınma Stresi	34-40
Çok Sıcak	Çok Şiddetli Isınma Stresi	>40

Meteoroloji istasyonlarında hesaplanan PET değerlerinin araştırma alanı genelindeki mekânsal dağılımının belirlenmesi için önce PET değerleri CBS ortamına aktarılmıştır. Ardından ters mesafe ağırlıklı enterpolasyon (IDW) yöntemi kullanılarak PET değerlerinin mekânsal dağılımı elde edilmiştir. Elde edilen aylık ve mevsimlik mekânsal dağılım verileri ısıl algı sınıflarına göre sınıflandırılarak biyoiklimsel konfor haritaları üretilmiştir. Isıl algı sınıflarının alanları zonal statistics analizleri ile elde edilmiştir. Son aşamada ise, elde edilen analiz verileri kullanılarak Aksu ilçesinde dış mekân biyoiklimsel konfor koşullarının zamansal ve mekânsal dağılımı değerlendirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

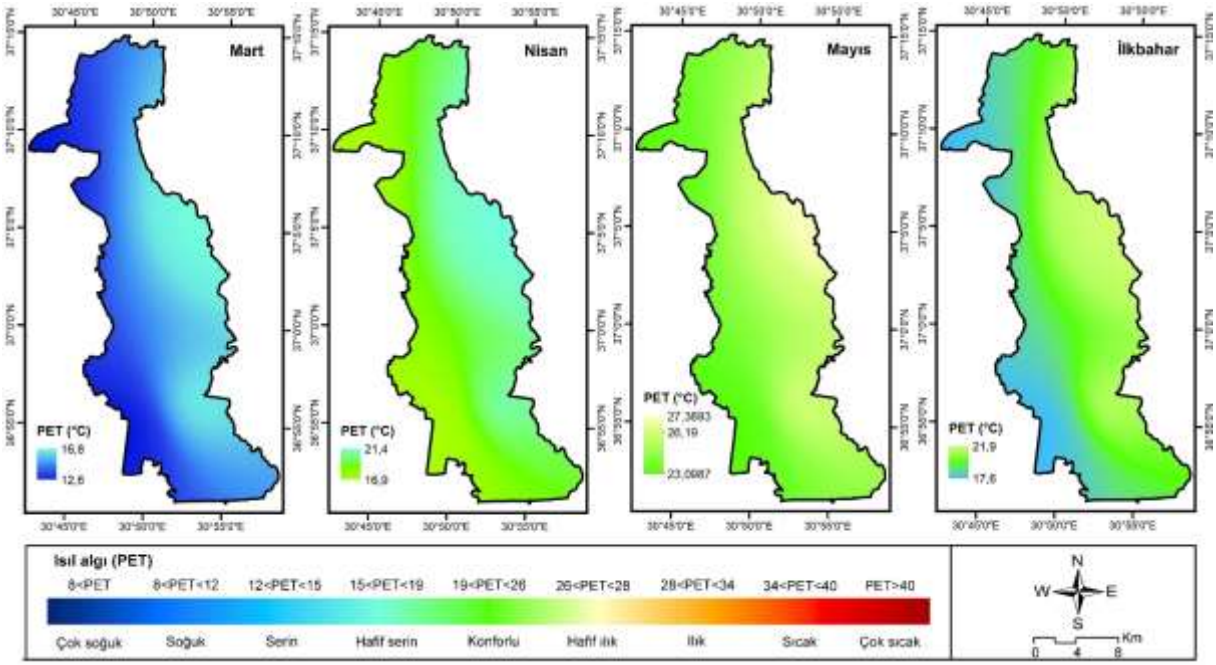
Aksu ilçesine ait meteoroloji istasyonu özelinde hesaplanan PET değerleri ve biyoiklimsel konfor haritaları, biyoiklimsel konfor koşullarında zamansal ve mekânsal farklılıklar olduğunu ortaya koymuştur. Kış mevsimine ait biyoiklimsel konfor koşullarının mekânsal dağılımı Şekil 3'te verilmiştir. Kış mevsimine ait harita incelendiğinde, araştırma alanında çok soğuk ısıl algının hâkim olduğu ve biyoiklimsel konfor koşullarının oluşmadığı tespit edilmiştir. Ocak ayında, ilçe genelinde düşük PET değerlerine bağlı olarak çok soğuk ısıl algının hâkim olduğu belirlenmiştir. Aralık ve şubat aylarında ise, araştırma alanında soğuk ısıl algının hâkim olduğu ve şubat ayında araştırma alanının doğusunda FES değerlerindeki artışa bağlı olarak serin ısıl algının oluştuğu tespit edilmiştir. İlçenin doğusunda ise soğuk stresin etkisiyle soğuk ısıl algının devam ettiği saptanmıştır.



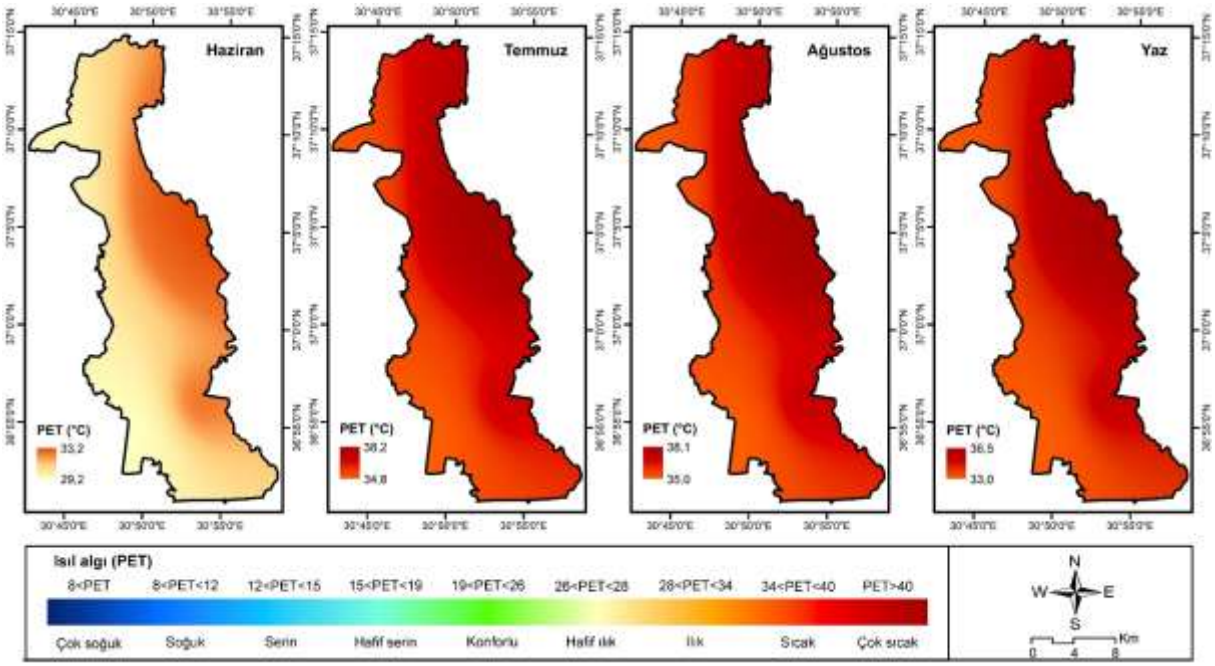
Şekil 3. Kış mevsimi biyoiklimsel konfor koşullarının mekânsal dağılım haritası

İlkbahar mevsimine ait biyoiklimsel konfor koşullarının mekânsal dağılımı Şekil 4'te verilmiştir. İlkbahar mevsimine ait harita incelendiğinde, araştırma alanının büyük bir bölümünde biyoiklimsel konfor koşullarının oluştuğu, sadece araştırma alanının batısında sınırlı bir alanda kış mevsiminin etkilerinin sürdüğü ve bu bölgelerde hafif serin ısıl algının oluştuğu tespit edilmiştir. Mart ayında, ilçe genelinde soğuk stresin devam etmesi nedeniyle biyoiklimsel konfor koşulları henüz oluşmamıştır. Mart ayında, serin ısıl algının hakim olduğu ve özellikle çalışma alanının doğusunda oluştuğu saptanmıştır. İlçenin geri kalanında ise PET değerlerindeki artışla birlikte soğuk stresin etkisinin azalmaya başladığı ve hafif serin ısıl algının oluştuğu tespit edilmiştir. Nisan ayı itibarıyla havaların ısınmasıyla ilçe genelinde biyoiklimsel konfor koşulları oluşmuştur. Mayıs ayında ise sıcaklıkların artmasıyla birlikte, ilçenin doğusunda sıcak strese bağlı olarak biyoiklimsel konfor koşullarının bozulmaya başladığı, buna karşın çalışma alanının büyük bölümünde biyoiklimsel konfor koşullarının devam ettiği saptanmıştır.

Yaz mevsimine ait biyoiklimsel konfor koşullarının mekânsal dağılımı Şekil 5'te verilmiştir. Yaz mevsimine ait harita incelendiğinde, araştırma alanında sıcak ısıl algının hâkim olduğu ve biyoiklimsel konfor koşullarının oluşmadığı tespit edilmiştir. Haziran ayında sıcaklıkların artmasıyla PET değerleri yükselmiş ve araştırma alanının tamamında ılık ısıl algının oluştuğu saptanmıştır. Temmuz ve ağustos aylarında ise yüksek sıcaklıkların etkisiyle araştırma alanında sıcak stres hakim olmuş ve araştırma alanının tamamında sıcak ısıl algının oluştuğu tespit edilmiştir.



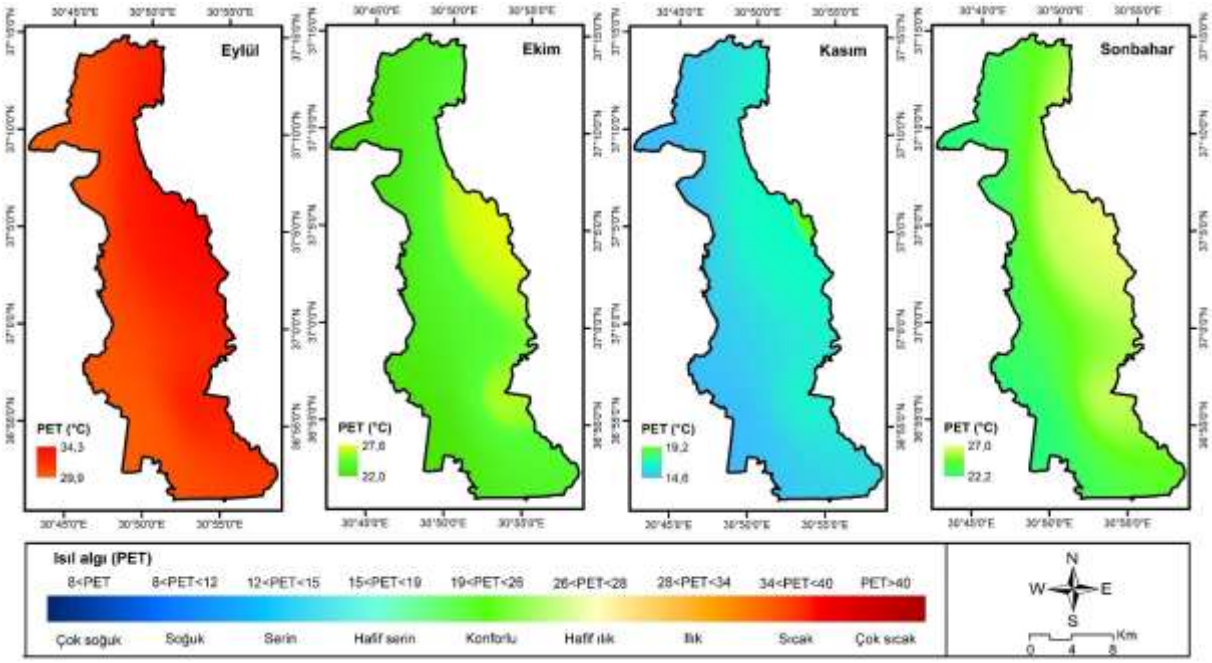
Şekil 4. İlkbahar mevsimi biyoiklimsel konfor koşullarının mekânsal dağılım haritası



Şekil 5. Yaz mevsimi biyoiklimsel konfor koşullarının mekânsal dağılım haritası

Sonbahar mevsimine ait biyoiklimsel konfor koşullarının mekânsal dağılımı Şekil 6'da verilmiştir. Sonbahar mevsimine ait harita incelendiğinde, araştırma alanında tekrar biyoiklimsel konfor koşullarının oluştuğu tespit edilmiştir. Ancak araştırma alanının doğusundaki sınırlı alanda sıcak stresinin etkilerinin devam ettiği ve hafif ılık ısıl algının oluştuğu saptanmıştır. Eylül ayında, araştırma alanının genelinde ılık ısıl algının hâkim olduğu, sadece kuzeydoğusunda sınırlı bir alanda sıcak algının devam ettiği tespit edilmiştir. Ekim

ayında sıcaklıkların düşmeye başlamasıyla birlikte biyoiklimsel konfor koşullarının tekrar oluştuğu tespit edilmiştir. İlçenin doğusunda sıcak stres etkisinin devam ettiği ve bu bölgelerde ılık ısıl algının oluştuğu saptanmıştır. Kasım ayında sıcaklıkların belirgin bir düşüş göstermesiyle ilçe genelinde hafif serin ısıl algı hakim olmuş, ancak ilçenin doğusundaki sınırlı bir alanda biyoiklimsel konfor koşullarının devam ettiği tespit edilmiştir.



Şekil 6. Sonbahar mevsimi biyoiklimsel konfor koşullarının mekânsal dağılım haritası

Elde edilen sonuçlar, Aksu'da termal koşulların yıl boyunca belirgin biçimde değiştiğini ve aynı dönem içerisinde ilçe sınırları içerisinde de önemli mekânsal farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur. PET değerlerinin kış aylarında düşük, yaz aylarında ise yüksek değerlere ulaşması, Akdeniz ikliminin mevsimsel termal karakteristiğiyle uyumludur. Ayrıca araştırma alanının biyoiklimsel konfor koşulları, Akdeniz iklim kuşağında gerçekleştirilen önceki çalışmalarla benzerlik göstermektedir (Çınar vd., 2017; Karakuş & Selim, 2022; Mirza & Topay, 2022; Cinar vd., 2023; Karakuş, 2024).

4. SONUÇ

Bu çalışmada, Aksu ilçesindeki dış mekân biyoiklimsel konfor koşulları PET indeksi kullanılarak zamansal ve mekânsal açıdan incelenmiş ve CBS tabanlı yöntemlerle aylık ve mevsimsel olarak haritalanmıştır. Elde edilen bulgular, Aksu ilçesinde biyoiklimsel konfor koşullarının yıl içerisinde hem zamansal hem de mekânsal açıdan önemli farklılıklar gösterdiğini ortaya koymuştur. Zamansal analiz sonuçları, en uygun biyoiklimsel konfor koşullarının ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde, Nisan, Mayıs, Ekim ve Kasım ayları olmak

üzere toplam dört ayda oluştuğunu göstermiştir. Kış mevsiminde Aralık–Mart döneminde soğuk stresinin etkisiyle dört ay boyunca biyoiklimsel konfor koşulları oluşmazken, yaz mevsiminde Haziran–Eylül döneminde sıcaklık stresinin etkisiyle yine dört ay boyunca biyoiklimsel konfor koşulları oluşmamıştır. Mekânsal analiz sonuçları ise çalışma alanındaki biyoiklimsel konfor koşullarının homojen bir dağılım göstermediğini ve özellikle aynı ay veya mevsim içerisinde çalışma alanının farklı kesimlerinde farklı ısıl algı sınıflarının ortaya çıktığını göstermiştir. Elde edilen bulguların, Aksu ilçesinde dış mekân kullanım koşullarının iyileştirilmesine yönelik kentsel planlama, peyzaj tasarımı ve açık-yeşil alan düzenlemelerinde iklim duyarlı kararların geliştirilmesine yönelik önemli bir mekânsal altlık oluşturabileceği düşünülmektedir. Gelecek çalışmalarda daha uzun dönemli iklim verilerinin yanı sıra saatlik meteorolojik verilerin kullanılması ve farklı termal konfor indekslerinin değerlendirilmesi, Aksu'nun yerel termal konfor koşullarının daha kapsamlı biçimde ortaya konulmasına katkı sağlayabilir.

KAYNAKLAR

Altuntaş, A., & Ortaçeşme, V. (2017). Peyzaj kalite hedeflerinin yerel ölçekte belirlenmesi: Antalya Aksu örneği. *Mediterranean Agricultural Science*, *30*(2), 121-131.

Bostancı, E., Kabaş, Ö., & Aksoy, E. (2024). Çok Kriterli Karar Verme Metodu AHP ve CBS Teknolojisi Kullanılarak Sera Yer Seçimi: Aksu İlçesi Örneği. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, *7*(2), 184-195.

Chen, L., & Ng, E. (2012). Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade. *Cities*, *29*(2): 118-125.

Cohen, P., Potchter, O., & Matzarakis, A. (2013). Human thermal perception of Coastal Mediterranean outdoor urban environments. *Applied Geography*, *37*, 1-10.

Çalışkan, O., & Türkoğlu, N. (2012). Türkiye'nin biyoklimatik koşullarının analizi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, *10*(2), 151-164.

Çınar, İ., Ardahanlıoğlu, Z. R., Karakuş, N., & Yazar, K. (2017). Sürdürülebilir turizm faaliyetleri kapsamında iklim konforu değerlendirmesi: Kıyı Akdeniz yerleşimi, Fethiye örneği. N. Çiftçi, Y. Kara, İ. Yalçınkaya, M. Şahin & T. Ağaçayak (Ed.), *Fen, matematik, mühendislik ve doğa bilimleri araştırmaları 2017* içinde (ss. 235-241). Çizgi Kitabevi Yayınları.

Cinar, İ., Karakus, N., & Toy, S. (2023). Analysing daytime summer thermal comfort conditions for Turkey's third largest tourism destination. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(17), 50046-50056.

Daneshvar, M. R. M., Bagherzadeh, A., & Tavousi, T. (2013). Assessment of bioclimatic comfort conditions based on Physiologically Equivalent Temperature (PET) using the RayMan Model in Iran. *Central European Journal of Geosciences*, *5*(1), 53-60.

de Freitas, C. R., & Grigorieva, E. A. (2017). A comparison and appraisal of a comprehensive range of human thermal climate indices. *International journal of biometeorology*, *61*, 487-512.

Haldane J.S. (1905). The influence of high air temperature. *J Hyg*, *5*, 494–513.

Henderson, S. B., McLean, K. E., Lee, M. J., & Kosatsky, T. (2022). Analysis of community deaths during the catastrophic 2021 heat dome: early evidence to inform the public health response during subsequent events in greater Vancouver, Canada. *Environmental Epidemiology*, *6*(1), e189.

Höppe, P.R. (1999). The physiological equivalent temperature-a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, *43*(2): 71-75.

Jacobs, C., Singh, T., Gorti, G., Iftikhar, U., Saeed, S., Syed, A., Abbas, F., Ahmad, B., Bhadwal, S., & Siderius, C. (2019). Patterns of outdoor exposure to heat in three South Asian cities. *Science of the Total Environment, 674*: 264-278.

Karakuş, N. (2024). Biyoiklimsel konfor odaklı yerleşim yeri belirleme modeli (Yayın No. 865148) [Doktora tezi, Akdeniz Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

Karakuş, N., & Selim, S. (2022). Dış mekân termal konfor koşullarının zamansal ve mekânsal dağılımı: Konyaaltı-Antalya örneği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 13*(2), 259-269.

Karakuş, N., Selim, S., Selim, C., Olgun, R., Koç, A., Ardahanlıoğlu, Z. R., Şenyiğit Doğan, S., & Ertoy, N. (2024). Evaluation of thermal comfort conditions in the working environments of seasonal agricultural workers in csa koppen climate type. *Sustainability, 16*(20), 8903.

Kaya, E. (2023). Evaluation of bioclimatic comfort area with heat index: A case study of Kocaeli. *International Journal of Engineering and Geosciences, 8*(1), 19-25.

Matzarakis, A., Mayer, H., Iziomon, M.G. (1999). Applications of a universal thermal index: Physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology, 43*(2): 76-84.

Matzarakis, A., Muthers, S., & Rutz, F. (2014). Application and comparison of UTCI and PET in temperate climate conditions. *Finisterra, 49*(98).

Matzarakis, A., Rutz, F. and Mayer, H. 2007. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments—application of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology, 51*(4), 323-334. doi: 10.1007/s00484-006-0061-8.

Matzarakis, A., Rutz, F., Chen, Y. and Fröhlich, D. 2017. RayMan Pro, A Tool for Applied Climatology, Rayman Manual Version 0.1., https://www.urbanclimate.net/rayman/RayManManual.pdf, Erişim Tarihi: 17.05.2020.

Mirza, E., & Topay, M. (2022). Göller yöresi illerinin biyoiklimsel konfor yapısının belirlenmesi ve termal algılama haritalarının oluşturulması. *Ecological Perspective, 2*(1), 67-86.

Pecelj, M., Matzarakis, A., Vujadinović, M., Radovanović, M., Vagić, N., Đurić, D., & Cvetkovic, M. (2021). Temporal analysis of urban-suburban PET, mPET and UTCI indices in Belgrade (Serbia). *Atmosphere, 12*(7), 916.

Savić, S., Marković, V., Šećerov, I., Pavić, D., Arsenović, D., Milošević, D., Dolinaj, D., Nagy, I., &Pantelić, M. (2018). Heat wave risk assessment and mapping in urban areas: case study for a midsized Central European City, Novi Sad (Serbia). *Natural hazards, 91*(3): 891-911

Sert, E. M., & Topay, M. (2023). Determination of bioclimatic comfort structure of the Isparta city center for outdoor recreation. *Polish Journal of Environmental Studies, 32*(6), 5773-5783.

Tağıl, Ş., & Ersayın, K. (2015). Balıkesir ilinde dış ortam termal konfor değerlendirmesi. *Journal of International Social Research, 8*(41):747-755.

TÜİK. (2026). Türkiye İstatistik Kurumu, Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları. https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr, Erişim Tarihi: 26.09.2026.

Zafarmandi, S., Matzarakis, A., & Norford, L. (2024). Effects of clothing's thermal insulation on outdoor thermal comfort and thermal sensation: A case study in Tehran, Iran. *Sustainable Cities and Society, 100*, 104988.

Zhao, Q., Lian, Z., & Lai, D. (2021). Thermal comfort models and their developments: A review. *Energy and Built Environment, 2*(1), 21-33.

ANTALYA KENT MERKEZİNDE YEREL İKLİM BÖLGELERİNİN WUDAPT VE CBS TABANLI HARİTALANMASI VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Öğr. Gör. Dr. Nihat KARAKUŞ
Akdeniz Üniversitesi, Serik Gülsün-Süleyman Süral Meslek Yüksekokulu, Peyzaj ve Süs Bitkileri Yetiştiriciliği, 07500 Serik, Antalya, nkarakus@akdeniz.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-6924-1879
Doç. Dr. Rifat OLGUN
Akdeniz Üniversitesi, Serik Gülsün-Süleyman Süral Meslek Yüksekokulu, Peyzaj ve Süs Bitkileri Yetiştiriciliği, 07500 Serik, Antalya, rifatolgun@akdeniz.edu.tr
ORCID ID: 0000-0002-5396-057X
Öğr. Gör. Dr. Emine KAHRAMAN
Akdeniz Üniversitesi, Serik Gülsün-Süleyman Süral Meslek Yüksekokulu, Peyzaj ve Süs Bitkileri Yetiştiriciliği, 07500 Serik, Antalya, eminekahraman@akdeniz.edu.tr
ORCID ID: 0000-0001-8738-8017

ÖZET

Heterojen yapıdaki kentsel alanlarda yapılaşma yoğunluğu, bina geometrisi, yüzey örtüsü ve bitki dokusundaki farklılıklar, kentsel iklim koşullarının mekânsal olarak değişmesine neden olmaktadır. Bu farklılıkların sistematik biçimde ortaya konulmasında Yerel İklim Bölgeleri (Local Climate Zones–LCZ) yaklaşımı, kentsel alanların yüzey ve morfolojik özelliklerine dayalı olarak sınıflandırılmasına olanak sağlayan önemli bir yöntemdir. Bu çalışmanın amacı, heterojen kentsel yapıya sahip Antalya kent merkezinin kentsel arazi örtüsü ve yapılaşma özelliklerini LCZ yaklaşımı kapsamında haritalamak ve LCZ sınıflarının mekânsal dağılımını ilçe ve kent merkezi ölçeğinde değerlendirmektir. Bu amaç doğrultusunda araştırma alanı, Antalya kent merkezi ve yakın çevresini kapsayacak şekilde belirlenmiştir. Bu kapsamda çalışma alanı Kepez, Konyaaltı ve Muratpaşa ilçelerinden oluşmaktadır. LCZ veri setinin oluşturulmasında Dünya Kentsel Veritabanı ve Erişim Portalı (World Urban Database and Access Portal Tools–WUDAPT) kapsamında sunulan standartlaştırılmış LCZ verileri kullanılmıştır. Elde edilen veriler Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) ortamında işlenerek görselleştirilmiş ve Antalya kent merkezine ait LCZ haritası oluşturulmuştur. CBS ortamında gerçekleştirilen mekânsal analizler aracılığıyla LCZ sınıflarının ilçe ölçeğinde ve Antalya kent merkezi genelinde kapladığı alanlar hesaplanmış ve mekânsal olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, Antalya kent merkezinde LCZ sınıflarının homojen olmayan bir mekânsal dağılım gösterdiğini ve ilçeler arasında yapılaşma yoğunluğu, kentsel form ve doğal yüzeylerin dağılımı açısından belirgin farklılıklar bulunduğunu ortaya koymaktadır. LCZ sınıflarının mekânsal dağılımındaki bu farklılıklar, Antalya kent merkezinin kentsel morfolojik yapısının ve arazi örtüsü karakterinin farklı mekânsal örüntüler sergilediğini göstermektedir. Çalışma sonuçlarının, Antalya kent merkezinin kentsel iklim özelliklerinin mekânsal olarak

anlaşılmasına ve gelecekte gerçekleştirilecek kentsel ısı adası, yüzey sıcaklığı ve biyoklimatik konfor çalışmalarında LCZ temelli mekânsal analizlerin geliştirilmesine altlık oluşturması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Yerel İklim Bölgeleri, WUDAPT, CBS, Antalya

WUDAPT AND GIS-BASED MAPPING AND EVALUATION OF LOCAL CLIMATE ZONES IN ANTALYA CITY CENTER

ABSTRACT

In heterogeneous urban areas, differences in building density, building geometry, surface cover, and vegetation structure cause urban climatic conditions to vary spatially. In systematically revealing these differences, the Local Climate Zones (LCZ) approach is an important method that enables the classification of urban areas based on their surface and morphological characteristics. The aim of this study is to map the urban land cover and building characteristics of Antalya city center, which has a heterogeneous urban structure, within the framework of the LCZ approach and to evaluate the spatial distribution of LCZ classes at the district and city-center scales. For this purpose, the study area was defined to encompass Antalya city center and its immediate surroundings. In this context, the study area consists of the Kepez, Konyaaltı, and Muratpaşa districts. In the creation of the LCZ dataset, standardized LCZ data provided within the World Urban Database and Access Portal Tools (WUDAPT) were used. The obtained data were processed and visualized in a Geographic Information Systems (GIS) environment, and an LCZ map of Antalya city center was created. Through spatial analyses conducted in the GIS environment, the areas covered by the LCZ classes at the district scale and across Antalya city center were calculated and spatially evaluated. The findings reveal that the LCZ classes exhibit a non-homogeneous spatial distribution in Antalya city center and that there are distinct differences among the districts in terms of building density, urban form, and the distribution of natural surfaces. These differences in the spatial distribution of LCZ classes indicate that the urban morphological structure and land cover characteristics of Antalya city center exhibit different spatial patterns. The results of the study are expected to provide a basis for the spatial understanding of the urban climatic characteristics of Antalya city center and for the development of LCZ-based spatial analyses in future studies on urban heat islands, surface temperature, and bioclimatic comfort.

Keywords: Local Climate Zones (LCZ), WUDAPT, GIS, Antalya

GİRİŞ

Yerel İklim Bölgeleri (Local Climate Zones–LCZ) sınıflandırma sistemi, kentsel iklim çalışmalarında yaygın olarak kullanılan geleneksel kent-kır ayrımının sınırlılıklarını azaltmak,

kentsel ve doğal peyzajların iklim açısından önemli fiziksel özelliklerini standart bir çerçevede tanımlamak amacıyla Stewart & Oke (2012) tarafından geliştirilmiştir. Geleneksel yaklaşımlarda kent alanlarının çoğunlukla homojen bir kentsel alan olarak değerlendirilmesine karşın, LCZ yaklaşımı kentsel peyzajı yüzey yapısı, arazi örtüsü, yapı malzemeleri ve antropojenik faaliyetler açısından yerel bölgelere ayırmaktadır (Stewart & Oke, 2012). Çünkü kentler kendi içlerinde yapı yoğunluğu, bina yüksekliği, geçirimsiz yüzey oranı, bitki örtüsü yoğunluğu, yüzey malzemeleri ve kentsel morfoloji açısından farklılıklar göstermektedir (Chen vd., 2020). Bu farklılıklar ise belirgin termal değişimlerin oluşmasına neden olmaktadır (Middel vd., 2014). Bu nedenle LCZ sistemi, bir bölgenin termal özelliklerini peyzajın ve yapılı çevrenin fiziksel özellikleriyle ilişkilendirerek farklı mahalleler, kentler ve iklim bölgeleri arasında karşılaştırılabilir değerlendirmeler yapılmasını sağlamaktadır (Stewart & Oke, 2012; Alexander & Mills, 2014; Leconte vd., 2015).

LCZ sınıflandırma sistemi toplam 17 sınıftan oluşmakta olup bunların 10'u yapılı alan tiplerini (LCZ 1–10), 7'si ise arazi örtüsü tiplerini (LCZ A–G) temsil etmektedir. Yapılı alan sınıfları; sıkışık yüksek katlı (LCZ 1), sıkışık orta katlı (LCZ 2), sıkışık düşük katlı (LCZ 3), açık yüksek katlı (LCZ 4), açık orta katlı (LCZ 5), açık düşük katlı (LCZ 6), hafif yapılı düşük katlı (LCZ 7), geniş düşük katlı (LCZ 8), seyrek yapılaşmış (LCZ 9) ve ağır sanayi (LCZ 10) alanlarından oluşmaktadır. Arazi örtüsü sınıfları ise yoğun ağaçlar (LCZ A), dağınık ağaçlar (LCZ B), çalı ve fundalıklar (LCZ C), düşük boylu bitkiler (LCZ D), çıplak kaya veya yapay yüzeyler (LCZ E), çıplak toprak veya kum (LCZ F) ve su yüzeyleri (LCZ G) olarak sınıflandırılmaktadır (Stewart & Oke, 2012). Böylece LCZ sistemi, kent peyzajının yüzey enerji dengesiyle doğrudan ilişkili fiziksel özelliklerini temsil eden kapsamlı bir sınıflandırma yaklaşımı sunmaktadır (Bechtel vd., 2015; Ching vd., 2018). Ayrıca LCZ yaklaşımının Dünya Kentsel Veritabanı ve Erişim Portalı (World Urban Database and Access Portal Tools–WUDAPT) sistemine entegre edilmesi de bu yöntemin farklı kentlere ve iklim bölgelerine uygulanabilirliğini artırmış ve dünya ölçeğinde standartlaştırılmış kentsel morfoloji ve arazi örtüsü haritalarının oluşturulmasını desteklemiştir (Bechtel vd., 2015; Ching vd., 2018; Demuzere vd., 2019).

LCZ yaklaşımı öncelikle kentsel ve kırsal alanların fiziksel özelliklerini standartlaştırmak amacıyla geliştirilmiş olmasına rağmen, günümüzde hava sıcaklığı ve yüzey sıcaklığı analizi, UHI ve SUHI değerlendirmeleri, uzaktan algılama temelli kentsel morfoloji haritalaması, dış mekân termal konforu ve ısı kaynaklı sağlık risklerinin belirlenmesi gibi farklı alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Lehnert vd., 2021; Aslam & Rana, 2022; Zhang vd., 2024; Olgun vd.,

2025; Zhang vd., 2026). Ayrıca LCZ sınıfları, kentsel form ile rüzgâr ve havalandırma koşulları arasındaki ilişkilerin analizinde (Zhao vd., 2020), kentsel iklim ve hava tahmin modellerinin yüzey parametrelerinin geliştirilmesinde (Ching vd., 2018; Demuzere vd., 2022), arazi yüzey sıcaklığı (LST) ve soğutma etkileri analizlerinde (Cilek & Cilek, 2021; Kalaycı & Sütcüoğlu, 2025; Yılmaz vd., 2026), arazi kullanımı/arazi örtüsü ile kentsel ısı adası etkileri arasındaki ilişkinin incelenmesinde (Ögçe & Erdem Kaya, 2024; Senyel Kurkcuoglu vd., 2025), aşırı yağış olaylarının modellenmesinde (Patel vd., 2020), bina enerji tüketiminin değerlendirilmesinde (Bansal & Quan, 2022; Kotharkar vd., 2022) ve son yıllarda hava kirleticilerinin kentsel morfolojiyle ilişkisinin araştırılmasında da kullanılmaktadır (Yang vd., 2022). LCZ'nin standart ve kentler arasında karşılaştırılabilir yapısı, iklime duyarlı kentsel planlama, iklim değişikliğine uyum, kentsel dirençlilik ve ısı azaltma stratejilerinin geliştirilmesine yönelik çalışmalarda önemli bir karar destek çerçevesi sunmaktadır (Perera & Emmanuel, 2018; Aslam & Rana, 2022; Wang vd., 2024).

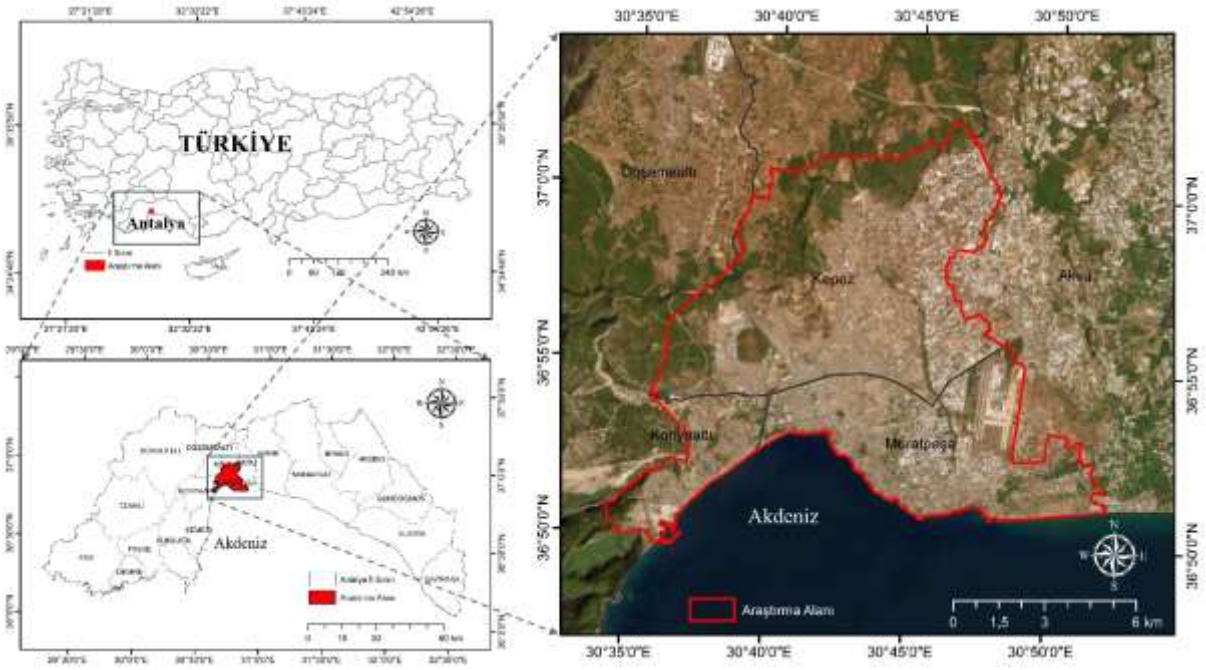
Bu çalışmanın amacı, Antalya kent merkezinin kentsel arazi örtüsü ve yapılaşma özelliklerini LCZ yaklaşımı kapsamında haritalamak ve LCZ sınıflarının mekânsal dağılımını ilçe ve kent merkezi ölçeğinde değerlendirmektir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı Antalya kent merkezini kapsamaktadır. Antalya ili, Türkiye'nin güneyinde 36°–37° kuzey enlemleri ile 29°–32° doğu boylamları arasında yer almaktadır. Güneyde Akdeniz ile çevrili olan ilin, doğusunda Mersin, kuzeyinde Konya, Isparta ve Burdur, batısında ise Muğla ili bulunmaktadır (Şekil 1). Batı Akdeniz Bölgesi'nin en büyük kenti ve bölge merkezi konumunda olan Antalya ili, 2025 yılı TÜİK verilerine göre 2777677 kişi ile nüfusu bakımından Türkiye'nin en kalabalık beşinci şehridir (TÜİK, 2026).

Araştırma alanı, Antalya kent merkezinde yer alan Kepez (17.189,10 ha), Konyaaltı (2.910,60 ha) ve Muratpaşa (8.737,83 ha) ilçelerinden oluşmakta ve toplam 28.837,53 ha alanı kapsamaktadır. Bu üç ilçe, Antalya'nın yoğun kentsel gelişme gösteren merkezi bölümünü oluşturması ve farklı yapılaşma yoğunlukları ile arazi örtüsü özelliklerini bir arada barındırması nedeniyle çalışma alanı olarak belirlenmiştir.



Şekil 1. Araştırma alanı

2.2. Veri seti

Çalışmanın LCZ veri setini, Dünya Kentsel Veritabanı ve Erişim Portalı (WUDAPT) kapsamında sunulan standartlaştırılmış LCZ verileri oluşturmaktadır (Şekil 2) (Demuzere vd., 2022; Demuzere vd., 2023). WUDAPT, dünya genelindeki kentsel alanların standartlaştırılmış biçimde sınıflandırılması ve kentsel morfoloji verilerinin oluşturulması amacıyla geliştirilen bir veri ve araştırma platformudur. LCZ yaklaşımının WUDAPT sistemine entegre edilmesi, farklı kentlerin ortak bir sınıflandırma sistemi içerisinde değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır (Stewart & Oke, 2012; Demuzere vd., 2022). Antalya kent merkezinin sınırlarının belirlenmesinde Antalya Büyükşehir Belediyesi'nden temin edilen il, ilçe ve mahalle sınırları verileri kullanılmıştır. Araştırmada oluşturulan tüm veri setlerinde WGS84 UTM Zone 36N koordinat sistemi kullanılmıştır. Kurumlardan ve açık kaynaklı platformlardan elde edilen farklı projeksiyon sistemlerine sahip veriler de analizlerde mekânsal bütünlüğün sağlanabilmesi amacıyla WGS84 UTM Zone 36N koordinat sistemine dönüştürülmüştür.

Şekil 2. WUDAPT LCZ Tipleri (Demuzere vd., 2023)

2.3. Yöntem

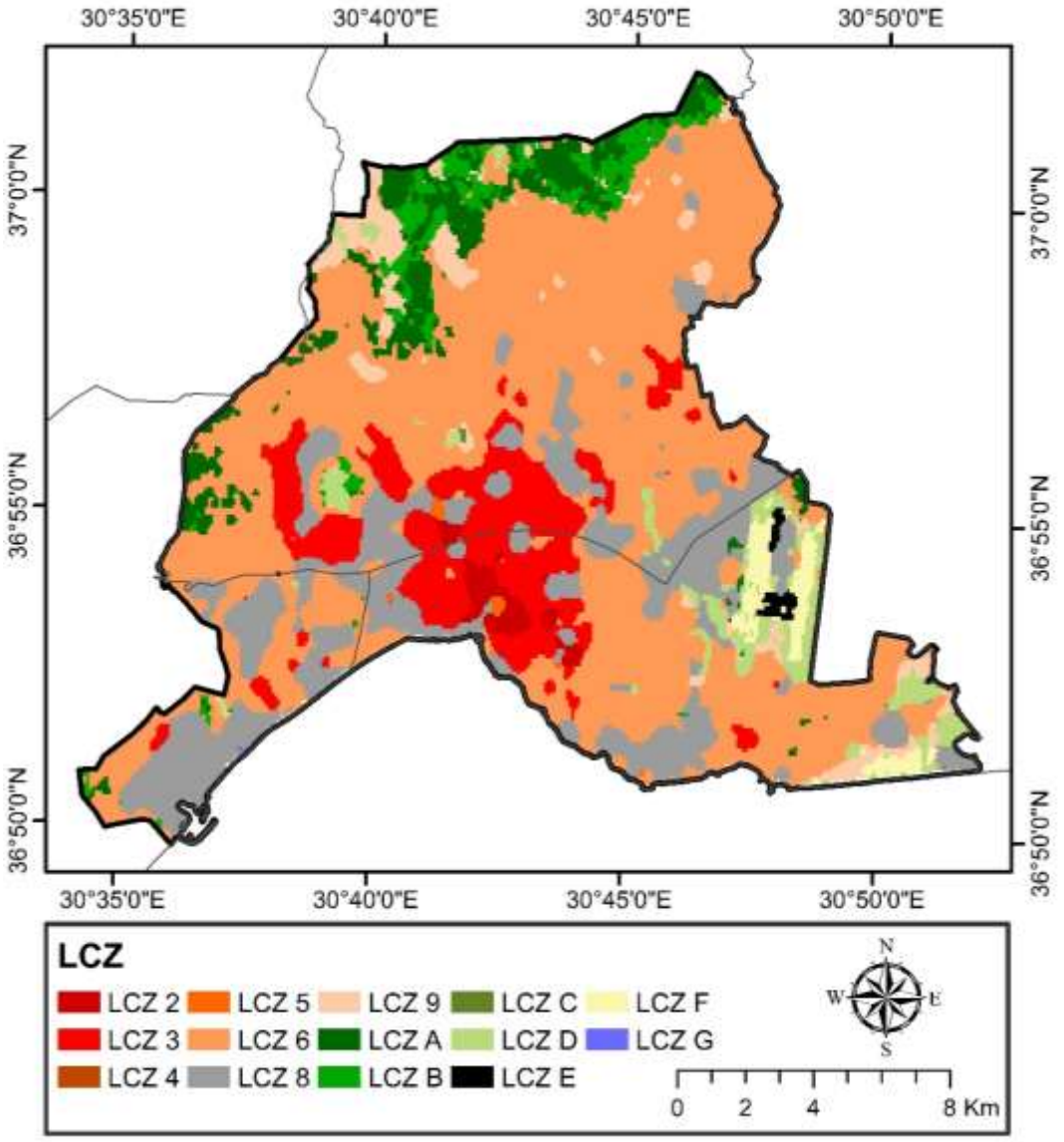
Çalışma veri toplama, analiz ve değerlendirme olmak üzere üç aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada, araştırma alanın sınırlarını belirlemek için Antalya Büyükşehir Belediyesi'nden il, ilçe ve mahalle sınırları temin edilmiştir. Araştırma alanının LCZ haritasını oluşturmak için açık erişimli WUDAPT verileri temin edilmiştir. İkinci aşamada, elde edilen LCZ verileri

analizlerde mekânsal bütünlüğün sağlanabilmesi amacıyla CBS ortamında WGS84 UTM Zone 36N koordinat sistemine dönüştürülmüştür. Ardından, araştırma alanı sınırlarına göre kesilip WUDAPT tarafından tanımlanan ölçütlere göre sınıflandırılmıştır. Sınıflandırılan veri ile Antalya kent merkezine ait LCZ'nin mekânsal dağılım haritası oluşturulmuştur. Daha sonra her bir LCZ sınıfının ilçe bazında ve kent merkezi genelinde kapladığı alan mekânsal istatistik araçları kullanılarak hesaplanmıştır. LCZ sınıflarının alansal dağılımı hektar (ha) cinsinden ifade edilmiştir. Son aşamada, elde edilen verilere göre LCZ sınıflarının hem kent merkezi genelindeki hem de ilçe ölçeğindeki mekânsal dağılımları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Antalya kent merkezinde toplam 28837,53 ha alan LCZ sınıfları kapsamında değerlendirilmiştir. Antalya kent merkezine ait LCZ haritası Şekil 3'te verilmiştir. LCZ sınıflarının kent merkezi genelindeki dağılımı incelendiğinde, sınıfların homojen bir dağılım göstermediği ve bazı sınıfların baskın olduğu tespit edilmiştir. Kent merkezi genelinde en geniş alanı LCZ 6 oluşturmaktadır. LCZ 6, 15.066,90 ha alan ile Antalya kent merkezinin yarısından fazlasını kaplamaktadır (Tablo 1). Bu alanın yarıdan fazlası (10176,30 ha) Kepez'de, geriye kalan 3659,76 ha ve 1230,84 ha ise sırasıyla Muratpaşa ve Konyaaltı'nda dağılım göstermektedir. İkinci en geniş sınıf olan LCZ 8, kent merkezinde 5034,15 ha alan kaplamaktadır. Bu alanın 1836,09 ha'ı Muratpaşa'da, 1484,28 ha'ı Konyaaltı'nda ve 1713,78 ha'ı Kepez'de bulunmaktadır. LCZ 3 ise kent merkezinde 2958,93 ha alan kaplamakta ve bu alanın 1744,74 ha'ı Kepez'de, 1110,87 ha'ı Muratpaşa'da ve 103,32 ha'ı Konyaaltı'nda yer almaktadır.

Arazi örtüsü sınıfları içerisinde LCZ A, kent merkezinde 1609,29 ha ile öne çıkmakta ve bu alanın büyük çoğunluğu (1.524,42 ha) Kepez'de bulunmaktadır. LCZ B, kent merkezinde 968,40 ha alan kaplamakta ve bunun da büyük çoğunluğu (918,90 ha) Kepez'de yer almaktadır. LCZ D ise kent merkezinde 1017,63 ha alan kaplamakta ve bunun çoğunluğu (748,08 ha) Muratpaşa'da bulunmaktadır. LCZ F kent merkezinde 520,47 ha alan kaplamakta ve bu sınıf çoğunlukla (516,33 ha) Muratpaşa'da yoğunlaşmaktadır.



Şekil 3. Antalya kent merkezinde Yerel İklim Bölgelerinin (LCZ) mekânsal dağılımı

Diğer LCZ sınıfları ise, Antalya kent merkezi içerisinde daha düşük alanlar kaplamaktadır. LCZ 9, kent merkezinde 1.117,71 ha alan kaplamakta ve bu alanın yarısından fazlası (779,40 ha) Kepez'de bulunmaktadır. LCZ 2, kent merkezinde 370,44 ha alan kaplamakta ve bu alanın büyük çoğunluğu (329,49 ha) Muratpaşa'da yer almaktadır. LCZ 5, kent merkezinde 54,09 ha alan kaplamakta ve (32,22 ha) bu alanın büyük çoğunluğu Muratpaşa'da bulunmaktadır. LCZ 4 ise kent merkezinde 0,81 ha ile çok sınırlı bir alan kaplamakta ve yalnızca Muratpaşa'da; LCZ C kent merkezinde 14,49 ha alan kaplamakta ve yalnızca Kepez'de; LCZ E kent merkezinde 101,79 ha alan kaplamakta ve yalnızca Muratpaşa'da; LCZ G ise kent merkezinde 2,43 ha alan kaplamakta ve yalnızca Konyaaltı'nda dağılım göstermektedir.

Tablo 1. Antalya kent merkezi ve ilçelerinde LCZ sınıflarının alansal dağılımı (ha)

LCZ	Antalya Kent Merkezi (ha)	Muratpaşa (ha)	Konyaaltı (ha)	Kepez (ha)
LCZ 2	370,44	329,49	0	40,95
LCZ 3	2.958,93	1.110,87	103,32	1.744,74
LCZ 4	0,81	0,81	0	0
LCZ 5	54,09	32,22	0,81	21,06
LCZ 6	15.066,90	3.659,76	1.230,84	10.176,30
LCZ 8	5.034,15	1.836,09	1.484,28	1.713,78
LCZ 9	1.117,71	332,82	5,49	779,4
LCZ A	1.609,29	61,11	23,76	1.524,42
LCZ B	968,4	8,46	41,04	918,9
LCZ C	14,49	0	0	14,49
LCZ D	1.017,63	748,08	15,57	253,98
LCZ E	101,79	101,79	0	0
LCZ F	520,47	516,33	3,06	1,08
LCZ G	2,43	0	2,43	0
TOPLAM	**28.837,53**	**8.737,83**	**2.910,60**	**17.189,10**

Araştırma bulguları, Antalya kent merkezindeki LCZ dağılımının birkaç baskın sınıf üzerinde yoğunlaştığını göstermektedir. Kentsel yapı tipinde özellikle LCZ 6, LCZ 8 ve LCZ 3 sınıfları kent merkezinde toplam 23.059,98 ha alan kaplamakta ve Antalya kent merkezinin yaklaşık %79,97'sini oluşturmaktadır. Bu üç sınıfın ilçe bazındaki dağılımları ise farklı mekânsal örüntüler ortaya koymaktadır. LCZ 6 Kepez'de, LCZ 8 Muratpaşa'da, LCZ 3 ise ağırlıklı olarak Kepez ve Muratpaşa'da yoğunlaşmaktadır. Arazi örtüsü sınıflarında ise özellikle LCZ A ve LCZ B'nin Kepez'de, LCZ D ve LCZ F'nin ise Muratpaşa'da yoğunlaştığı görülmektedir. Elde edilen mekânsal farklılıklar, Antalya kent merkezindeki kentsel morfoloji ve arazi örtüsü özelliklerinin heterojen bir yapı sergilediğini ortaya koymaktadır. Bu bulgu, Stewart ve Oke'nin (2012) yaklaşımı doğrultusunda, LCZ sınıflandırmasının kentsel alanlardaki morfolojik ve yüzey özelliklerinin mekânsal farklılıklarını ortaya koymada işlevsel bir çerçeve sunduğunu göstermektedir.

4. SONUÇ

Çalışmada elde edilen sonuçlar, kent merkezinin LCZ sınıfları bakımından belirgin bir mekânsal farklılaşma sergilediğini göstermiştir. Alanın yarısından fazlasını oluşturan LCZ 6,

15.066,90 ha ile en geniş dağılıma sahip sınıf olarak belirlenmiştir. Bunu 5.034,15 ha ile LCZ 8 ve 2.958,93 ha ile LCZ 3 sınıfları izlemiştir. LCZ 3, LCZ 6 ve LCZ 8 sınıflarının toplam alanı 23.059,98 ha olup Antalya kent merkezinin %79,97'sini oluşturmaktadır. İlçeler arasındaki LCZ dağılımı incelendiğinde, her ilçenin kentsel morfoloji ve arazi örtüsü özelliklerine bağlı olarak farklı sınıfların öne çıktığı belirlenmiştir. Muratpaşa'da LCZ 6 (3.659,76 ha), LCZ 8 (1.836,09 ha) ve LCZ 3 (1.110,87 ha) sınıfları öne çıkarken, Konyaaltı'nda LCZ 8 (1.484,28 ha) ve LCZ 6 (1.230,84 ha) sınıfları en geniş alanları oluşturmuştur. Kepez'de ise LCZ 6 sınıfı, 10.176,30 ha'lık alanıyla ilçe genelinde en geniş alana sahip sınıf olarak belirlenmiştir. Bu sonuçlar, Antalya kent merkezinde düşük katlı yapılaşma karakterinin belirgin olduğunu, ancak yapılaşma biçiminin ilçeler arasında farklılaştığını göstermektedir. Aynı zamanda doğal ve yarı doğal arazi örtüsünü temsil eden LCZ sınıflarının da çalışma alanı içerisinde farklı mekânsal örüntüler oluşturduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, WUDAPT ve CBS tabanlı LCZ yaklaşımı Antalya kent merkezinin kentsel morfolojik yapısının ve arazi örtüsü karakterinin standartlaştırılmış biçimde ortaya konulmasına olanak sağlamıştır. Oluşturulan LCZ haritası, Antalya kent merkezinin kentsel iklim özelliklerinin mekânsal olarak anlaşılması açısından önemli bir temel veri niteliğindedir. Gelecek çalışmalarda LCZ sınıflarının arazi yüzey sıcaklığı (LST), kentsel ısı adası (UHI/SUHI) ve dış mekân biyoklimatik konforu gibi değişkenlerle birlikte değerlendirilmesi önerilmektedir. Böylece Antalya kent merkezinde kentsel morfoloji, arazi örtüsü ve termal çevre arasındaki ilişkilerin daha ayrıntılı biçimde ortaya konulması mümkün olacaktır.

KAYNAKLAR

Alexander, P. J., & Mills, G. (2014). Local Climate Classification and Dublin's Urban Heat Island. *Atmosphere*, *5*(4), 755-774.

Aslam, A., & Rana, I. A. (2022). The use of local climate zones in the urban environment: A systematic review of data sources, methods, and themes. *Urban Climate*, *42*, 101120.

Bansal, P., & Quan, S. J. (2022). Relationships between building characteristics, urban form and building energy use in different local climate zone contexts: An empirical study in Seoul. *Energy and Buildings*, *272*, 112335.

Bechtel, B., Alexander, P. J., Böhner, J., Ching, J., Conrad, O., Feddema, J., Mills, G., See, L., & Stewart, I. (2015). Mapping Local Climate Zones for a Worldwide Database of the Form and Function of Cities. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *4*(1), 199-219.

Chen, Y., Zheng, B., & Hu, Y. (2020). Mapping Local Climate Zones Using ArcGIS-Based Method and Exploring Land Surface Temperature Characteristics in Chenzhou, China. *Sustainability*, *12*(7), 2974.

Ching, J., Mills, G., Bechtel, B., See, L., Feddema, J., Wang, X., Ren, C., Brousse, O., Martilli, A., Neophytou, M., Mouzourides, P., Stewart, I., Hanna, A., Ng, E., Foley, M., Alexander, P., Aliaga, D., Niyogi, D., Shreevastava, A., Bhalachandran, P., Masson, V., Hidalgo, J., Fung, J., Andrade, M., Baklanov, A., Dai, W., Milcinski, G., Demuzere, M., Brunsell, N., Pesaresi, M., Miao, S., Mu, Q., Chen, F., & Theeuwes, N. (2018). WUDAPT: An Urban Weather, Climate, and Environmental

Modeling Infrastructure for the Anthropocene. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *99*(9), 1907-1924.

Cilek, M. U., & Cilek, A. (2021). Analyses of land surface temperature (LST) variability among local climate zones (LCZs) comparing Landsat-8 and ENVI-met model data. *Sustainable Cities and Society*, *69*, 102877.

Demuzere, M., Bechtel, B., Middel, A., & Mills, G. (2019). Mapping Europe into local climate zones. *PLOS ONE*, *14*(4), e0214474.

Demuzere, M., Kittner, J., Martilli, A., Mills, G., Moede, C., Stewart, I. D., van Vliet, J., & Bechtel, B. (2022). A Global Map of Local Climate Zones to Support Earth System Modelling and Urban-Scale Environmental Science. *Earth Syst. Sci. Data*, *14*, 3835–3873.

Demuzere, M., Kittner, J., Martilli, A., Mills, G., Moede, C., Stewart, I. D., van Vliet, J. & Bechtel, B. (2023). Global map of Local Climate Zones (Version 3.0.0) [Dataset]. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.8419340

Kalayci, A., & Sütçüoğlu, G. G. (2025). Planning cooler cities: evaluating the accuracy of temperature assignments versus thermal imaging in LCZ-Based urban climate analysis. *Theoretical and Applied Climatology*, *156*(12), 650.

Kotharkar, R., Ghosh, A., Kapoor, S., & Reddy, D. G. K. (2022). Approach to local climate zone based energy consumption assessment in an Indian city. *Energy and Buildings*, *259*, 111835.

Lehnert, M., Savić, S., Milošević, D., Dunjić, J., & Geletič, J. (2021). Mapping Local Climate Zones and Their Applications in European Urban Environments: A Systematic Literature Review and Future Development Trends. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *10*(4), 260.

Leconte, F., Bouyer, J., Claverie, R., & Pétrissans, M. (2015). Using Local Climate Zone scheme for UHI assessment: Evaluation of the method using mobile measurements. *Building and Environment*, *83*, 39-49.

Middel, A., Häb, K., Brazel, A. J., Martin, C. A., & Guhathakurta, S. (2014). Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones. *Landscape and Urban Planning*, *122*, 16-28.

Olgun, R., Karakuş, N., Selim, S., Yilmaz, T., Erdoğan, R., Aklıbaşında, M., Dönmez, B., Çakır, M., & Ardahanlıoğlu, Z. R. (2025). Impacts of Landscape Composition on Land Surface Temperature in Expanding Desert Cities: A Case Study in Arizona, USA. *Land*, *14*(6), 1274.

Ögçe, H., & Erdem Kaya, M. (2024). Urban heat island phenomenon in Istanbul: A comprehensive analysis of land use/land cover and local climate zone effect. *Indoor and Built Environment*, *33*(8), 1447-1470.

Patel, P., Karmakar, S., Ghosh, S., & Niyogi, D. (2020). Improved simulation of very heavy rainfall events by incorporating WUDAPT urban land use/land cover in WRF. *Urban Climate*, *32*, 100616.

Perera, N., & Emmanuel, R. (2018). A "Local Climate Zone" based approach to urban planning in Colombo, Sri Lanka. *Urban Climate*, *23*, 188-203.

Senyel Kurkcuoglu, M. A., Ozenen-Kavlak, M., Duymus, H., & Cabuk, S. N. (2025). Assessing UHI impacts of land use changes in urban development areas through LCZ classification. *Computational Urban Science*, *5*(1), 42.

Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *93*(12), 1879-1900.

TÜİK, (2026). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi. https://biruni.tuik.gov.tr/medas/?kn=95&locale=tr, Erişim tarihi: 22.09.2026.

Wang, R., Wang, M., Ren, C., Chen, G., Mills, G., & Ching, J. (2024). Mapping local climate zones and its applications at the global scale: A systematic review of the last decade of progress and trend. *Urban Climate*, *57*, 102129.

Yang, H., Leng, Q., Xiao, Y., & Chen, W. (2022). Investigating the impact of urban landscape composition and configuration on PM2.5 concentration under the LCZ scheme: A case study in Nanchang, China. *Sustainable Cities and Society*, *84*, 104006.

Yilmaz, D., Isinkaralar, O., Isinkaralar, K., Yeboah, E., Sarfo, I., Sharifi, A., ... & Qadikolaei, M. R. (2026). Cooling effect of urban green spaces: LCZ-based assessment comparing four cities at

similar latitudes via hotspot and regression models. *International Journal of Biometeorology*, *70*(4), 95.

Zhang, H., Bai, J., Zhao, J., Guo, F., Zhu, P., Dong, J., & Cai, J. (2024). Application and future of local climate zone system in urban climate assessment and planning—Bibliometrics and meta-analysis. *Cities*, *150*, 104999.

Zhang, S., Chen, Y., Cai, Y., & Pan, W. (2026). Urban Heat Island Network Identification and Mitigation for Sustainable Urban Development Based on Source–Sink Theory and Local Climate Zone. *Sustainability*, *18*(1), 260.

Zhao, Z., Shen, L., Li, L., Wang, H., & He, B.-J. (2020). Local Climate Zone Classification Scheme Can Also Indicate Local-Scale Urban Ventilation Performance: An Evidence-Based Study. *Atmosphere*, *11*(8), 776.

Marchantia polymorpha, Conocephalum conicum ve *Plagiochila porelloides* TÜRLERİNE AİT EKSTRAKTLARIN İÇERİK ANALİZİ VE BİYOLOJİK AKTİVİTELERİNİN İNCELENMESİ

Ufuk YER
Atatürk University, Institute of Health Sciences, Division of Nutrition and Dietetics, 25000, Erzurum
ORCID: 0000-0002-1928-1143
Doç. Dr. Seda FANDAKLI
Artvin Coruh University, Health Services Vocational School, 08000, Artvin
ORCID: 0000-0002-8199-3336
Dr. Mesut NAMLI
Artvin Coruh University, Medicinal-Aromatic Plants Application and Research Centre, 08000, Artvin
ORCID: 0000-0001-9929-021X
Öğr. Gör. Deniz CANBOLAT GÜLTEKİN
Artvin Coruh University, Medicinal-Aromatic Plants Application and Research Centre, 08000, Artvin
ORCID: 0000-0003-1328-4762
Dr. Ahmet İsmail ÖZKAN
Artvin Coruh University, Medicinal-Aromatic Plants Application and Research Centre, 08000, Artvin
ORCID: 0000-0002-4511-2386
Prof. Dr. Nevzat BATAN
Karadeniz Technical University, Faculty of Science, Department of Molecular Biology and Genetics, 61000, Trabzon, **ORCID:** 0000-0001-8456-5719

ÖZET

Ciğerotları (*Marchantiophyta*), briyofitler içerisinde yer alan, damarsız yapıya sahip ve özellikle nemli habitatlarda yayılış gösteren önemli kara bitkileridir. Evrimsel açıdan eski bitki gruplarından biri olmalarının yanı sıra, çevresel streslere ve mikrobiyal etkenlere karşı geliştirdikleri özgün kimyasal savunma mekanizmaları nedeniyle son yıllarda doğal ürün araştırmalarında dikkat çekmektedirler. Ciğerotlarının terpenoidler, fenolik bileşikler, flavonoidler, bibenzil türevleri ve farklı aromatik metabolitler bakımından zengin olması; bu bitkilerin antioksidan, antimikrobiyal, antifungal, antiinflamatuvar ve sitotoksik gibi çeşitli biyolojik özellikler sergileyebilmesine olanak sağlamaktadır. Ayrıca türlere özgü sekonder metabolit profillerinin bulunması, ciğerotlarını hem kemotaksonomik çalışmalar hem de yeni biyoaktif doğal bileşiklerin araştırılması açısından değerli hâle getirmektedir. Bu çalışmada, Trabzon/Çaykara bölgesinde doğal olarak yetişen *Marchantia polymorpha, Conocephalum conicum* ve *Plagiochila porelloides* türlerinden elde edilen ekstraktların fitokimyasal ve biyolojik özelliklerinin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda ekstraktların toplam fenolik madde ve toplam flavonoid içerikleri belirlenmiş, antioksidan kapasiteleri farklı analiz yöntemleriyle incelenmiştir. Fenolik ve flavonoid bileşiklerin serbest radikallerin giderilmesi ve oksidatif süreçlerin sınırlandırılmasındaki rolleri dikkate alınarak kimyasal içerik ile antioksidan aktivite arasındaki ilişkinin ortaya konulması hedeflenmiştir. Ayrıca ekstraktların antimikrobiyal etkileri Gram-negatif *Pseudomonas aeruginosa*, Gram-

pozitif *Staphylococcus aureus* ve *Candida albicans* üzerinde değerlendirilmiştir. Çalışmadan elde edilen verilerin, bu üç ciğerotu türünün biyoaktif potansiyelinin ortaya konulmasına ve doğal kaynaklı antioksidan ve antimikrobiyal bileşiklerin araştırılmasına katkı sağlaması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: *Marchantia polymorpha*, *Conocephalum conicum*, *Plagiochila porelloides*, Biyolojik Aktivite

ANALYSIS OF THE PHYTOCHEMICAL COMPOSITION AND BIOLOGICAL ACTIVITIES OF EXTRACTS FROM *Marchantia polymorpha, Conocephalum conicum* and *Plagiochila porelloides*

ABSTRACT

Liverworts (*Marchantiophyta*) are important non-vascular land plants belonging to the bryophytes and are predominantly distributed in moist habitats. In addition to being among the evolutionarily ancient groups of land plants, liverworts have attracted increasing attention in natural product research in recent years due to their unique chemical defense mechanisms against environmental stresses and microbial agents. Their richness in terpenoids, phenolic compounds, flavonoids, bibenzyl derivatives, and various aromatic metabolites enables these plants to exhibit a wide range of biological activities, including antioxidant, antimicrobial, antifungal, anti-inflammatory, and cytotoxic effects. Moreover, the presence of species-specific secondary metabolite profiles makes liverworts valuable for both chemotaxonomic studies and the discovery of novel bioactive natural compounds. In this study, the phytochemical and biological properties of extracts obtained from *Marchantia polymorpha*, *Conocephalum conicum* and *Plagiochila porelloides*, which naturally occur in the Çaykara district of Trabzon, Türkiye, were comparatively evaluated. For this purpose, the total phenolic and total flavonoid contents of the extracts were determined, and their antioxidant capacities were investigated using different analytical methods. Considering the important roles of phenolic and flavonoid compounds in scavenging free radicals and limiting oxidative processes, the study also aimed to elucidate the relationship between phytochemical composition and antioxidant activity. In addition, the antimicrobial activities of the extracts were evaluated against the Gram-negative bacterium *Pseudomonas aeruginosa*, the Gram-positive bacterium *Staphylococcus aureus*, and the yeast *Candida albicans*. The findings obtained from this study are expected to contribute to revealing the bioactive potential of these three liverwort species and to support further investigations into naturally derived antioxidant and antimicrobial compounds.

Keywords: *Marchantia polymorpha*, *Conocephalum conicum*, *Plagiochila porelloides*, Biological Activity

1. INTRODUCTION

Bryophytes constitute an important component of the plant kingdom and are represented by approximately 25,000 species worldwide, making them one of the most diverse groups of terrestrial plants after angiosperms. Taxonomically, bryophytes comprise mosses, liverworts, and hornworts and are characterized by a remarkable diversity of secondary metabolites, including fatty acids, terpenoids, flavonoids, and various polyphenolic compounds. This rich phytochemical composition contributes substantially to the biological and pharmacological properties of bryophytes. Indeed, in traditional medical systems of different geographical regions, particularly India, China, and North America, bryophytes have been used in the treatment of burns and external wounds, snake bites, pulmonary tuberculosis, cardiovascular disorders, bone fractures, liver diseases, and various dermatological conditions. Liverworts (*Marchantiophyta*), one of the major groups of bryophytes, are regarded as being among the earliest plant lineages to have adapted to terrestrial environments. Despite their relatively simple morphology and non-vascular organization, liverworts exhibit considerable chemical diversity. They contain a wide range of secondary metabolites, particularly terpenoids, phenolic compounds, and flavonoids. Volatile constituents, especially terpenoids, represent a prominent component of liverwort phytochemistry. In addition, certain characteristic terpenoid skeletons, such as the pinguisane group of sesquiterpenoids and the sacculatane group of diterpenoids, are either rarely encountered or have not been reported in other plant groups, highlighting liverworts as distinctive sources of structurally unique natural products. In addition to their traditional medicinal uses, recent scientific investigations have demonstrated that liverwort extracts and isolated compounds may exhibit antimicrobial, antioxidant, anti-inflammatory, and anticancer activities (Simsek et al., 2023). The genus *Marchantia*, belonging to the family *Marchantiaceae*, includes several liverwort taxa of considerable interest in phytochemical and biological activity studies. One of the best-known representatives of this genus, *Marchantia polymorpha L.*, is widely distributed, particularly in temperate regions. Traditionally, this species has been used in the management of boils, abscesses, wounds, bone fractures, venomous snake bites, and liver-related disorders. Ethnobotanical records also indicate the use of *M. polymorpha* as a diuretic in certain European countries. Studies conducted on extracts and natural compounds isolated from *M. polymorpha* have revealed a broad spectrum of biological activities, including antimicrobial, antioxidant, and anti-

inflammatory effects, as well as cytotoxic activity against different cancer cell lines (Kim et al., 2021). Recent studies investigating the biological potential of liverworts indicate that this plant group is important not only because of its long-standing ethnomedicinal uses but also as a promising source for the discovery of novel bioactive molecules. In particular, antioxidant activity and urease inhibitory effects reported for different liverwort species suggest that these plants may contain previously unexplored natural compounds with potential pharmacological relevance (Çelik et al., 2023). Although liverworts are generally not consumed as food by humans or other mammals due to their characteristic unpalatable nature and the potential allergenic effects of certain species, they have historically been employed in ethnomedicine for the treatment of wounds, gastrointestinal disorders, and respiratory conditions. More recently, their richness in biologically active secondary metabolites, including terpenoids, phenolic compounds, and flavonoids, has increased scientific interest in their potential as sources of antimicrobial, antioxidant, anti-inflammatory, and anticancer agents. Collectively, these properties position members of *Marchantiophyta* as valuable natural resources and as an increasingly important focus of research in natural product chemistry, pharmacognosy, and drug discovery.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Materials

The extracts used in this study were prepared according to the method reported by Simsek et al. (2023). All chemicals used for extract preparation and biological activity assays were commercially obtained from Merck, and Sigma-Aldrich and used without further purification. All extract preparation and biological activity studies were carried out in the laboratories of the Medicinal and Aromatic Plants Application and Research Centre at Artvin Çoruh University.

2.2. Plant Materials

Marchantia polymorpha L., *Conocephalum conicum (L.)* Dumort., and *Plagiochila porelloides* are liverwort species typically associated with moist and shaded habitats. The specimens used in this study were collected on 10 August 2024 from wet soil along a stream within a *Picea orientalis (L.)* Link. forest in Görnek Nature Park, Çaykara, Trabzon, Türkiye (40°43'1.33"N, 40°09'34.81"E; 1932 m a.s.l.). Species identification was carried out using relevant floristic references, and the voucher specimens were deposited under the numbers KTUB 1637 for *M. polymorpha*, KTUB 1638 for *C. conicum*, and KTUB 1639 for *P. porelloides*.

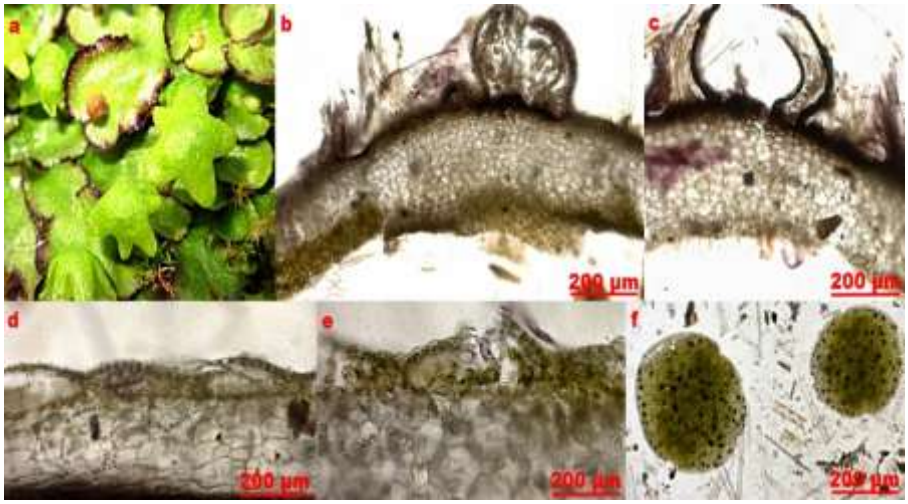


Figure 1. General appearance of *Marchantia polymorpha*

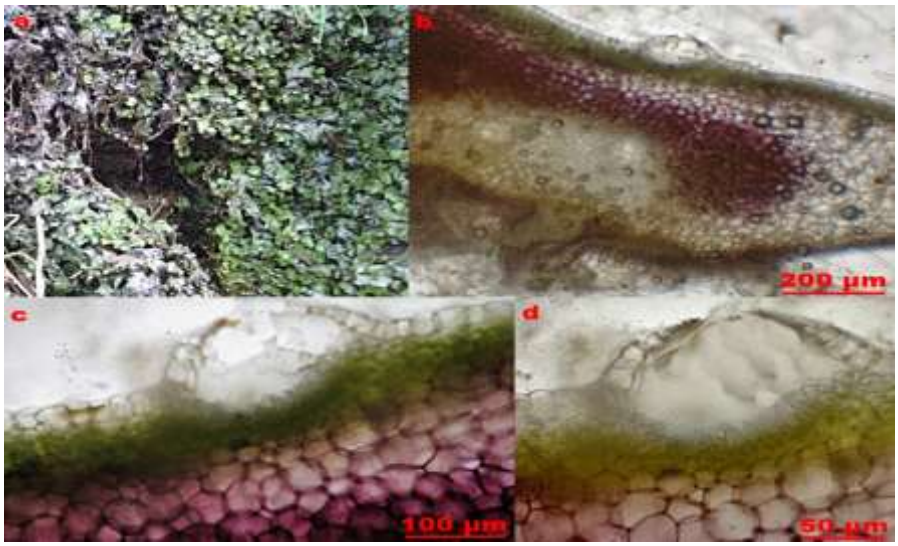


Figure 2. General appearance of *Conocephalum conicum*

Figure 3. General appearance of *Plagiochila porelloides*

2.3. Methods

- **Extraction**

Extraction of the plant samples was performed with minor modifications according to the method described by Simsek et al. (2023). The dried samples were ground into a fine powder, and 40 g of plant material was separately extracted with hexane, ethyl acetate, butanol, and methanol. The mixtures were shaken at 140 rpm for 96 h at room temperature, filtered through Whatman No. 1 filter paper, and the resulting filtrates were collected for evaporation.

- **Determination of Total Phenolic Content**

Total phenolic content was determined by the Folin-Ciocalteu method and expressed as mg gallic acid equivalents (GAE)/g sample (Slinkard et al., 1977).

- **Determination of Total Flavonoid Content**

Total flavonoid content was determined by the aluminum chloride colorimetric method and expressed as mg quercetin equivalents (QE)/g sample (Moreno et al., 2000).

- **DPPH Free Radical Scavenging Activity**

The DPPH free radical scavenging activity of the extracts was determined using a modified version of the method described by Yu et al. (2002). The extracts were incubated with 0.1 mM DPPH solution for 30 min at room temperature in the dark, and absorbance was measured at 517 nm. Antioxidant activity was expressed as percentage inhibition (%) (Canbolat et al., 2021).

- **Ferric-Reducing Antioxidant Power**

The reducing capacity of the extracts was determined using a modified version of the method described by Oyaizu (1986). The samples were reacted with phosphate buffer and potassium ferricyanide, followed by the addition of trichloroacetic acid and $FeCl_3$. Absorbance was measured at 700 nm using a microplate reader. The results were expressed as mg Trolox equivalents/g sample, and all measurements were performed in triplicate.

- **Antimicrobial Activity Assay**

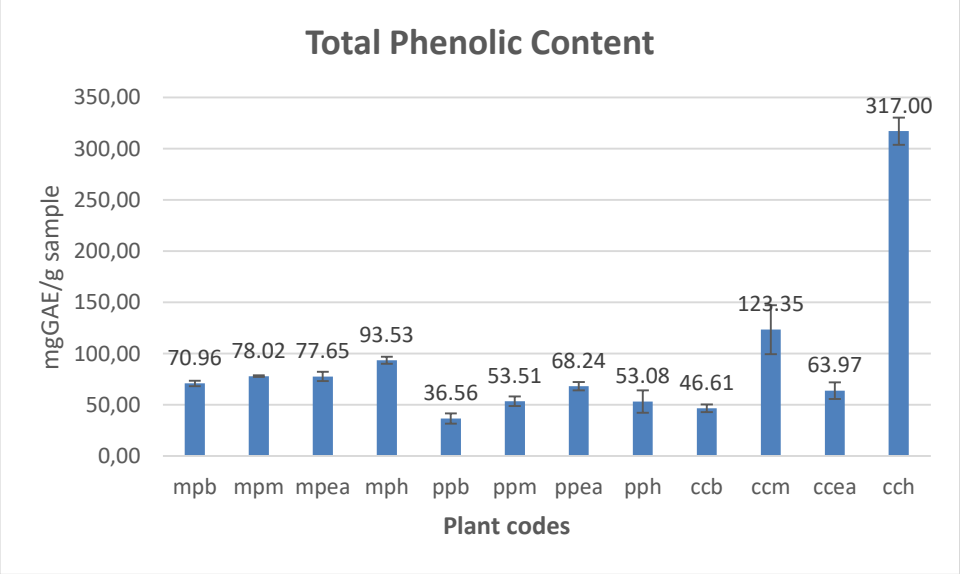
The antimicrobial activities of the extracts were determined using a disc diffusion assay with minor modifications (Hussein-Al-Ali et al., 2014; Magaldi et al., 2004; Valgas et al., 2007). Antimicrobial activity was evaluated against *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853), *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), and *Candida albicans* (ATCC 10231). Following incubation, inhibition zones produced by the extracts were measured and compared with those of standard antimicrobial discs. All experiments were performed in triplicate.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Plant codes: mpb (*Marchantia polymorpha* butanol extract), mpm (*Marchantia polymorpha* methanol extract), mpea (*Marchantia polymorpha* ethyl acetate extract), mph (*Marchantia polymorpha* hexane extract); ppb (*Plagiochila porelloides* butanol extract), ppm (*Plagiochila porelloides* methanol extract), ppea (*Plagiochila porelloides* ethyl acetate extract), pph (*Plagiochila porelloides* hexane extract); ccb (*Conocephalum conicum* butanol extract), ccm (*Conocephalum conicum* methanol extract), ccea (*Conocephalum conicum* ethyl acetate extract), cch (*Conocephalum conicum* hexane extract).

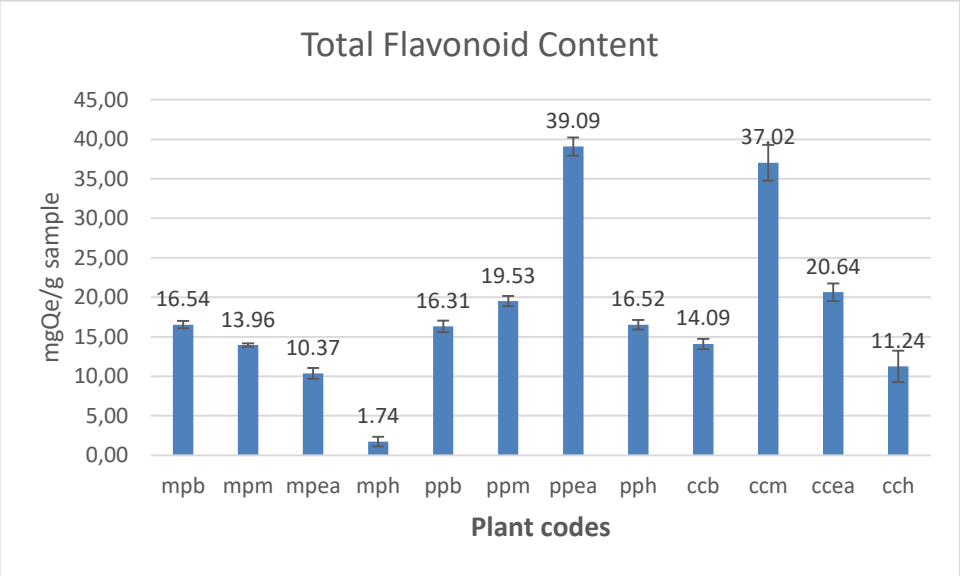
- **Total Phenolic Content**

Marked differences were observed among the extracts in terms of total phenolic content. The highest phenolic content was detected in the hexane extract of *Conocephalum conicum* (CCH, 317.00 mg GAE/g), followed by the methanol extract of *C. conicum* and the hexane extract of *Marchantia polymorpha*. The lowest value was determined in the butanol extract of *Plagiochila porelloides* (36.56 mg GAE/g). These findings indicate that the CCH extract may possess a particularly rich phytochemical profile in terms of phenolic compounds.



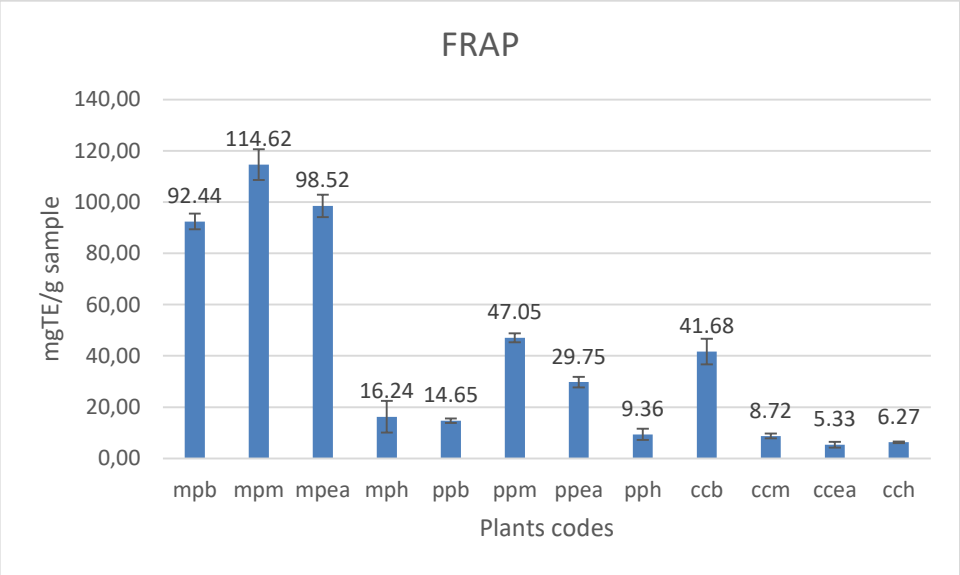
- **Total Flavonoid Content**

The highest total flavonoid content was observed in the ethyl acetate extract of *P. porelloides* (PPEA, 39.09 mg QE/g), followed by the methanol extract of *C. conicum* (CCM, 37.02 mg QE/g). The lowest flavonoid content was detected in the hexane extract of *M. polymorpha* (MPH, 1.74 mg QE/g). These results suggest that both plant species and extraction solvent significantly influence flavonoid recovery.

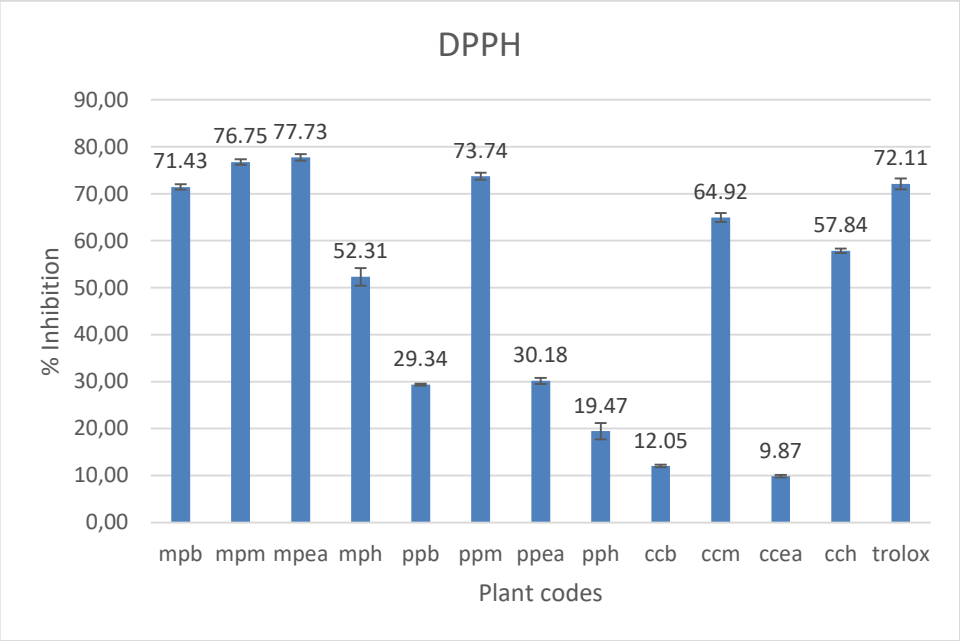


- **Antioxidant Activity**

In the FRAP assay, the highest ferric-reducing capacity was observed in the methanol extract of *M. polymorpha* (MPM, 114.62 mg TE/g), followed by its ethyl acetate and butanol extracts. These results indicate that *M. polymorpha* extracts possess strong electron-donating capacity.



In the DPPH assay, the highest radical scavenging activity was observed in the ethyl acetate extract of *M. polymorpha* (77.73%), followed by MPM (76.75%), the methanol extract of *P. porelloides* (73.74%), and the butanol extract of *M. polymorpha* (71.43%). The consistently high activities of MPM, MPEA, and MPB in both FRAP and DPPH assays indicate that these extracts may be promising sources of natural antioxidant compounds.



When phenolic and flavonoid contents were evaluated together with antioxidant activity, high phenolic or flavonoid levels did not always directly correspond to the highest antioxidant capacity. This suggests that antioxidant activity may also depend on the chemical structure, concentration, and possible synergistic interactions of different secondary metabolites.

- **Antimicrobial Activity**

The antimicrobial activity results showed that *C. conicum* extracts generally exhibited low activity, although the ethyl acetate extract showed limited effects against *Staphylococcus aureus* and *Candida albicans*. Among the *M. polymorpha* extracts, the ethyl acetate and methanol extracts showed activity against *S. aureus*, while the ethyl acetate extract also exhibited activity against *C. albicans*.

For *P. porelloides*, the butanol and ethyl acetate extracts showed activity against *Pseudomonas aeruginosa*, while the ethyl acetate and methanol extracts exhibited antimicrobial effects against *S. aureus*. Overall, the butanol extract of *P. porelloides* was particularly notable in terms of antimicrobial activity.

Plant	**Solvent**	**Cont.**	***P.aeruginosa***	***S.aureus***	***C.albicans***
Conocephalum conicum	Butanol	27.07 mg/ml	7.7 mm	8.0 mm	7.3 mm
	Ethyl acetate	18.25 mg/ml	6.0 mm	7.0 mm	7.3 mm
	Hexane	3.43 mg/ml	6.0 mm	6.0 mm	6.0 mm
	Methanol	9 mg/ml	6.0 mm	6.0 mm	6.0 mm
Marchantia polymorpha	Butanol	25.4 mg/ml	8.0 mm	8.3 mm	8.0 mm

	Ethyl acetate	29.33 mg/ml	6.0 mm	8.0 mm	7.7 mm
	Hexane	11.125 mg/ml	6.0 mm	6.0 mm	6.0 mm
	Methanol	31.81 mg/ml	6.0 mm	9.3 mm	6.0 mm
Plagiochila porelloides	Butanol	51.20 mg/ml	9.0 mm	7.7 mm	7.3 mm
	Ethyl acetate	21.25 mg/ml	8.0 mm	8.0 mm	7.0 mm
	Hexane	19.29 mg/ml	6.0 mm	6.0 mm	6.0 mm
	Methanol	31.15 mg/ml	6.0 mm	7.0 mm	6.0 mm
	Tetracycline	10 µg	9 mm	24 mm	6.0 mm

4. CONCLUSIONS

Overall, the findings demonstrated that the phytochemical contents and biological activities of *M. polymorpha*, *C. conicum*, and *P. porelloides* varied considerably depending on both the species and extraction solvent. The methanol, ethyl acetate, and butanol extracts of *M. polymorpha* were particularly prominent in terms of antioxidant activity, while the hexane extract of *C. conicum* showed the highest phenolic content. The ethyl acetate extract of *P. porelloides* and the methanol extract of *C. conicum* were notable for their high flavonoid contents. In terms of antimicrobial activity, selected extracts of *P. porelloides* and *M. polymorpha* showed the most promising effects. These findings suggest that the investigated liverwort species may represent potential sources of natural antioxidant and antimicrobial compounds.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was financially supported by the Scientific Research Projects Coordinatorship of Artvin Coruh University (Project No: 2024.TAB.F86.02.02). The authors gratefully acknowledge this support.

REFERENCES

Kim SY, Hong M, Kim TH, Lee KY, Park SJ, Hong SH, Kim S. (2021). Anti-inflammatory effect of liverwort (Marchantia polymorpha L.) and racomitrium moss (Racomitrium canescens (Hedw.) Brid.) growing in Korea. Plants, 10(10), 2075.

Celik G, Sahin H, Baltaş N, Batan N, Alpay Karaoğlu Ş, Yaylı, N. (2023). Chemical analysis and biological activity of the essential oils and extracts of two liverwort species growing in Turkey. Botanica Serbica , vol.47, no.1, 31-40.

Simsek O, Canli K, Benek A, Turu D, Altuner EM. (2023). Biochemical, Antioxidant Properties and Antimicrobial Activity of Epiphytic Leafy Liverwort Frullania dilatata (L.) Dumort. Plants, 12(9), 1877.

Damsholt, K. (2002). Illustrated Flora of Nordic Liverworts and Hornworts. Nordic Bryological Society, Lund.
Paton, J. A. (1999). The Liverwort Flora of the British Isles. Harley Books, Colchester.
Frey, W., Frahm, J. P., Fischer, E., & Lobin, W. (2006). The Liverworts, Mosses and Ferns of Europe. Harley Books.
Slinkard K, Singleton VL. 1977. Total Phenol Analysis: Automation and Comparison with Manual Methods. American Journal of Enology and Viticulture 28: 49- 55.
Moreno MI, Isla MI, Sampietro AR, Vattuone MA. 2000. Comparison of the Free Radical-Scavenging Activity of Propolis from Several Regions of Argentina. Journal of Ethnopharmacology 71(1-2): 109-114.
Yu L, Haley S, Perret J, Harris M, Wilson J, Qıan M. 2002. Free Radical Scavenging Properties of Wheat Extracts. Journal Agricultural and Food Chemistry 50:1619-1624.
Canbolat D., Turan İ, Küpeli YE, Kılınç S, Piliç S. 2021. Artvin Şavşat yöresi propolisinin farklı sıcaklıklardaki PBS'li ekstraktlarının antioksidan özelliklerinin ve eritrosit hemoliz inhibisyonu üzerine etkisinin araştırılması. Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi Tarım ve Doğa Dergisi, 24(3), 464-472.
Oyaizu M 1986. Studies on Product of Browning Reaction Prepared from Glucose Amine. Japanese Journal of Nutrition 44: 307-315.
Hussein-Al-Ali SH, El Zowalaty ME, Kura AU, Geilich B, Fakurazi S, Webster TJ, Hussein, M Z. (2014). Antimicrobial and controlled release studies of a novel nystatin conjugated iron oxide nanocomposite. BioMed research international, 2014(1), 651831.
Magaldi S, Mata-Essayag S, De Capriles CH, Pérez C, Colella MT, Olaizola C, Ontiveros Y. (2004). Well diffusion for antifungal susceptibility testing. International journal of infectious diseases, 8(1), 39-45.
Valgas C, Souza SMD, Smânia EF, Smânia Jr A. (2007). Screening methods to determine antibacterial activity of natural products. Brazilian journal of microbiology, 38(2), 369-380.

MADEN GALERİ SULARINA MARUZ KALAN ASMA YAPRAKLARINDA BİZMUT VE URANYUMUN ARAŞTIRILMASI

Murat TOPAL
Munzur Üniversitesi, Tunceli Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü 62000, Tunceli, Türkiye
ORCID: 0000-0003-0222-5409
Emine Işıl ARSLAN TOPAL
Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 23000 Elazığ, Türkiye
ORCID: 0000-0003-0309-7787
Erdal ÖBEK
Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü,23000 Elazığ, Türkiye
ORCID: 0000-0002-4595-572X
Erdal ÇELİK
İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 34437 İstanbul, Türkiye
Bingöl Üniversitesi Rektörü, 12000 Bingöl, Türkiye
TeknoHAB Teknoloji Geliştirme Bölgesi, 06980 Ankara, Türkiye
ORCID: 0000-0002-5922-5488

ÖZET

Asma; başta sofralık üzüm, kuru üzüm ve meyve suyu üretimi vb. olmak üzere, doksanı aşkın ülkede yetiştirilen, ekonomik açıdan önemli bir üründür. Ayrıca, asma, geniş yetiştirme alanı, çeşitli kullanım alanları ve yüksek besin ve ekonomik değeri sayesinde bahçecilik sektöründe baskın bir konuma sahiptir. Bu çalışmada maden galeri sularına maruz kalan asmalarda bizmut (Bi) ve uranyum (U) elementleri araştırılmış ve konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu çerçevede, maden sahası alanı içerisinde farklı örnekleme noktalarından asma yaprakları toplanmış ve analiz edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, en yüksek Bi konsantrasyonu 1, 5 ve 9. örnekleme noktalarından alınan asma yapraklarında 0,07 mg/kg olarak tespit edilmiştir. En düşük Bi konsantrasyonu ise 2. örnekleme noktasından alınan asma yapraklarında 0,03±0,01 mg/kg olarak tespit edilmiştir. On farklı örnekleme noktasından alınan asma yapraklarında Bi konsantrasyonları çok fazla değişiklik göstermemiştir. Diğer bir element olan uranyum asma yapraklarında incelendiğinde, en yüksek U konsantrasyonu 1ve 9. örnekleme noktalarında 0,46 mg/kg olarak belirlenirken, en düşük U konsantrasyonu 6. örnekleme noktasında 0,37±0,03 mg/kg olarak belirlenmiştir. Tüm örnekleme noktalarında U konsantrasyonlarının Bi konsantrasyonlarından yüksek olduğu görülmüştür. Asma yapraklarında tespit edilen Bi ve U konsantrasyonları referans bitki değerleriyle mukayese edilmiştir. Asma yapraklarında tespit edilen en yüksek Bi konsantrasyonları (0,07 mg/kg) referans bitki değerinden (0,01 mg/kg) 7 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Asma yapraklarında tespit edilen en yüksek U konsantrasyonu (0,46 mg/kg) referans bitki değerinden (0,01 mg/kg) 46 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak hem Bi hem de U konsantrasyonlarının referans bitki

değerinden oldukça yüksek çıkması asma yapraklarının maden sularından etkilendiğini ve asma yapraklarında bu elementlerin birikim yaptığını gösterebilir.

Anahtar Kelimeler: Birikim, bizmut, maden, üzüm, uranyum

INVESTIGATION OF BISMUTH AND URANIUM IN GRAPEVINE LEAVES EXPOSED TO MINE GALLERY WATERS

ABSTRACT

The grapevine is an economically significant crop cultivated in over ninety countries, primarily for the production of table grapes, raisins, and fruit juice. Furthermore, it holds a dominant position in the horticulture sector due to its extensive cultivation area, diverse applications, and high nutritional and economic value. In this study, the elements bismuth (Bi) and uranium (U) were investigated in grapevines exposed to mine gallery waters, and their concentrations were determined. Within this scope, grapevine leaves were collected from various sampling points within the mining area and analyzed. According to the analysis results, the highest Bi concentration (0.07 mg/kg) was detected in leaves from sampling points 1, 5, and 9, while the lowest (0.03 ± 0.01 mg/kg) was found in leaves from sampling point 2. Bi concentrations did not vary significantly across the ten different sampling points. Regarding U, the highest concentration (0.46 mg/kg) was determined at sampling points 1 and 9, and the lowest (0.37 ± 0.03 mg/kg) at sampling point 6. U concentrations were found to be higher than Bi concentrations at all sampling points. The Bi and U concentrations detected in the grapevine leaves were compared with reference plant values; the highest Bi concentration (0.07 mg/kg) was found to be seven times higher than the reference plant value (0.01 mg/kg). It was determined that the highest U concentration detected in grapevine leaves (0.46 mg/kg) was 46 times higher than the reference plant value (0.01 mg/kg). Consequently, the fact that both Bi and U concentrations were significantly higher than the reference plant value suggests that the grapevine leaves are affected by mine waters and that these elements accumulate within the leaves.

Keywords: Accumulation, bismuth, mine, grape, uranium

1. GİRİŞ

Asma; başta sofralık üzüm, kuru üzüm ve meyve suyu üretimi vb. olmak üzere, doksanı aşkın ülkede yetiştirilen, ekonomik açıdan önemli bir üründür (Atak, 2025; Shahbaz vd., 2026). Ayrıca, asma, geniş yetiştirme alanı, çeşitli kullanım alanları ve yüksek besin ve ekonomik değeri sayesinde bahçecilik sektöründe baskın bir konuma sahiptir (Zhang vd., 2026). Asma bitkisi; odunsu tırmanıcı bir bitkidir. Mayıs ve Haziran aylarında çiçek açar. Ülkemizin tamamında görülür. Bitkinin floral bölgesi Orta Asya olmakla birlikte günümüzde tüm dünyada

yayılış göstermektedir (Gürbüz, 2020). Dünyada ekvatorun kuzeyinde 30-50º, güneyindeyse 30-40º enlem dereceleri (Köse, 2014; Ünal ve Sezgin, 2022) arasındaki alanlarda, oldukça elverişli ekolojik şartlar nedeni ile büyük bir çeşit zenginliği göstermektedir (Ünal ve Sezgin, 2022). Asmanın ticari olarak meyvesi olan üzümün yanında yaprağı da ekonomik olarak dikkati çekmektedir. Bu nedenle, asma yapraklarının hem taze hem de salamura şeklinde iç tüketimi ve ihracatı son yıllarda artmıştır (Çoban, 2023). Esasen fotosentez, terleme ve solunumun merkezi olan asma yaprağı, gıda değeri bakımından çok önemli bir bitkidir (Ünal ve Sezgin, 2022). Bu nedenle, asmaların element içeriğinin ve konsantrasyonlarının belirlenmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında asmalarda tespit edilen bizmut (Bi) ve Uranyum (U) elementleri hakkında genel bilgiler kısaca özetlenmiştir.

Bizmut (Bi), tıbbi özellikleri nedeniyle antik çağlardan beri bilinmektedir. "Bizmut" adı, Almancada "beyaz kütle" anlamına gelen ve artık kullanılmayan "wismuth" kelimesinden türetilmiştir. Keşfedilen ilk 10 metalden biri olmasına rağmen, antik çağlarda benzer görünümü nedeniyle sıklıkla kalay veya kurşun ile karıştırılmıştır. Bu metalin, fiziksel ve kimyasal nitelikleri sayesinde son yıllarda birçok endüstriyel uygulamadaki kullanımı önemli ölçüde artmıştır. Diğer metallere kıyasla daha az toksik kabul edilen Bi, "yeşil metal" olarak tanımlanmış ve birçok endüstriyel süreçte kurşunun yerini alabilecek bir alternatif olarak önerilmiştir (Zacchini, 2024). Bizmut; farmasötik ürünlerde, kozmetiklerde, düşük erime noktalı alaşımlarda ve elektronik lehimlerde kurşun ikamesi olarak kullanılmaktadır (Luo vd., 2026). Bunun yanısıra, bizmutun insanlar üzerinde osteoartropati, diş eti iltihabı (jinjivit), stomatit, kolit, nefrotoksisite ve ensefalopati gibi toksik etkilere yol açtığı da bildirilmiştir (Zacchini, 2024). Karasal damarlı bitkilerde, arka plan Bi seviyesinin 20 µg kg^{-1}'den az olduğu bildirilmiştir (Kabata-Pendias, 2001).

Son yıllarda fosfatlı gübre kullanımı, nükleer endüstri ve askeri çatışmalar nedeniyle çevredeki uranyum (U) konsantrasyonu ciddi şekilde artmıştır. Uranyum ve bileşikleri, yüksek kimyasal toksisite ve radyo-toksisiteye sahip olup toprak ekosistemleri ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere yol açmaktadır. Uranyuma uzun süreli maruz kalmak; hipertansiyon, kalp-damar hastalıkları, böbrek hasarı ve akciğer kanseri gibi ciddi hastalıkların riskini artırmaktadır (Hu vd., 2025).

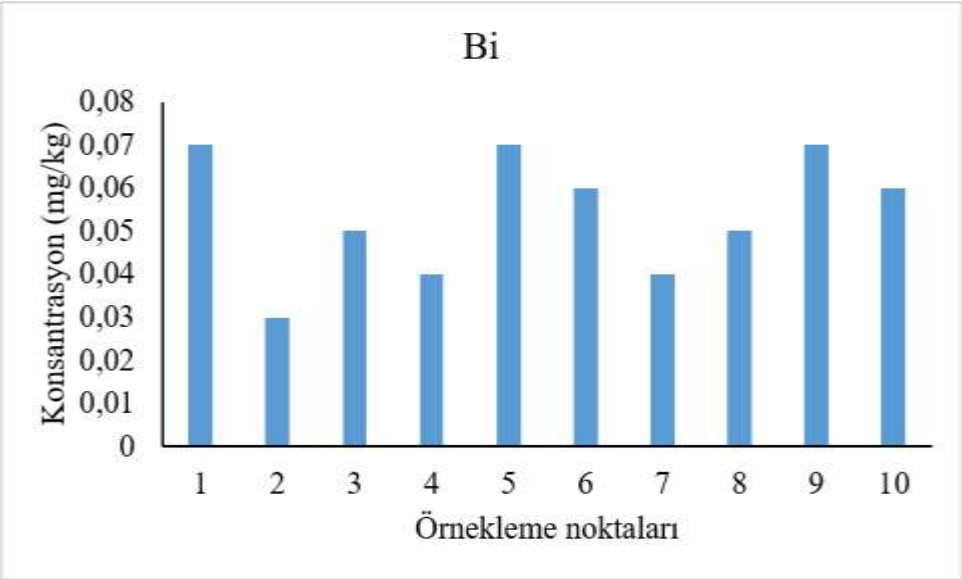
Bu çerçevede, bu çalışmada maden galeri sularına maruz kalan asmalarda bizmut (Bi) ve uranyum (U) elementleri araştırılmış ve konsantrasyonları belirlenmiştir. Ayrıca tespit edilen element konsantrasyonları Markert (1992) tarafından verilen referans bitki değerleri ile mukayese edilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada çalışma alanı olarak Elazığ ili Keban ilçesinde bulunan bir terkedilmiş maden galerisinden çıkan sularının ulaştığı alan seçilmiştir. Çalışma kapsamında materyal olarak kullanılan asma örnekleri terkedilmiş maden galeri sularının ulaştığı alanın 10 farklı noktasından toplanmış ve analiz için hazırlanmıştır. Hazırlanan asma örnekleri akredite olan bir laboratuvara gönderilmiş ve ICP-MS cihazı ile Bi ve U konsantrasyonları tespit edilmiştir.

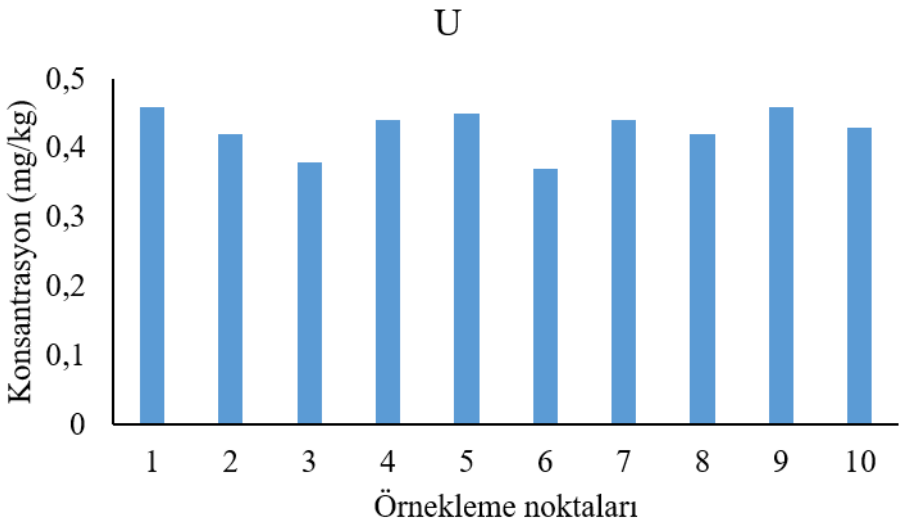
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Terkedilmiş maden galeri sularına maruz kalan asmalarda tespit edilen Bi konsantrasyonları Şekil 1'de verilmiştir.



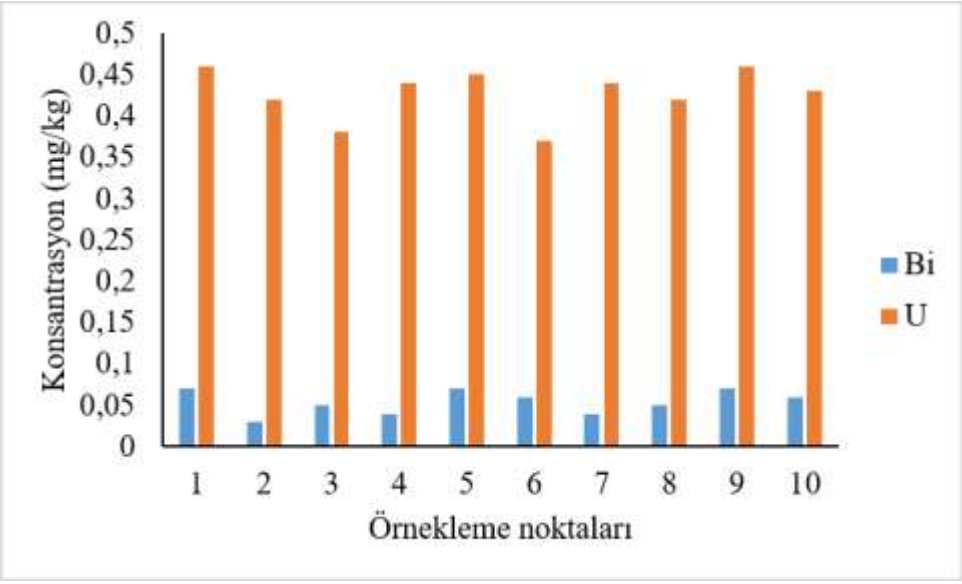
Şekil 1. Örnekleme noktalarına göre asmada tespit edilen Bi konsantrasyonları

Şekil 1'e göre, en yüksek Bi konsantrasyonu 1, 5 ve 9. örnekleme noktalarından alınan asma yapraklarında 0,07 mg/kg olarak tespit edilmiştir. En düşük Bi konsantrasyonu ise 2. örnekleme noktasından alınan asma yapraklarında 0,03±0,01 mg/kg olarak tespit edilmiştir. On farklı örnekleme noktasından alınan asma yapraklarında Bi konsantrasyonları çok fazla değişiklik göstermemiştir. Örnekleme noktalarından alınan asmalarda Bi konsantrasyonları büyükten küçüğe doğru 1 = 5 = 9 > 6 = 10 > 3 = 8 > 4= 7 > 2 şeklinde sıralanmıştır. Terkedilmiş maden galeri sularına maruz kalan asmalarda tespit edilen U konsantrasyonları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Örnekleme noktalarına göre asmada tespit edilen U konsantrasyonları

Diğer bir element olan uranyum asma yapraklarında incelendiğinde, en yüksek U konsantrasyonu 1. ve 9. örnekleme noktalarında 0,46 mg/kg olarak belirlenirken, en düşük U konsantrasyonu 6. örnekleme noktasında 0,37±0,03 mg/kg olarak belirlenmiştir (Şekil 2). Asmada tespit edilen U konsantrasyonlarının örnekleme noktalarına göre miktarlarında çok fazla değişiklik olmadığı belirlenmiştir. Örnekleme noktalarından toplanan asmada U konsantrasyonları büyükten küçüğe doğru 1 = 9 > 5 > 4 = 7 >10 > 2 = 8 > 3 > 6 şeklinde sıralanmıştır. Terkedilmiş maden galeri sularına maruz kalan asmalarda tespit edilen Bi ve U konsantrasyonları karşılaştırılmış ve elde edilen grafik Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Asmada tespit edilen Mo ve Sr konsantrasyonlarının karşılaştırılması

Şekil 3 incelendiğinde farklı örnekleme noktalarından toplanan asmalarda tüm örnekleme noktaları için U konsantrasyonlarının Bi konsantrasyonlarından oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni, domatesin yetiştiği alandaki topraklarda U konsantrasyonlarının fazla olmasından dolayı asmanın kökler vasıtasıyla uranyumu bünyesinde biriktirmesinden kaynaklanabilir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında Bi ve U elementleri maden galeri çıkış sularına maruz kalan asmalarda tespit edilmiştir. Bu çerçevede, farklı örnekleme noktalarından toplanan asmalarda Bi ve U konsantrasyonları belirlenmiştir. Asmalarda tespit edilen Bi ve U konsantrasyonları Markert (1992) tarafından verilen referans bitki değerleriyle mukayese edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, asma yapraklarında tespit edilen en yüksek Bi konsantrasyonları (0,07 mg/kg) referans bitki değerinden (0,01 mg/kg) 7 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Asma yapraklarında tespit edilen en yüksek U konsantrasyonu (0,46 mg/kg) referans bitki değerinden (0,01 mg/kg) 46 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak hem Bi hem de U konsantrasyonlarının referans bitki değerinden oldukça yüksek çıkması asma yapraklarının maden sularından etkilendiğini ve asma yapraklarında bu elementlerin birikim yaptığını gösterebilir.

KAYNAKLAR

Atak, A. (2024). Vitis species for stress tolerance/resistance. *Genetic Resources and Crop Evolution*. https://doi.org/10.1007/s10722-024-02106-z

Çoban, H. (2023). Sultani Çekirdeksiz Üzüm Çeşidinde Farklı Dönemlerde Toplanan Salamura Amaçlı Yaprakların Bazı Fiziksel ve Kimyasal Özelliklerinin Belirlenmesi. COMU Ziraat Fakultesi Dergisi, 11(1), 206–211. https://doi.org/10.33202/comuagri.1281438

Gürbüz-, M. (2020). Ortaçağ anadolu coğrafyasinda Asma (Vitis vinifera L.) bitkisinin kullanimi -ilk türkçe tip kitaplarina göre-. *The Journal of Social Sciences*, 44(44), 33–44. https://doi.org/10.29228/sobider.40623

Hu, N., Yang, Z., Lv, W., Zhang, D., Liu, S., Yang, D., Chen, P., Zhu, K., Xiao, F., Su, W., Jiang, Y., Zhao, W., Wang, X., Ding, D., & Yu, H. (2025). Synergistic effect of oxalic acid and siderophore on uranium fractions and microbial community traits in rhizosphere soil enhances uranium accumulation in plant roots. *The Science of the Total Environment*, *1000*(180416), 180416. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180416

Kabata-Pendias, A. (2000). *Trace elements in soils and plants, third edition* (3rd ed.). https://doi.org/10.1201/9781420039900

Köse, B. (2014). Işık ve Sıcaklığın Bağcılıktaki Yeri ve Önemi. Türkiye Tarımsal Araştırmalar Dergisi, 1(2), 203. https://doi.org/10.19159/tutad.47151

Luo, D., Lopez, J., & Cortina, J. L. (2026). Integrated circular process for selective antimony and bismuth recovery and in-situ acid/base regeneration by using electrodialysis bipolar membranes from copper electrorefining effluents. *Separation and Purification Technology*, *411*(139472), 139472. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2026.139472

Markert, B. (1992). Establishing of Reference Plant for Inorganic Characterization of Different Plant Species By Chemical Fingerprinting. Water, Air and Soil Pollution, 64, 533–538.

Shahbaz, U., Videau, P., Unterholzner, S. J., Zanocco, A., Piazza, S., Sonego, P., Ammanniti, S., Bianchedi, P. L., Masuero, D., Pindo, M., Malnoy, M., Fiorani, F., Zekri, O., Faralli, M., & Costa, L. D. (2026). Beyond stomata: a novel role of EPFL9-2 in regulating root system architecture and

hydraulics in grapevine. *Plant Physiology and Biochemistry*, (111732), 111732. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2026.111732

Ünal, M. S., & Sezgin, H. (2022). Asmalarda Yaprak Alma Sıklığının Sürgün Büyümesi, Verim ve Bazı Kalite Değerleri Üzerine Etkisi. Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 12(1), 43–51. https://doi.org/10.54370/ordubtd.1081237 (Original work published as The Effect of Leaf Picking Frequency on Shoot Growth, Yield and Some Quality Values in Vines)

Zacchini, M. (2024). Bismuth interaction with plants: Uptake and transport, toxic effects, tolerance mechanisms - A review. *Chemosphere*, *360*(142414), 142414. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2024.142414

Zhang, X., Du, Y., Zhou, X., Wu, G., Zhou, S., Lin, H., Jiang, C., & Guo, Y. (2026). VlNAC29 confers resistance to white rot in grapevine via integrating SA and redox signaling. *Plant Science: An International Journal of Experimental Plant Biology*, *372*(113376), 113376. https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2026.113376

KENTSEL ATIKSU ARITMA TESİSİ ÇIKIŞ SULARI İLE KİRLENMİŞ ALANDA YETİŞEN DOMATESLERDE MOLİBDEN VE STRONSİYUMUN ARAŞTIRILMASI

Murat TOPAL
Munzur Üniversitesi, Tunceli Meslek Yüksekokulu, Makine ve Metal Teknolojileri Bölümü 62000, Tunceli, Türkiye
ORCID: 0000-0003-0222-5409
Emine Işıl ARSLAN TOPAL
Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, 23000 Elazığ, Türkiye
ORCID: 0000-0003-0309-7787
Erdal ÖBEK
Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Biyomühendislik Bölümü,23000 Elazığ, Türkiye
ORCID: 0000-0002-4595-572X
Erdal ÇELİK
İstanbul Teknik Üniversitesi, Makine Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, 34437 İstanbul, Türkiye
Bingöl Üniversitesi Rektörü, 12000 Bingöl, Türkiye
TeknoHAB Teknoloji Geliştirme Bölgesi, 06980 Ankara, Türkiye
ORCID: 0000-0002-5922-5488

ÖZET

Domates; taze, dondurulmuş, kurutulmuş, konserve, salça, ketçap ve turşu gibi çeşitli formlarda tüketilebilen önemli bir sebzedir. Domates, dünya genelinde en fazla üretilen, tüketilen ve ticareti yapılan sebze türü olma özelliğini taşımaktadır. Domates yetiştiriciliğinde kullanılan suyun içermiş olduğu elementler domates gelişiminde oldukça önemlidir. Bu çalışmada kentsel atıksu arıtma tesisi çıkış suları ile kirlenmiş alanda yetişen domateslerde molibden (Mo) ve stronsiyum (Sr) elementleri araştırılmış ve konsantrasyonları belirlenmiştir. Bu çerçevede, atıksuyla kirlenmiş alandaki farklı örnekleme noktalarından domates örnekleri toplanmış ve analiz edilmiştir. Elde edilen analiz sonuçlarına göre, en yüksek Mo konsantrasyonu 2. örnekleme noktasından alınan domates örneğinde 0,82±0,02 mg/kg olarak tespit edilirken en düşük Mo konsantrasyonu 4. örnekleme noktasından alınan domates örneğinde 0,69±0,04 mg/kg olarak tespit edilmiştir. 1. örnekleme noktasında Mo konsantrasyonu, 0,73±0,03 mg/kg olarak belirlenmiştir. 3. örnekleme noktasında ise Mo konsantrasyonu 0,75±0,02 mg/kg olarak belirlenmiştir. Dört farklı örnekleme noktasından alınan domates örneklerinde Mo konsantrasyonunun çok fazla değişmediği belirlenmiştir. Domates örneklerindeki Sr konsantrasyonları incelendiğinde, en yüksek Sr konsantrasyonu 2. örnekleme noktasında 9,2±0,26 mg/kg olarak belirlenirken, en düşük Sr konsantrasyonu 4. örnekleme noktasında 8,4±0,26 mg/kg olarak belirlenmiştir. 1. örnekleme noktasındaki domates örneklerinde Sr konsantrasyonu 8,8±0,53 mg/kg olarak, 3. örnekleme noktasında ise Sr konsantrasyonu 8,9±0,10 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Tüm örnekleme noktalarında Sr konsantrasyonlarının Mo konsantrasyonlarından yüksek olduğu görülmüştür. Domateste tespit

edilen Mo ve Sr konsantrasyonları referans bitki değerleriyle mukayese edilmiştir. Domateste tespit edilen en yüksek Mo konsantrasyonunun (0,82±0,02 mg/kg) referans bitki değerinden 1,64 kat daha yüksek olduğu, Sr konsantrasyonu açısından ise referans bitkide verilen değerden daha düşük olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, Mo değerinin referans bitki değerinden yüksek çıkması kentsel atıksu arıtma tesisi çıkış suları ile kirletilmiş alanda molibdenin toprakta birikim yaptığını ve domates tarafından akümüle edildiğini gösterebilir.

Anahtar Kelimeler: Atıksu, domates, element, kirlilik, molibden

INVESTIGATION OF MOLYBDENUM AND STRONTIUM IN TOMATOES GROWN IN AN AREA CONTAMINATED BY MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT PLANT EFFLUENT

ABSTRACT

The tomato is an important vegetable that can be consumed in various forms, such as fresh, frozen, dried, canned, paste, ketchup, and pickles. It holds the distinction of being the most widely produced, consumed, and traded vegetable species globally. The elements present in the water used for tomato cultivation play a crucial role in the plant's development. In this study, molybdenum (Mo) and strontium (Sr) elements in tomatoes grown in an area contaminated by the effluent of a municipal wastewater treatment plant were investigated and their concentrations were determined. To this end, tomato samples were collected from various points within the contaminated area and analyzed. The results indicated that the highest Mo concentration was 0.82 ± 0.02 mg/kg (in the sample from sampling point 2), while the lowest was 0.69 ± 0.04 mg/kg (in the sample from sampling point 4). The Mo concentration was determined to be 0.73 ± 0.03 mg/kg at sampling point 1 and 0.75 ± 0.02 mg/kg at sampling point 3. It was observed that the Mo concentration did not vary significantly across the samples taken from the four different sampling points. Regarding Sr concentrations, the highest level was found to be 9.2 ± 0.26 mg/kg at sampling point 2, and the lowest was 8.4 ± 0.26 mg/kg at sampling point 4. The Sr concentration in tomato samples from sampling point 1 was determined to be 8.8 ± 0.53 mg/kg, while at sampling point 3, it was 8.9 ± 0.10 mg/kg. It was observed that Sr concentrations exceeded Mo concentrations at all sampling points. The Mo and Sr concentrations detected in the tomatoes were compared with reference plant values. It was determined that the highest Mo concentration detected in the tomatoes (0.82 ± 0.02 mg/kg) was 1.64 times higher than the reference plant value, whereas the Sr concentration was lower than the value cited for the reference plant. Consequently, the fact that the Mo level exceeded the reference plant value may indicate that molybdenum is accumulating in the soil—and

subsequently in the tomatoes—in an area contaminated by the effluent from a municipal wastewater treatment plant.

Keywords: Wastewater, tomato, element, pollution, molybdenum

1. GİRİŞ

Domates; taze, dondurulmuş, kurutulmuş, konserve, salça, ketçap ve turşu gibi çeşitli formlarda tüketilebilen önemli bir sebzedir. Domates, dünya genelinde en fazla üretilen, tüketilen ve ticareti yapılan sebze türü olma özelliğini taşımaktadır. Gıda ve Tarım Örgütü (FAO) (2024) verilerine göre, 2023 yılında 192 milyon tonluk hasat miktarı ile domates, küresel ölçekte en çok üretilen sebze olmuştur. Türkiye, yıllık yaklaşık 13,3 milyon tonluk üretimiyle Çin ve Hindistan'ın ardından dünyanın en büyük üçüncü domates üreticisi konumundadır (Azizoglu vd., 2026). Domates; yüksek su içeriği (93,9 g/100 g), düşük protein (0,9 g/100 g) ve düşük lipid (0,1 g/100 g) içeriğine sahiptir. Karbonhidrat içeriği ise yaklaşık 3,5 g/100 g'dır. Ayrıca, domates; C vitamini (19 mg), E vitamini (0,89 mg) ve potasyum (236 mg) bakımından önemli bir kaynaktır. Bu besin öğelerine ek olarak domates; karotenoidler (likopen, α- ve β-karoten) ve fenolik bileşikler gibi diğer biyoaktif bileşikler açısından da zengindir. Söz konusu bileşikler; antioksidan ve antikanserojen özelliklerinin yanı sıra kardiyovasküler hastalıkları önlemedeki rolleriyle de bilinmektedir (Martínez vd., 2027). Çalışmamızda domateste tespit edilen molibden (Mo) ve stronsiyum (Sr) hakkında genel bilgiler aşağıda verilmiştir.

Molibden (Mo), 1778 yılında İsveçli kimyager Karl Scheele tarafından keşfedilen bir eser elementtir. Bu element adını Yunanca "kurşun benzeri" anlamına gelen "molybdos" sözcüğünden almıştır (Novotny, 2011). Molibden başta paslanmaz çelik, dökme demir, süper alaşımlar ve gübre üretimi vb. gibi alanlarda kullanılmaktadır. Metalurjik işlemler, kömür ve petrol yakımı, fosfatlı deterjanların deşarjı ve fosfatlı gübreler yoluyla da çevreye dağılmaktadır (McGrath vd., 2010).

Molibdenin bitki yaşamı için gerekli olduğu bilinmektedir (Novotny, 2011). Molibden, bitkinin doğrudan fotosentez yapan pigmenti olan klorofil molekülünün biyosentezinde önemli rol oynar. Bitkilerde Mo eksikliği, bitkinin büyüme ve verimini olumsuz etkiler ve yapraklarda sararmaya yol açabilir (Vultaggio vd., 2024). İnsan sağlığı açısından diğer mikro besin maddelerine kıyasla daha az ilgi gören ve insanlarda ciddi bir eksiklik ya da toksisite sorununa nadiren yol açan molibden, gümüşümsü bir metal olup insan beslenmesinin vazgeçilmez bir parçasıdır. Vücudun çok çeşitli düzeylerdeki molibden alımına uyum sağlama konusundaki üstün yeteneği, yüksek veya düşük molibden alımının sağlık üzerinde asgari düzeyde etki

yaratmasının nedeni olabilir. Bununla birlikte, yıllar süren araştırmalar, molibdenin son derece önemli birçok enzim için gerekli bir kofaktörün parçası olarak çok ilginç bir kimyasal yapı sergilediğini ve molibden olmaksızın yaşamın sürdürülemeyeceğini ortaya koymuştur (Novotny, 2011).

Stronsiyum (Sr); kömür, petrol, kaya, toprak ve tozda bulunabilen doğal bir madde olarak kabul edilen zararlı maddelerden birisidir. Stronsiyum bileşikleri çeşitli alanlarda önemli bir role sahiptir ve cam ve seramik üretimi, piroteknik, boya pigmentleri, floresan aydınlatma ve ilaç sanayii gibi birçok endüstride kullanılmaktadır. Boya, tuğla, televizyon lensleri ve diğer cam türlerindeki kullanımının yanı sıra, stronsiyum enerji depolama ve elektrolitik çinko üretiminde de rol oynamaktadır. Stronsiyum insan vücudunda dişler ve kemikler gibi çeşitli bölgelerde yer alır. Biyolojik süreçler için hayati önem taşısada, aşırı miktarları çeşitli fizyolojik sorunlara yol açar. İnsanlar üzerindeki etkilerinden biri, çeşitli stronsiyum oksitleri, hidroksitleri ve karbonatlarının neden olduğu şiddetli cilt ve göz tahrişidir. Stronsiyum havada toz halinde de bulunur ve nihayetinde hem karaya hem de okyanuslara yayılır. Ayrıca, stronsiyum içeren çeşitli bileşikler suda çözünür. Toprak kökenli bazı stronsiyum bileşikleri suda çözünüp toprağın daha derinlerine inebilir ve sonunda yeraltı sularına ulaşabilir (Nasser vd., 2024) Stronsiyum eser miktarlarda bitkiler için yararlı element olmakla beraber; stronsiyumun yüksek seviyeleri toksik etkiye yol açabilir. Sr toksisitesi temel besin maddelerinin alımını engelleyebilir, enzim faaliyetlerini aksatabilir ve bitki sağlığını genel olarak olumsuz etkileyebilir (Miletić vd., 2024).

Bu çerçevede, bu çalışmada kentsel atıksu arıtma tesisi çıkış suları ile kirlenmiş alanda yetişen domateslerde molibden (Mo) ve stronsiyum (Sr) elementleri araştırılmış ve konsantrasyonları belirlenmiştir. Ayrıca, Markert (1992) tarafından verilen referans bitki değerleri ile mukayese edilmiştir.

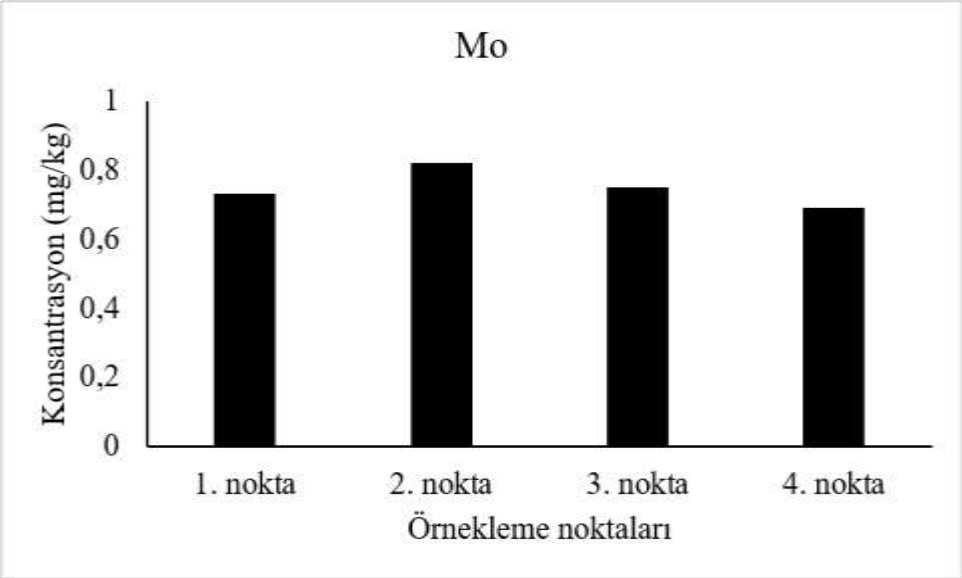
2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada çalışma alanı olarak Elazığ ilinde bulunan kentsel atıksu arıtma tesisinin (AAT) çıkış sularının deşarj edildiği alan seçilmiştir. Elazığ kentsel AAT, Elazığ-Bingöl karayolunun 17. kilometresinde yer almaktadır. Arıtma tesisi; ön arıtma, biyolojik arıtma ve çamur bertarafı olmak üzere üç temel mekanizma ile işletilmektedir. Atık su arıtma tesisinde arıtılan atık sular Kehli Deresi'ne deşarj edilmekte ve Keban Baraj Gölü'ne ulaşmaktadır (Arslan Topal vd., 2024). Çalışma kapsamında materyal olarak kullanılan domates örnekleri kentsel atıksu arıtma tesisi çıkış suları ile kirlenmiş alanın dört farklı noktasından toplanmış ve analiz için

hazırlanmıştır. Hazırlanan domates örnekleri akredite olan bir laboratuvara gönderilmiş ve ICP-MS cihazı ile Mo ve Sr konsantrasyonları tespit edilmiştir.

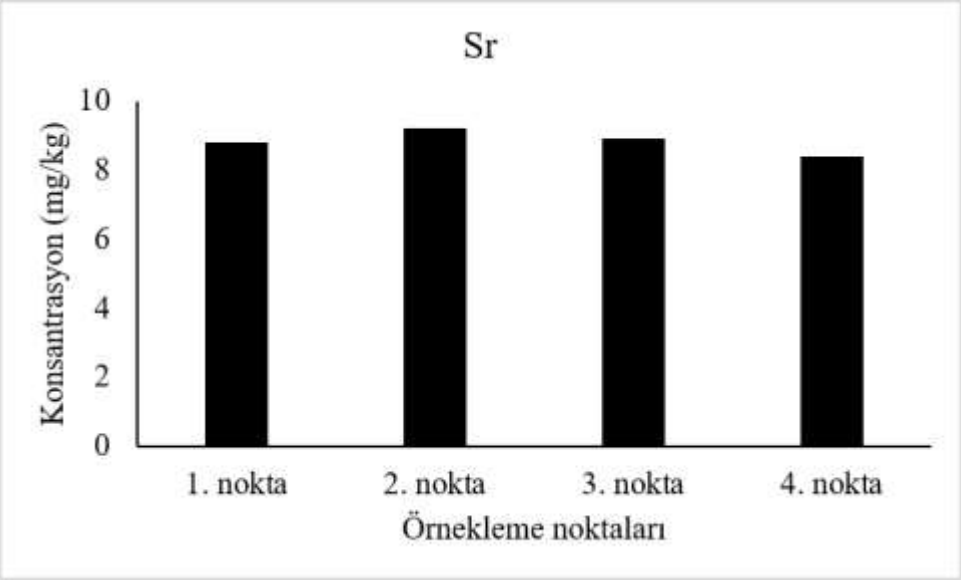
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Kentsel atıksu arıtma tesisi çıkış suları ile kirlenmiş alanda yetişen domateslerde tespit edilen Mo konsantrasyonları Şekil 1'de verilmiştir.



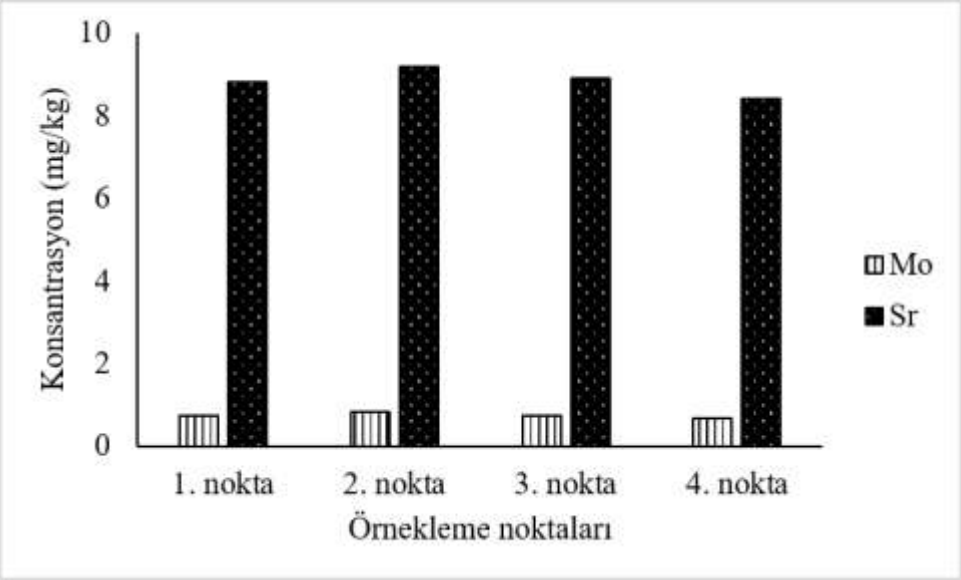
Şekil 1. Örnekleme noktalarına göre domateste tespit edilen Mo konsantrasyonları

Şekil 1'e göre, örnekleme noktalarında en yüksek Mo konsantrasyonu 2. örnekleme noktasından alınan domates örneğinde 0,82±0,02 mg/kg olarak tespit edilirken en düşük Mo konsantrasyonu 4. örnekleme noktasından alınan domates örneğinde 0,69±0,04 mg/kg olarak tespit edilmiştir. 1. örnekleme noktasında Mo konsantrasyonu, 0,73±0,03 mg/kg olarak belirlenmiştir. 3. örnekleme noktasında ise Mo konsantrasyonu 0,75±0,02 mg/kg olarak belirlenmiştir. Dört farklı örnekleme noktasından alınan domates örneklerinde Mo konsantrasyonunun çok fazla değişmediği belirlenmiştir. Örnekleme noktalarından alınan domateslerde Mo konsantrasyonları büyükten küçüğe doğru 2. nokta > 3. nokta > 1. nokta > 4. nokta şeklinde sıralanmıştır. Kentsel atıksu arıtma tesisi çıkış suları ile kirlenmiş alanda yetişen domateslerde tespit edilen Sr konsantrasyonları Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Örnekleme noktalarına göre domateste tespit edilen Sr konsantrasyonları

Şekil 2'ye göre, domateste Sr konsantrasyonları farklı örnekleme noktalarına göre incelendiğinde, en yüksek Sr konsantrasyonu 2. örnekleme noktasında 9,2±0,26 mg/kg olarak belirlenirken, en düşük Sr konsantrasyonu 4. örnekleme noktasında 8,4±0,26 mg/kg olarak belirlenmiştir. 1. örnekleme noktasındaki domates örneklerinde Sr konsantrasyonu 8,8±0,53 mg/kg olarak, 3. örnekleme noktasında ise Sr konsantrasyonu 8,9±0,10 mg/kg olarak tespit edilmiştir. Domateste tespit edilen Mo konsantrasyonlarında olduğu gibi Sr konsantrasyonlarının da çok fazla değişmediği tespit edildi. Örnekleme noktalarından alınan domateslerde Sr konsantrasyonları Mo konsantrasyonları gibi büyükten küçüğe doğru 2. nokta > 3. nokta > 1. nokta > 4. nokta şeklinde sıralanmıştır. Kentsel atıksu arıtma tesisi çıkış suları ile kirlenmiş alanda yetişen domateslerde tespit edilen Mo ve Sr konsantrasyonları karşılaştırılmış ve elde edilen grafik Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Domateste tespit edilen Mo ve Sr konsantrasyonlarının karşılaştırılması

Şekil 3 incelendiğinde farklı örnekleme noktalarından toplanan domateslerde tüm örnekleme noktaları için Sr konsantrasyonlarının Mo konsantrasyonlarından oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir. Bunun nedeni, domatesin yetiştiği alandaki topraklarda Sr konsantrasyonlarının fazla olmasından ve bitkinin stronsiyumdan ziyade molibdeni tercih etmesinden kaynaklanabilir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma kapsamında bitkiler için önemli olan Mo ve Sr elementleri kentsel atıksu arıtma tesisi çıkış suları ile kirletilmiş alanda yetişen domateslerde tespit edilmiştir. Bu çerçevede, kirletilmiş alanın farklı noktalarından toplanan domateste Mo ve Sr konsantrasyonları belirlenmiştir. Domateste tespit edilen Mo ve Sr konsantrasyonları Markert (1992) tarafından verilen referans bitki değerleriyle mukayese edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, domateste tespit edilen en yüksek Mo konsantrasyonunun (0,82±0,02 mg/kg) referans bitki değerinden 1,64 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Domateste tespit edilen Sr konsantrasyonlarının ise referans bitkide verilen Sr konsantrasyonundan daha düşük olduğu belirlenmiştir. Ayrıca tüm örnekleme noktalarında Sr konsantrasyonlarının Mo konsantrasyonlarından yüksek olduğu görülmüştür. Mo değerinin referans bitki değerinden yüksek çıkması kentsel atıksu arıtma tesisi çıkış suları ile kirletilmiş alanda molibdenin toprakta birikim yaptığını ve domates tarafından tercih edilecek bünyesine akümüle ettiğini gösterebilir. Bu nedenle, domates tüketimi açısından söz konusu elementlerin insan sağlığına etkilerinin belirlenmesi, domates yetiştirilen alanlarda atıksu arıtma tesisinden çıkan atıksularla sulama yapılmaması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Arslan Topal, E.I., Öbek, E., Topal, M. (2024). Is Cladophora fracta an efficient tool of accumulating critical raw materials from wastewater and there a potential health risk of use of algae as organic fertilizer?, International Journal of Environmental Health Research, 34:4, 1977-1994, DOI: 10.1080/09603123.2023.2203905

Azizoglu, F., Toprak, A. N., Sağlam, C., Yetişir, H., Ünlükara, A., Sekerci, A. D., Hancı, F., & Çetin, N. (2026). Hail damage assessment in tomato crops using UAV-based vegetation indices and machine learning-based regression. Computers and Electronics in Agriculture, 250(111883), 111883. https://doi.org/10.1016/j.compag.2026.111883

FAO. (2004). Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2024. Agricultural Production Statistics. 2010–2023. FAOSTAT Analytical Briefs No. 96, https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/df90e6cf-4178-4361-97d4-5154a9213877/content. (Accessed 14 April 2025).

Markert, B. (1992). Establishing of Reference Plant for Inorganic Characterization of Different Plant Species By Chemical Fingerprinting. Water, Air and Soil Pollution, 64, 533–538.

Martínez, A., Campmajó, G., Torrijos, R., Dall'Asta, C., Tejero, P., Martín, A., Hernández, A., Rodríguez, A., & de Guía Córdoba, M. (2027). Integrated analysis of volatile profiles and mycotoxins for the early-stage detection of Alternaria alternata in tomatoes. *Food Control*, *191*(112506), 112506. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2026.112506

McGrath, S. P., Micó, C., Zhao, F. J., Stroud, J. L., Zhang, H., & Fozard, S. (2010). Predicting molybdenum toxicity to higher plants: Estimation of toxicity threshold values. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, *158*(10), 3085–3094. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.06.030

Miletić, Z., Marković, M., Jarić, S., Radulović, N., Sekulić, D., Mitrović, M., & Pavlović, P. (2024). Lithium and strontium accumulation in native and invasive plants of the Sava River: Implications for bioindication and phytoremediation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, *270*(115875), 115875. https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2023.115875

Nasser, N., Fouad, O. A., Wahsh, M. M. S., Rizk, M. S., Mohamed, G. G., & Mostafa, M. R. (2024). Estimation of trace element of strontium ion using ion selective electrode based on a ceramic cordierite nanoparticle in some vegetarian foods. *Microchemical Journal, Devoted to the Application of Microtechniques in All Branches of Science*, *199*(109978), 109978. https://doi.org/10.1016/j.microc.2024.109978

Novotny, J. A. (2011). Molybdenum nutriture in humans. Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine, 16(3), 164–168. https://doi.org/10.1177/2156587211406732

Vultaggio, L., Allevato, E., Sabatino, L., Ntatsi, G., Rouphael, Y., Torta, L., La Bella, S., & Consentino, B. B. (2024). Modulation of cherry tomato performances in response to molybdenum biofortification and arbuscular mycorrhizal fungi in a soilless system. *Heliyon*, *10*(13), e33498. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33498

BAKLAVALIK BUĞDAY UNU REÇETE OPTİMİZASYONU

Bersu AÇIL
Tellioğlu Yem Gıda Entegre Tesisleri San. ve Tic. A.Ş., Department of R&D, 10100 Karesi, Balıkesir
ORCID: 0009-0006-5076-2611
Nuri Serdar GÜNDOĞAN
Tellioğlu Yem Gıda Entegre Tesisleri San. ve Tic. A.Ş., Department of R&D, 10100 Karesi, Balıkesir
ORCID: 0009-0005-2730-8552
Ceyda KAÇMAZ GÜMÜŞ
Tellioğlu Yem Gıda Entegre Tesisleri San. ve Tic. A.Ş., Department of R&D, 10100 Karesi, Balıkesir
ORCID: 0009-0005-3637-3276

ÖZET

Ülkemizde baklava gibi geleneksel ürünlerin kalitesi, yufkada kullanılan unun özelliklerine doğrudan bağlıdır. Yufkada tek tip buğday kullanımı çoğu zaman istenilen esneklik, elastikiyet, renk ve pişirme kalitesi açısından yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle farklı buğday türlerinin karıştırılarak yüksek kaliteli, verimli ve endüstriyel ölçekte uygulanabilir baklavalık un geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Bu çalışmada baklavalık un üretiminde kullanılan farklı çeşitlerde kırmızı buğday ve beyaz buğday hammaddeleri için optimum karışım oranı belirlenerek reçete optimizasyonu yapılmıştır. Kırmızı ve beyaz buğday karışım oranları için Minitab İstatistiksel Analiz Programı yardımıyla deney tasarımı yapılmıştır. Deney tasarımında yer alan farklı un reçeteleri için ekstensograf ve farinograf cihazları ile reolojik analiz sonuçları (enerji, su kaldırma, uzayabilirlik, v.b.), gluten miktarı, düşme sayısı (FN - falling number), fungal düşme sayısı (FFN), sedimantayon değeri, amylograf cihazı ile ölçülen enzimatik aktivite analizi değerleri kullanılmıştır. Bunun yanında deney tasarımında yer alan numuneler için görsel analiz (renk analizi) yanında, bu unlarla üretilen yufkalar için açılma testi yapılmıştır. Elde edilen veri seti kullanılarak Minitab programı yardımıyla girdiler ile çıktılar arasındaki matematiksel ilişkiler regresyon denklemleri ile modellenmiştir. Elde edilen regresyon denklemlerinin R^2 değerleri ve ANOVA sonuçları incelenerek, devamında "Minitab Response Optimizer" modülü yardımıyla ürün reçetesi optimize edilmiştir. Optimum reçete için baklava üretimi gerçekleştirilerek doğrulama deneyleri ve duyusal analiz gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Baklavalık Buğday Unu, reçete optimizasyonu, buğday paçalı, ürün geliştirme.

OPTIMIZATION OF WHEAT BLEND FOR BAKLAVA FLOUR

ABSTRACT

The quality of traditional products such as baklava in Turkey is directly dependent on the properties of the flour used in the production of phylo. The use of a single wheat type in phylo

production is often insufficient to achieve the desired levels of extensibility, elasticity, color, and baking performance. Therefore, there is a need to develop a high-quality, efficient, and industrially applicable baklava flour through the blending of different wheat types. In this study, recipe optimization was performed by determining the optimum blending ratio of different red wheat and white wheat varieties used as raw materials in baklava flour production. An experimental design was developed using the Minitab Statistical Analysis Software to determine the blending ratios of red and white wheat. For the different flour formulations included in the experimental design, rheological properties, including energy, water absorption, and extensibility, were determined using an extensograph and farinograph. In addition, gluten content, falling number (FN), fungal falling number (FFN), sedimentation value, and enzymatic activity parameters measured using an amylograph were evaluated. Furthermore, visual analyses, including color analysis, were performed on the flour samples, while a sheeting/extensibility test was conducted on the phylo produced from the corresponding flour formulations. Using the resulting dataset, the mathematical relationships between the input variables and response variables were modeled through regression equations using Minitab. The coefficients of determination (R^2) of the regression models and the corresponding ANOVA results were evaluated. Subsequently, the flour formulation was optimized using the Minitab Response Optimizer module. Baklava was produced using the optimum formulation, followed by validation experiments and sensory analysis to verify the performance of the optimized flour formulation.

Keywords: Wheat flour for Baklava, recipe optimization, wheat blend, product development

HAVACILIKTA ENERJİ DÖNÜŞÜMÜ VE ARZ RİSKLERİNİN İŞLETME SÜREKLİLİĞİNE ETKİSİ

Onur ARSLAN
Araştırma Görevlisi, İstanbul Okan Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Havacılık Yönetimi, İstanbul, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0005-6840-1788

ÖZET

Havacılık sektörü son yıllarda yalnızca çevresel baskılarla değil, aynı zamanda enerjiye erişim, maliyet artışları ve tedarik belirsizlikleriyle de karşı karşıya kalmaktadır. Özellikle jet yakıtı arzında yaşanan dalgalanmalar ve fiyat oynaklığı, havayolu işletmelerinin maliyet yapısını doğrudan etkilerken; sürdürülebilir havacılık yakıtına (SAF) geçiş süreci ise yeni bir maliyet ve tedarik baskısı oluşturmaktadır. Bunun yanında, havalimanlarının elektrik ve enerji altyapısına giderek daha fazla bağımlı hâle gelmesi, enerji sürekliliğini yalnızca teknik bir konu olmaktan çıkarıp işletme sürekliliğinin önemli bir unsuru hâline getirmektedir. Bu çalışma, havacılıkta enerji dönüşümü ve arz risklerinin işletme sürekliliği üzerindeki etkilerini kavramsal çerçevede değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, ilk olarak jet yakıtı arzı ve fiyat riskinin havayolu işletmelerinin operasyonel planlama, maliyet yönetimi ve finansal sürdürülebilirliği üzerindeki etkileri ele alınmaktadır. İkinci olarak, SAF'ın sınırlı erişilebilirliği, yüksek maliyeti ve tedarik zinciri belirsizlikleri çerçevesinde enerji dönüşümünün sektöre getirdiği yeni risk alanları incelenmektedir. Son olarak, havalimanlarında enerji kesintileri, altyapı bağımlılığı ve enerji arz güvenliği konuları üzerinden operasyonel süreklilik boyutu değerlendirilmektedir. Değerlendirme sonucunda, havacılıkta enerji risklerinin yalnızca yakıt maliyetleriyle sınırlı olmadığı; aynı zamanda uçuş planlaması, hizmet sürekliliği, kriz yönetimi ve rekabet gücü üzerinde belirleyici etkiler yarattığı görülmektedir. Bu doğrultuda, havacılık işletmelerinin enerji dönüşümünü sadece çevresel bir zorunluluk olarak değil, aynı zamanda risk yönetimi ve kurumsal dayanıklılık açısından ele alması gerektiği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Enerji dönüşümü, arz riski, işletme sürekliliği, sürdürülebilir havacılık yakıtı, havacılık yönetimi

THE EFFECTS OF ENERGY TRANSİTİON AND SUPPLY RİSKS ON BUSİNESS CONTİNUİTY İN AVİATİON

ABSTRACT

In recent years, the aviation sector has faced not only environmental pressures but also challenges related to energy access, rising costs, and supply uncertainties. In particular, fluctuations in jet fuel supply and price volatility directly affect the cost structure of airline operators, while the transition to Sustainable Aviation Fuel (SAF) creates a new layer of cost

and supply pressure. In addition, airports have become increasingly dependent on electricity and energy infrastructure, making energy continuity not merely a technical issue but also a critical component of business continuity. This study aims to evaluate the effects of energy transition and supply risks on business continuity in aviation within a conceptual framework. First, it addresses the impacts of jet fuel supply and price risks on operational planning, cost management, and the financial sustainability of airline operators. Second, it examines the new risk areas created by the energy transition in terms of the limited availability, high cost, and supply chain uncertainties associated with SAF. Finally, the study evaluates the dimension of operational continuity through issues such as power outages, infrastructure dependency, and energy supply security at airports. The evaluation indicates that energy risks in aviation are not limited to fuel costs alone, but also have significant effects on flight planning, service continuity, crisis management, and competitiveness. In this respect, aviation operators need to approach energy transition not only as an environmental obligation but also as a matter of risk management and organizational resilience.

Keywords: Energy transition, supply risk, business continuity, sustainable aviation fuel, aviation management

UZAY EKONOMİSİNİN SİVİL HAVACILIKTA OPERASYONEL SÜREKLİLİK VE RİSK YÖNETİMİNE ETKİSİ

Onur ARSLAN
Araştırma Görevlisi, İstanbul Okan Üniversitesi, Uygulamalı Bilimler Fakültesi, Havacılık Yönetimi, İstanbul, Türkiye.
ORCID ID: 0009-0005-6840-1788

ÖZET

Uzay ekonomisi, günümüzde yalnızca uzay araştırmaları ve uydu üretimiyle sınırlı olmayan; haberleşme, navigasyon, gözlem ve veri hizmetleri aracılığıyla farklı sektörlerin işleyişini etkileyen geniş bir ekonomik alan hâline gelmiştir. Sivil havacılık da bu dönüşümden doğrudan etkilenen sektörlerden biridir. Uçuş operasyonlarında kullanılan uydu tabanlı seyrüsefer sistemleri, haberleşme altyapıları, gözetim teknolojileri ve uzay hava durumu bilgileri, operasyonel sürekliliğin sağlanmasında giderek daha önemli bir rol üstlenmektedir. Bu çalışma, uzay ekonomisinin sivil havacılıkta operasyonel süreklilik ve risk yönetimi üzerindeki etkilerini kavramsal çerçevede değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada, uzay tabanlı hizmetlerin havacılık operasyonlarına sağladığı katkılar ile bu hizmetlere artan bağımlılığın ortaya çıkardığı riskler birlikte ele alınmaktadır. Özellikle uydu tabanlı navigasyon sistemlerinde yaşanabilecek kesintiler, sinyal karışmaları, haberleşme altyapısındaki aksaklıklar ve uzay hava durumu kaynaklı belirsizliklerin; uçuş emniyeti, operasyonel koordinasyon, hizmet sürekliliği ve kriz yönetimi açısından önemli sonuçlar doğurabileceği değerlendirilmektedir. Çalışma sonucunda, sivil havacılıkta uzay tabanlı sistemlere olan bağımlılığın artmasının, uzay ekonomisini yalnızca fırsat sunan bir alan olmaktan çıkarıp aynı zamanda stratejik risk yönetimi açısından ele alınması gereken bir konu hâline getirdiği düşünülmektedir. Bu doğrultuda, havacılık işletmelerinin operasyonel dayanıklılığı güçlendirmek amacıyla alternatif sistemler geliştirmesi, izleme mekanizmalarını artırması ve risk odaklı karar süreçlerini daha bütüncül bir anlayışla ele alması gerektiği değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Uzay ekonomisi, sivil havacılık, operasyonel süreklilik, risk yönetimi, uydu tabanlı sistemler

THE IMPACT OF THE SPACE ECONOMY ON OPERATİONAL CONTİNUİTY AND RİSK MANAGEMENT İN CİVİL AVİATİON

ABSTRACT

The space economy has evolved into a broad economic field that is no longer limited to space exploration and satellite manufacturing, but also influences the functioning of various sectors through communication, navigation, observation, and data services. Civil aviation is one of the sectors directly affected by this transformation. Satellite-based navigation systems,

communication infrastructures, surveillance technologies, and space weather information used in flight operations are playing an increasingly important role in ensuring operational continuity. This study aims to evaluate the impact of the space economy on operational continuity and risk management in civil aviation within a conceptual framework. The study addresses both the contributions of space-based services to aviation operations and the risks arising from the increasing dependence on these services. In particular, possible disruptions in satellite-based navigation systems, signal interference, failures in communication infrastructure, and uncertainties caused by space weather are considered to have significant implications for flight safety, operational coordination, service continuity, and crisis management. As a result, it is argued that the growing dependence on space-based systems in civil aviation has made the space economy not only an area of opportunity but also a subject that should be addressed in terms of strategic risk management. In this regard, it is considered necessary for aviation operators to develop alternative systems, strengthen monitoring mechanisms, and adopt a more integrated risk-oriented decision-making approach in order to enhance operational resilience.

Keywords: Space economy, civil aviation, operational continuity, risk management, space-based systems

OTONOM TARIM MAKİNELERİNDE ENGEL ALGILAMA MENZİLİ VE SİSTEM GECİKMESİNİN GÜVENLİ ÇALIŞMA HIZINA ETKİSİ: PARAMETRİK BİR ÖN ANALİZ

Osman ECEOĞLU, PhD
Akdeniz University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Electronics and Automation, Antalya, Türkiye
osmaneceoglu@akdeniz.edu.tr
ORCID ID: 0000-0001-5778-6655

ÖZET

Otonom tarım makinelerinde engel algılama menzili, sistem gecikmesi ve kullanılabilir yavaşlama kapasitesi, engel algılandıktan sonra durulabilecek teorik üst hız sınırını birlikte belirlemektedir. Bu çalışmada, yerleşik tepki-artı-frenleme bağıntısı; engel algılama menzili R={6; 10; 14,56} m, sistem gecikmesi τ={0,4; 0,6; 0,9} s ve efektif yavaşlama a={2,15; 3,26; 4,76} m s^{-2} düzeylerinden oluşan 3×3×3 parametrik tasarım uzayına uygulanmıştır. Parametre düzeyleri farklı tarımsal platform ve koşullardaki bulgulardan derlenerek 27 kombinasyon oluşturulmuştur. R düzeyleri, standartlaştırılmış varil biçimli yapay bir engel kullanılarak elde edilen tarımsal algılama bulgularından alınmıştır. Gecikme için 0,4 s ölçülmüş yanıt süresi referans olarak kullanılmış, 0,6 ve 0,9 s düzeyleri gecikme-stres senaryoları olarak tanımlanmıştır. Ana analizde artık açıklık sıfır alınmış (d_s=0) ve teorik sıfır-açıklıklı duruş sınırları hesaplanmıştır. Model türevi sınırlar 12,60–36,08 km h^{-1} arasında değişmiş, referans senaryo 22,87 km h^{-1} vermiştir. Referans dilimlerde R'nin 6 m'den 14,56 m'ye yükselmesi sınırı 16,55'ten 28,73 km h^{-1}'e (+%73,6), a'nın 2,15'ten 4,76 m s^{-2}'ye yükselmesi 19,42'den 26,32 km h^{-1}'e (+%35,6) çıkarmış; τ'nun 0,4 s'den 0,9 s'ye yükselmesi ise 24,75'ten 20,37 km h^{-1}'e (−%17,7) düşürmüştür. Kilitli parametre aralıklarında one-at-a-time (OAT) duyarlılık sıralaması R>a>τ olmuştur. Referans-nokta elastisiteleri E_R=0,6177, E_a=0,3823 ve E_τ=−0,2354'tür. Seçilmiş üç senaryoda d_s=1 m uygulanması sınırı %4,05–11,74 azaltmıştır. Sonuçlar, saha doğrulaması öncesinde algılama-gecikme-frenleme uyumunun karşılaştırılması için koşullu bir ön değerlendirme çerçevesi sunmaktadır. Uygulanabilir hız seçimi, aynı makine üzerinde ölçülen algılama güvenilirliği, uçtan uca gecikme ve zemin koşullarına bağlı frenleme verilerini gerektirmektedir.

Anahtar kelimeler: Tarımsal robotik, otonom tarım makineleri, engel algılama, sistem gecikmesi, frenleme, duruş zarfı

EFFECT OF OBSTACLE DETECTION RANGE AND SYSTEM LATENCY ON SAFE OPERATING SPEED IN AUTONOMOUS AGRICULTURAL MACHINERY: A PARAMETRIC PRELIMINARY ANALYSIS

ABSTRACT

In autonomous agricultural machinery, obstacle-detection range, system latency, and available deceleration jointly determine the theoretical upper speed for stopping after obstacle detection. Using an established reaction-plus-braking relation, a 3×3×3 parametric design space was evaluated with R={6, 10, 14.56} m, τ={0.4, 0.6, 0.9} s, and a={2.15, 3.26, 4.76} m s^{-2}. Parameter levels from different agricultural platforms and conditions formed 27 combinations. The R levels were derived from agricultural perception results using a standardized barrel-shaped artificial obstacle. For latency, the measured 0.4 s response time was used as the reference, while 0.6 and 0.9 s were defined as latency-stress scenarios. The main analysis used zero residual clearance (d_s=0) and calculated theoretical no-clearance stopping boundaries. Model-derived bounds ranged from 12.60 to 36.08 km h^{-1}; the reference scenario produced 22.87 km h^{-1}. In the reference slices, increasing R from 6 to 14.56 m increased the bound from 16.55 to 28.73 km h^{-1} (+73.6%), and increasing a from 2.15 to 4.76 m s^{-2} increased it from 19.42 to 26.32 km h^{-1} (+35.6%); increasing τ from 0.4 to 0.9 s reduced the bound from 24.75 to 20.37 km h^{-1} (−17.7%). Within the locked parameter ranges, the one-at-a-time (OAT) sensitivity ranking was R>a>τ. Reference-point elasticities were E_R=0.6177, E_a=0.3823, and E_τ=−0.2354. Applying d_s=1 m in three scenarios reduced the bound by 4.05–11.74%. The results provide a conditional preliminary framework for comparing perception-latency-braking compatibility before field validation. Selecting an applicable operating speed requires detection reliability, end-to-end latency, and ground-dependent braking measured on the same machine.

Keywords: Agricultural robotics, autonomous agricultural machinery, obstacle detection, system latency, braking, stopping envelope

1. GİRİŞ

Otonom tarım makinelerinde engel algılama, algılanan nesneye göre zamanında ve yeterli bir hareket tepkisi üretildiğinde güvenlik açısından anlam kazanmaktadır. Algılama menzili, algılama ile fren etkisi arasındaki gecikme ve kullanılabilir yavaşlama kapasitesi birlikte, engelden önce durulabilecek üst hız sınırını biçimlendirmektedir. Tarımsal ortamlarda sensör görünürlüğü, bitki örtüsü, oklüzyon, zemin ve makine dinamiği değişkendir; FieldSAFE gibi çok kipli saha kayıtları bu çeşitliliği göstermektedir (Kragh et al., 2017). ISO 18497-2:2024 engel koruma sistemlerinin tasarım ilkelerini, ISO 18497-4:2024 ise doğrulama ve geçerleme

ilkelerini normatif çerçevede ele almaktadır (International Organization for Standardization, 2024a, 2024b).

Responsibility-Sensitive Safety (RSS), tepki ve frenleme terimlerini yorumlanabilir bir güvenlik mesafesinde birleştiren yerleşik öncül güvenlik yaklaşımıdır (Shalev-Shwartz et al., 2017). Falanga et al. (2019), algılama menzili, algı gecikmesi ve eyleyici sınırlarının erişilebilir hıza etkisini ele alan güçlü matematiksel ve kinematik öncül çalışmayı sunmuştur. AgSentry ise frenleme mesafesi, algılama menzili ve işleme gecikmesini tarımsal bir E-STOP güvenlik bölgesinde niceliklendiren yakın tarımsal öncül çalışmadır (de Silva et al., 2026). Bu öncüller kullanılan tepki-artı-frenleme bağıntısının literatürde yerleşik olduğunu göstermektedir.

Çalışmanın amacı, engel algılama menzili R, toplam kavramsal sistem gecikmesi τ ve kullanılabilir efektif yavaşlama a için kilitli düzeyleri 27 kombinasyonlu parametrik bir tasarım uzayında değerlendirmek; model türevi hız sınırlarını haritalamak ve parametre etkilerini one-at-a-time (OAT) göreli değişim ile referans-nokta elastisitesi üzerinden ayrı ayrı karşılaştırmaktır. Çalışmanın katkısı yeni bir duruş modeli önermek değil; yerleşik tepki-artı-frenleme bağıntısını tarımsal literatürden elde edilen heterojen algılama menzili, gecikme ve yavaşlama düzeyleriyle parametrize ederek hız sınırlarını sistematik olarak haritalamak ve parametre duyarlılıklarını karşılaştırmaktır.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1. Parametrelerin kanıt temeli

Tablo 1. Kilitli parametreler, kanıt sınıfı ve kullanım sınırları.

Parametre	Düzeyler	Kanıt ve kaynak	Kullanım sınırı
R	6; 10; 14,56 m	Steen et al. (2016); standartlaştırılmış varil biçimli yapay engel	Kaynak deney koşuluna özgüdür; insan algılama performansı için ayrı doğrulama gerekir.
τ	0,4; 0,6; 0,9 s	Cho et al. (2025); 0,4 s ölçülmüş referans	0,6 ve 0,9 s ilan edilmiş gecikme-stres düzeyleridir.
a	2,15; 3,26; 4,76 m s^{-2}	Aykan et al. (2023); doğrudan ölçüm	Traktör-römork; yaklaşık 25 km h^{-1}; stabilize zemin.
d_s	0 m	Analitik sınır varsayımı	Teorik sıfır-açıklıklı duruş sınırı.

Algılama mesafesi düzeyleri Steen et al. (2016) tarafından ISO/DIS 18497 ile ilişkili standartlaştırılmış varil biçimli yapay engel için raporlanan pozitif algılama bulgularından alınmıştır. Düşük düzey 6 m, sıra-bitkisi deneylerinin alt bölgesini temsil eden orta düzey 10 m ve 14 yaklaşmada doğrudan raporlanan ortalama 14,56 m kullanılmıştır. Aynı çalışmadaki

algoritmanın insan tespitinde başarısız olması, bu değerlerin insan tespitine aktarılmasını sınırlamaktadır.

Gecikme için Cho et al. (2025) tarafından yarı otonom traktör deneyinde ölçülen 0,4 s yanıt süresi referans alınmıştır. 0,6 ve 0,9 s düzeyleri bu referansın sırasıyla 1,5 ve 2,25 katı olarak tanımlanan gecikme-stres düzeyleridir. Yavaşlama düzeyleri Aykan et al. (2023) tarafından yaklaşık 25 km h^{-1} hızda, stabilize zeminde ve traktör-römork kombinasyonlarında ölçülen 2,15; 3,26 ve 4,76 m s^{-2} değerleridir (Tablo 1).

2.2. Matematiksel model ve senaryo tasarımı

Engelin sabit ve boyuna hareket ekseni üzerinde olduğu, algılama ve gecikme boyunca hızın sabit kaldığı, gecikme sonrasında sabit pozitif efektif yavaşlama uygulandığı varsayılmıştır. Kullanılabilir duruş mesafesi Eşitlik (1) ile tanımlanmıştır. Tepki ve frenleme bileşenlerinin toplamı ise Eşitlik (2) koşulunu sağlamalıdır:

$$D = R - d_s \quad (1)$$

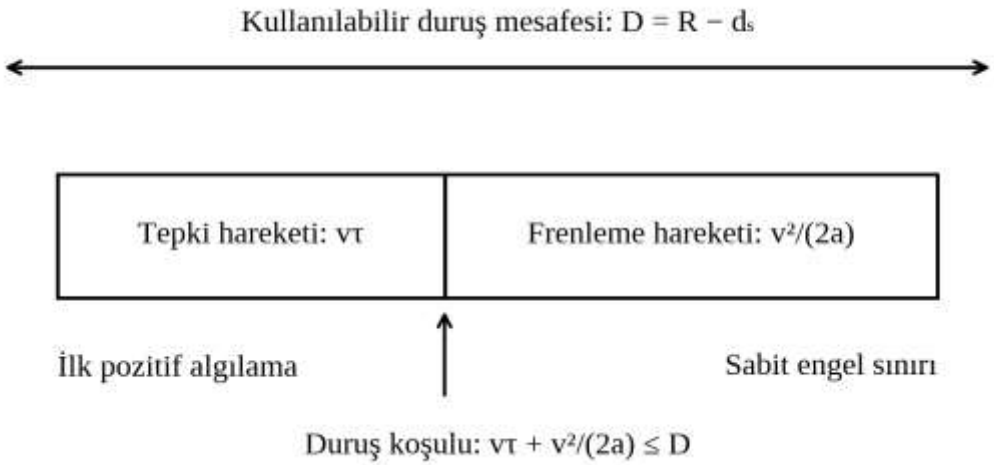
$$v\tau + v^2/(2a) \leq D \quad (2)$$

Eşitlik (2) için pozitif hız kökü Eşitlik (3) ile elde edilmiştir:

$$v_{max} = -a\tau + \sqrt{(a^2\tau^2 + 2aD)} \quad (3)$$

Burada D kullanılabilir duruş mesafesini (m), R engel algılama menzilini (m), d_s artık açıklığı (m), v çalışma hızını (m s^{-1}), τ sistem gecikmesini (s) ve a pozitif efektif yavaşlamayı (m s^{-2}) ifade etmektedir. v_{max} ise modelden elde edilen teorik duruş-sınırı hızıdır. Eşitlik (2)'de $v\tau$ gecikme süresince kat edilen mesafeyi, $v^2/(2a)$ ise frenleme mesafesini temsil etmektedir.

Ana analizde d_s=0 olduğundan D=R'dir. Dolayısıyla hesaplanan değer, engelde pozitif artık açıklık bırakmayan teorik bir sınırdır. Üç R, üç τ ve üç a düzeyi tam faktöriyel biçimde birleştirilerek S001-S027 sırasındaki 27 senaryo oluşturulmuştur. Bu senaryolar doğrulanmış 27 gerçek makine konfigürasyonunu değil, farklı çalışmalardan gelen kanıtların bağımsız değiştirildiği parametrik bir tasarım uzayını temsil etmektedir. Duruş zarfı Şekil 1'de kavramsal olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Tepki ve frenleme bileşenlerinden oluşan duruş zarfı. Kavramsal gösterim; ölçekli değildir. Ana analizde d_s=0 ve D=R kullanılmıştır.

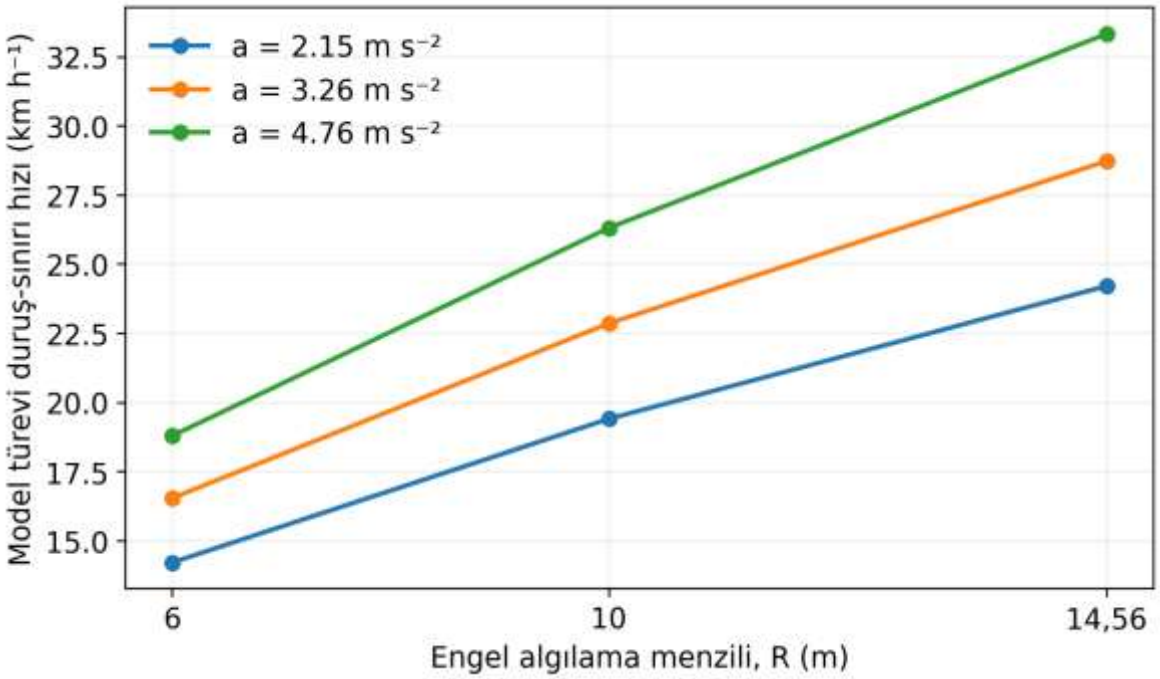
2.3. Ana senaryolar ve referans dilimleri

Yirmi yedi ana senaryoda model türevi maksimum duruş-sınırı hızı 3,5005–10,0223 m s^{-1}, başka bir ifadeyle 12,60–36,08 km h^{-1} aralığında değişmiştir. En düşük değer R=6 m, τ=0,9 s ve a=2,15 m s^{-2} için S007'de; en yüksek değer R=14,56 m, τ=0,4 s ve a=4,76 m s^{-2} için S021'de elde edilmiştir. Referans senaryo S014 için değer 6,3522 m s^{-1} (22,87 km h^{-1})'dir (Tablo 2).

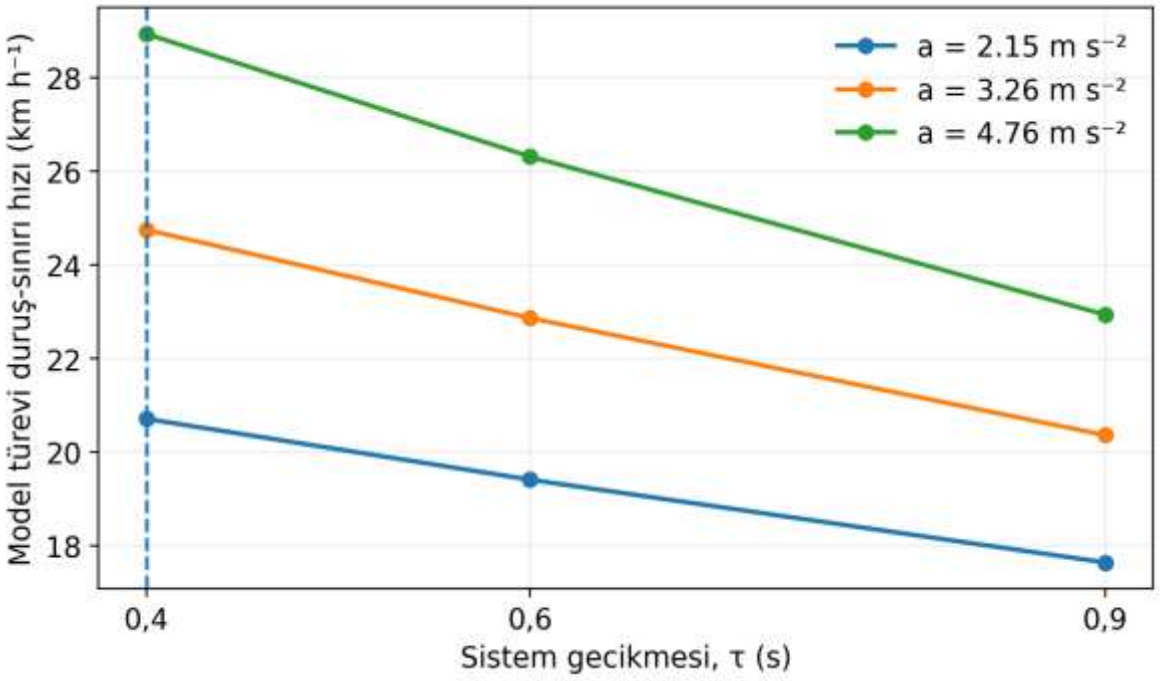
Tablo 2. Seçilmiş ana senaryolar ve model türevi duruş-sınırı sonuçları.

Senaryo	Rol	R (m)	τ (s)	a (m s^{-2})	v_{max} (m s^{-1})	v_{max} (km h^{-1})
S007	Minimum sınır	6	0,9	2,15	3,5005	12,60
S014	Referans	10	0,6	3,26	6,3522	22,87
S021	Maksimum sınır	14,56	0,4	4,76	10,0223	36,08

Referans dilimlerde R'nin 6 m'den 14,56 m'ye yükselmesi sınırı 16,55'ten 28,73 km h^{-1}'e çıkarmış (+%73,6); τ'nun 0,4 s'den 0,9 s'ye yükselmesi 24,75'ten 20,37 km h^{-1}'e düşürmüş (-%17,7); a'nın 2,15'ten 4,76 m s^{-2}'ye yükselmesi ise 19,42'den 26,32 km h^{-1}'e çıkarmıştır (+%35,6). Bu yüzdeler ilgili parametrenin alt düzeyine göre değişimi ifade eder; OAT yüzdeleri referans noktaya göre hesaplanmıştır. Algılama menzili ve sistem gecikmesine ilişkin eğilimler sırasıyla Şekil 2 ve Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 2. τ=0,6 s için algılama menziline göre model türevi duruş-sınırı hızı.



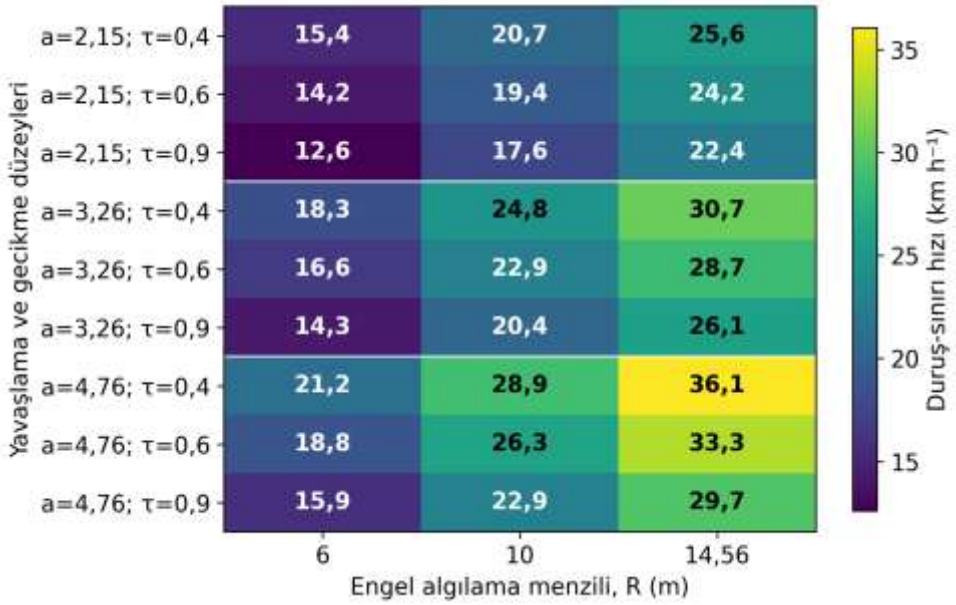
Şekil 3. R=10 m için sistem gecikmesine göre model türevi duruş-sınırı hızı; 0,4 s ölçülmüş yanıt-süresi referansı, 0,6 ve 0,9 s gecikme-stres düzeyleridir.

2.4. Parametre duyarlılığı ve artık açıklık

Tablo 3. OAT ve referans-nokta elastisite duyarlılığı özeti.

Yöntem	Mutlak değere göre sıra	Parametre	Değer	Kapsam
OAT maks. |Δv|	1	R	%27,63	Kilitli aralıklara bağlı
OAT maks. |Δv|	2	a	%15,10	Kilitli aralıklara bağlı
OAT maks. |Δv|	3	τ	%10,94	Kilitli aralıklara bağlı
Referans elastisitesi	1	R	0,6177	Yalnız referans noktada
Referans elastisitesi	2	a	0,3823	Yalnız referans noktada
Referans elastisitesi	3	τ	-0,2354	Yalnız referans noktada

OAT maksimum mutlak göreli sapmaları R, a ve τ için sırasıyla %27,63, %15,10 ve %10,94 olmuş; kilitli aralıklar altında R>a>τ sıralaması elde edilmiştir (Tablo 3). Referans-nokta elastisiteleri E_R=0,6177, E_a=0,3823 ve E_τ=-0,2354 olarak hesaplanmış; mutlak değerler yalnız kilitli referans noktasında R>a>τ sırasını vermiştir. E_R>E_a ilişkisi model yapısına bağlıdır; a ile τ'nun yerel sırası parametre uzayının tamamında sabit değildir. OAT ve elastisite farklı duyarlılık sorularını yanıtladığından aralarındaki uyum bağımsız doğrulama olarak yorumlanmamıştır. Yirmi yedi parametrik kombinasyonun tamamına ait dağılım Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Yirmi yedi parametrik kombinasyonda model türevi teorik sıfır-açıklıklı duruş-sınırı hızları.

Seçilmiş S007, S014 ve S021 konfigürasyonlarında d_s=1 m duyarlılığı, d_s=0 değerlerine göre sınırı %4,05–%11,74 azaltmıştır. Pozitif açıklığın göreli etkisi kısa algılama menzilinde daha belirgindir; üç senaryoluk kontrol yavaşlamanın bağımsız katkısını ayrıştırmamaktadır.

2.5. Tartışma ve sınırlılıklar

Algılama menzilinin kilitli uzayda en büyük OAT değişimini üretmesi, erken algılamanın duruş zarfında sağladığı mesafe kazancını görünür kılmaktadır. Bununla birlikte R seviyeleri belirli bir varil biçimli yapay engel ve deney düzenine, a seviyeleri başka bir traktör-römork platformunun fren testlerine, τ referansı ise ayrı bir yarı otonom traktör sistemine aittir. Gerçek bir makinede sensör teyit mantığı, kontrol çevrimi, haberleşme ve fren kuvvetinin yükselmesi bu değişkenleri birbirine bağlayabilir. Bu nedenle 27 hücre, donanım konfigürasyonları değil parametrik bir tasarım uzayıdır.

Wang et al. (2026), tarla ortamındaki traktör ve biçerdöver gibi hareketli tarımsal engeller için 3–8 km h^{-1} hareket hızları raporlamıştır. Mevcut model sabit engel varsayımına dayandığı için hareketli engelin bağıl yaklaşma hızını ve yönünü kapsamamaktadır. Bu kaynak, çalışma hızı karşılaştırması için değil sabit-engel varsayımının sınırını göstermek amacıyla kullanılmıştır.

Başlıca aktarılabilirlik sınırları birlikte ele alındığında, varil biçimli yapay engelden elde edilen R düzeyleri insan tespitini temsil etmez ve Steen et al. (2016) sistemindeki insan tespit başarısızlığı bu aktarımı özellikle sınırlar. Yavaşlama kanıtı traktör-römork, yaklaşık 25 km h^{-1} ve stabilize zemin koşullarına aittir; bu hızın üzerindeki model sınırları deneysel frenleme doğrulaması olarak kullanılamaz. d_s=0 seçimi pozitif açıklık bırakmayan teorik sınırı tanımlar. Ayrıca ISO 18497-2 ve ISO 18497-4 yalnız normatif çerçeve sağlamış; standart maddeleri, kabul eşikleri veya sayısal güvenlik mesafeleri modele aktarılmamıştır. Makineye özgü uygulama için algılama güvenilirliği, uçtan uca gecikme, zemin-yük koşullarındaki frenleme, hareketli engeller ve pozitif koruyucu açıklık aynı platformda sınanmalıdır.

3. SONUÇ

Yerleşik tepki-artı-frenleme zarfının tarımsal literatürden alınan kilitli R, τ ve a düzeylerine uygulanmasıyla 27 senaryoda 12,60–36,08 km h^{-1} arasında teorik sıfır-açıklıklı duruş sınırları elde edilmiştir. Referans senaryo 22,87 km h^{-1}'dir. Referans dilimlerde R artışı sınırı %73,6, a artışı %35,6 yükseltirken τ artışı %17,7 düşürmüştür. OAT sıralaması kilitli aralıklarda R>a>τ olarak bulunmuş; referans-nokta elastisiteleri E_R=0,6177, E_a=0,3823 ve E_τ=-0,2354 olarak korunmuştur.

Bulgular, tasarımın erken aşamasında algılama menzili-gecikme-frenleme uyumunu sistematik biçimde karşılaştıran bir ön eleme çerçevesi sunmaktadır. Uygulanabilir bir hız sınırı için aynı makine üzerinde algılama güvenilirliği, uçtan uca gecikme, gerçek zemin ve yük koşullarındaki frenleme, hareketli engel kinematiği ve pozitif koruyucu açıklık birlikte doğrulanmalıdır.

KAYNAKÇA

Aykan, H., Çarman, K., Canlı, E., & Ekinci, Ş. (2023). Evaluation of tractor-trailer combination braking performance in different operating conditions. *Süleyman Demirel University Journal of Natural and Applied Sciences, 27*(2), 219–225. https://doi.org/10.19113/sdufenbed.1191413

Cho, W., Nguyen, N. V., & Hayashi, K. (2025). Experimental evaluation of a remote monitoring-based guidance system for semi-autonomous tractors in paddy fields. *Applied Engineering in Agriculture, 41*(2), 179–193. https://doi.org/10.13031/aea.16215

de Silva, R., Nazari, K., Moraru, I., Li, D., Sklar, E. I., Pearson, S., & Coutts, S. (2026). AgSentry: LiDAR reflectivity based obstacle detection for safety in agricultural environments. *Smart Agricultural Technology, 14*, 102014. https://doi.org/10.1016/j.atech.2026.102014

Falanga, D., Kim, S., & Scaramuzza, D. (2019). How fast is too fast? The role of perception latency in high-speed sense and avoid. *IEEE Robotics and Automation Letters, 4*(2), 1884–1891. https://doi.org/10.1109/LRA.2019.2898117

International Organization for Standardization. (2024a). *ISO 18497-2:2024 Agricultural machinery and tractors - Safety of partially automated, semi-autonomous and autonomous machinery - Part 2: Design principles for obstacle protection systems*. https://www.iso.org/standard/82686.html

International Organization for Standardization. (2024b). *ISO 18497-4:2024 Agricultural machinery and tractors - Safety of partially automated, semi-autonomous and autonomous machinery - Part 4: Verification methods and validation principles*. https://www.iso.org/standard/82688.html

Kragh, M. F., Christiansen, P., Laursen, M. S., Larsen, M., Steen, K. A., Green, O., Karstoft, H., & Jørgensen, R. N. (2017). FieldSAFE: Dataset for obstacle detection in agriculture. *Sensors, 17*(11), 2579. https://doi.org/10.3390/s17112579

Shalev-Shwartz, S., Shammah, S., & Shashua, A. (2017). *On a formal model of safe and scalable self-driving cars*. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.1708.06374

Steen, K. A., Christiansen, P., Karstoft, H., & Jørgensen, R. N. (2016). Using deep learning to challenge safety standard for highly autonomous machines in agriculture. *Journal of Imaging*, *2*(1), 6. https://doi.org/10.3390/jimaging2010006

Wang, T., Wang, N., Li, S., Jin, Z., Xiao, J., Miao, Y., Sun, Y., Li, H., & Zhang, M. (2026). Multimodal feature representation mechanism for 3D detection of agricultural obstacles with few or zero samples. *Engineering*, *60*(5), 77–89. https://doi.org/10.1016/j.eng.2026.01.030

TURN COMPENSATION TECHNOLOGIES IN PLANTER AND SPRAYING MACHINERY

Assist. Prof. Dr Keziban YALÇIN DOKUMACI
Selcuk University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, 42130 Selçuklu, Konya
ORCID ID: 0000-0001-9699-8861
Tahir Abakar MAHAMAT
Selcuk University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Machinery and Technologies Engineering, 42130 Selçuklu, Konya
ORCID ID: 0009-0005-1727-4520

ABSTRACT

Turn compensation is a precision agriculture technology that corrects, in real time, application rate and distribution errors caused by differences in linear velocity between the inner and outer application units of agricultural machinery during turning maneuvers. In parallel with advances in GPS-based positioning systems, inertial measurement units (IMUs), and electronic control technologies, the use of turn compensation systems in sprayers and planting machinery has become increasingly widespread. In this review, the current scientific literature and manufacturers' technical documentation on turn compensation systems were systematically examined, and pulse-width modulation (PWM)-based nozzle control systems, independently electrically driven planting units, and CAN-bus-based control architectures were comparatively evaluated. The findings indicate that, in the absence of turn compensation, flow-rate deviations in sprayers can reach up to +1058% at the inner end of the boom and −48.2% at the outer end. In planting machinery, seeding-rate errors occurring during turning were reported to range from 30.9% to 570.1%, resulting in substantial distribution irregularities among rows. When turn compensation is enabled, seeding-rate errors can be reduced to 0.1–10.4%, while application errors in sprayers can be maintained within ±10%, resulting in an approximately 90% improvement in application uniformity. Economic assessments further indicate that, depending on turning conditions, these systems can provide savings in seed and chemical inputs ranging from USD 16 to 212 per hectare. Overall, the available evidence demonstrates that turn compensation technology improves application accuracy, optimizes input use, reduces environmental impacts, and enhances the efficiency of agricultural production. In conclusion, turn compensation represents a strategic technology for supporting sustainable and economically efficient production within precision agriculture.

Keywords: Turn compensation, planter, field sprayer, pulse width modulation (PWM), precision agriculture, variable-rate applications (VRA).

EKİM VE İLAÇLAMA MAKİNELERİNDE DÖNÜŞ TELAFİSİ TEKNOLOJİLERİ

ÖZET

Dönüş telafisi (turn compensation), tarımsal makinelerin dönüş hareketleri sırasında iç ve dış uygulama üniteleri arasında oluşan doğrusal hız farklılıklarından kaynaklanan dozaj ve dağılım hatalarını gerçek zamanlı olarak düzelten bir hassas tarım teknolojisidir. GPS tabanlı konumlama sistemleri, ataletsel ölçüm birimleri (IMU) ve elektronik kontrol teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak pülverizatörler ve ekim makinelerinde bu sistemlerin kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır. Bu derleme çalışmasında, dönüş telafisi sistemlerine ilişkin güncel bilimsel literatür ve üretici teknik dokümanları sistematik olarak incelenmiş; PWM (Darbe Genişlik Modülasyonu) tabanlı meme kontrol sistemleri, bağımsız elektrik tahrikli ekim üniteleri ve CAN-bus tabanlı kontrol mimarileri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Araştırma bulguları, dönüş telafisinin kullanılmadığı durumlarda pülverizatörlerde iç bom ucunda +%1058'e, dış bom ucunda ise −%48,2'ye varan debi sapmalarının oluştuğunu göstermektedir. Ekim makinelerinde ise dönüş sırasında meydana gelen ekim oranı hatalarının %30,9–%570,1 aralığına ulaştığı ve sıralar arasında önemli düzeyde dağılım düzensizlikleri ortaya çıktığı belirlenmiştir. Dönüş telafisinin etkinleştirilmesiyle ekim hata oranları %0,1–%10,4 seviyesine düşerken, pülverizatörlerde uygulama hataları ±%10 sınırları içerisinde tutulabilmekte ve uygulama homojenliğinde yaklaşık %90 oranında iyileşme sağlanmaktadır. Ekonomik değerlendirmeler, sistemin dönüş koşullarına bağlı olarak hektar başına 16–212 ABD doları arasında değişen tohum ve kimyasal tasarrufu sağlayabildiğini ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, dönüş telafisi teknolojisi için uygulama doğruluğunu artırdığını, girdi kullanımını optimize ettiğini, çevresel etkileri azalttığını ve tarımsal üretimde verimliliği yükselttiğini göstermektedir. Sonuç olarak dönüş telafisi, hassas tarım uygulamalarında sürdürülebilir ve ekonomik üretimi destekleyen stratejik bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Dönüş telafisi, ekim makinesi, tarla pülverizatörü, darbe genişlik modülasyonu, hassas tarım, değişken oranlı uygulamalar.

1. INTRODUCTION

The increase in machine working widths and operational speeds in agricultural production processes has made the requirement for homogeneous distribution in field applications more critical. Machines that operate with a given seeding rate or pesticide or fertiliser dose along straight paths cannot maintain the target application rates during turning manoeuvres because of the kinematic velocity differences arising between the inner and outer units. This situation originates from geometric and kinematic relationships based on the Ackermann steering principle and becomes more pronounced as the turning radius decreases and the implement

width increases. This kinematic imbalance occurring during turns leads to significant performance losses in agricultural applications. In spraying operations, over-application occurs at the nozzles at the inner boom ends and under-application at the nozzles at the outer ends; in seeding operations, denser seed placement occurs in the inner rows and sparser placement in the outer rows (Figure 1). In fertilizer applications, accumulation is observed in the inner regions and deficient distribution in the outer regions. These imbalances not only cause yield losses but also increase input costs and create long-term agronomic risks such as herbicide resistance (Bergman, 2021; Wolf, 2025). Turn compensation systems developed to solve this problem calculate the linear velocity of each application unit using real-time velocity and position data obtained from GPS, IMU and radar sensors, and adjust the output rate dynamically accordingly. The system is based on rigid-body kinematics and the Ackermann steering model; the instantaneous linear velocity of each row unit or nozzle tip is determined using turning radius and angular velocity data. Motor speeds or nozzle flow rates are then regulated automatically to maintain the target application rate (He et al., 2021; Ding et al., 2022). Recent advances in precision agriculture and electronic control technologies have made compensation systems reliable and applicable solutions under field conditions. In spraying systems based on pulse width modulation (PWM), the amount of chemical discharged from each nozzle can be controlled with response times on the millisecond scale (Figure 2), while in electrically driven planters independent speed control can be applied to each row unit (Sama et al., 2015). Similarly, modern solid and liquid fertilizers distribution systems can automatically optimize the distribution pattern during turning maneuvers.

Figure 1. Comparative view of seeding uniformity in the inner and outer rows under turning conditions: (a) 7 m turning radius, compensation off; (b) 7 m turning radius, compensation

on; (c) 28 m turning radius, compensation off; (d) 28 m turning radius, compensation on (Bechman, 2022).

In this review, the fundamental principles of the turn compensation concept are addressed, and the technological approaches and practical applications in spraying, seeding, and solid and liquid fertilizer application systems are examined. By comparing the findings obtained from academic studies and industrial technical documentation, the performance, advantages and limitations of turn compensation technologies and their effects on agricultural production efficiency and environmental sustainability are evaluated.

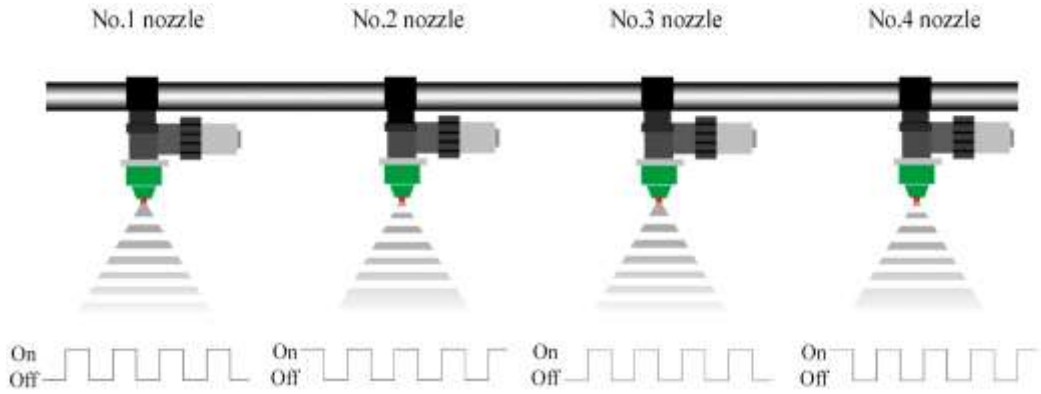


Figure 2. Operating principle of the PWM system: modulation of the flow rate discharged from the nozzle as a function of the duty cycle (Zhang et al., 2024).

The existing literature shows that the effectiveness of turn compensation systems depends on numerous factors. The turning radius, working width, GPS data frequency, sensor accuracy, the structure of the control algorithm (PID, Fuzzy-PID, etc.), the latency of CAN-bus-based communication systems, field geometry and crop type are among the leading factors. The effects of these parameters on system performance are evaluated in detail in the following sections in the light of the relevant research findings. The aim of this study is to examine comparatively the current academic literature and industrial technical documents concerning turn compensation systems used in planters and field sprayers, and to present a comprehensive evaluation in terms of sensor technologies, control algorithms, performance indicators and application limitations. By revealing the strengths and weaknesses of existing approaches, the study aims to constitute a scientific reference for researchers and sector stakeholders.

1.1. Theoretical background: Turning kinematics and velocity differences

The kinematic basis of turn compensation relies on the principles of rigid-body mechanics. When a planter or sprayer performs a turning maneuver with a radius R, linear velocity differences arise between the inner end of the machine, which is closest to the center of the turn, and the outer end, which is farthest from it. The ground speed of each row unit or nozzle is expressed by Equation (1):

$$v_i = v_{centre} + (\omega \times d_i) \quad (1)$$

where:

v_i : ground speed of the relevant row unit or nozzle (m s^{-1})

v_{centre} : ground speed at the centre point of the implement (m s^{-1})

ω : angular velocity (yaw rate, rad s^{-1})

d_i : lateral distance of the row unit or nozzle from the centre (m)

R : turning radius (m), obtained from $R = \frac{v}{\omega}$

Equation (1) shows that the ground speed of each row unit or nozzle is calculated as the sum of the linear velocity of the implement center and the product of the angular velocity and the lateral distance.

As the working width of the machine increases or the turning radius decreases, the velocity difference between the inner and outer ends increases markedly. For example, when a sprayer with a working width of 36.6 m performs a tight turn with a radius of 20 m, the outer end speed can reach approximately three times the inner end speed. When this difference is not compensated, significant deviations occur in the application rates (Dos Santos Carreira & da Silva, 2022).

The Ackermann steering model is widely used in calculating these velocity differences. Taking the tractor hitch or coupling point as the reference, this model evaluates together the turning radius obtained from GPS data and the geometric parameters of the planter (L_1, L_2, L_3, L_4 and row spacing L_r) in order to calculate the instantaneous linear velocity of each row unit (He et al., 2021). In this way, the actual ground speed of each seeding unit or nozzle can be determined and independent motor or valve control can be performed.

2. RESEARCH AND FINDINGS

2.1. Review Method

This study was designed as a narrative review. Peer-reviewed journal articles, conference papers, theses and manufacturers' technical documents on turn compensation in planters and field sprayers were compiled from Scopus, Web of Science and Google Scholar using combinations of the keywords "turn compensation", "curve compensation", "planter", "field sprayer", "pulse width modulation" and "CAN-bus". Publications from 2013–2025 reporting quantitative performance indicators (seeding rate error, seed spacing uniformity, flow rate deviation, application uniformity or economic return) were prioritised. The selected studies were synthesized comparatively in terms of sensor technology, control architecture, performance and limitations. As no formal systematic-review protocol (e.g., PRISMA) was applied, the findings should be interpreted as a structured narrative synthesis.

2.2. Turn compensation applications in planters

In planters, turn compensation covers systems that adjust the seed metering speed of each row unit independently according to the turning kinematics. The main objective of the technology is to provide constant seed spacing (e.g. 25 cm) and a homogeneous plant population density even at different turning radii. Two main sensor approaches are currently used to achieve this objective: radar-based instantaneous speed measurement and GPS+IMU integration. Table 1 summarises comparatively the principal studies in this field.

Table 1. Comparative analysis of turn compensation systems for planters

Reference	Sensor / Technology	Positioning System	Key Findings	Limitations
Ding et al. (2022)	Dual radar sensors, BLDC motor, CAN-bus	None (dual-radar speed sensing)	Error <4.52% with compensation on; >19.41% with compensation off	Performance depends on radar speed-measurement accuracy
He et al. (2021)	Single RTK-GPS, BLDC motor, Ackermann model	RTK-GPS (Topcon HiPer-V)	Accuracy >97%; SCV <1.52%	Performance sensitive to GPS positioning accuracy and update rate
Mishler et al. (2024)	Electric row metering, yaw rate sensor	RTK-GPS	Error: 30.9%–570.1% without compensation; 0.1%–10.4% with compensation; net gain ≈ USD 16–212/ha	Affected area of ~5%–12% in irregular fields
Sama et al. (2015)	CAN-bus architecture, linear interpolation	GPS-based (system agnostic)	16 nodes; bandwidth <1%; stable operation at 99% network load	ISO 11783 compliance required

2.2.1. Radar-based system

The Turn Compensation Control System (TCCS) developed by Ding et al. (2022) was designed to reduce the seed spacing errors caused by velocity differences arising between the inner and outer row units during turning manoeuvres in precision maize planting. The system consists of four main components: (1) an Android tablet used as the operator interface, (2) dual radar sensors mounted on the left and right ends of the planter, (3) a central control unit that processes the data, and (4) a row drive system (RDS) comprising brushless direct current (BLDC) motors operating independently for each row, a gearbox and a vacuum-type seed disc (Figure 3).

Figure 3. Layout and main components of the Turn Compensation Control System (TCCS) on the planter: Android tablet, central controller, left and right radar sensors, BLDC drive and seed meter (Ding et al., 2022).

The operating principle of the system is based on the measurement of the instantaneous velocities of the two end points of the planter by radar sensors. These data are used to distinguish straight travel from turning motion and are transmitted to the central controller in the form of a PWM signal. Here, PWM is considered not as a control mechanism but as a signal carrier that enables the numerical transfer of velocity information. The controller calculates the instantaneous linear velocity of each row unit using a mathematical approach based on rigid-body kinematics and the Ackermann steering model (Figure 4). The velocity values obtained are converted into motor speeds by taking into account the target seed spacing (25 cm), the number of cells on the seed disc (H = 25) and the motor–seed disc transmission ratio ($\mu = 50$), and are transmitted to the relevant drives via the CAN-bus protocol.

The performance of the system was evaluated by simulations carried out in the MATLAB/Simulink environment and by field experiments. In the simulations, speed measurement accuracy (SA), turning radius (TR) and turning speed (TS) were considered as the main parameters. The field trials were conducted in the Zhucheng region of Shandong Province, China, using a six-row MaterMacc 2BMQE-6A precision planter and a Lovol M904-E tractor, in combinations of three different turning radii (7, 14 and 28 m) and three different planting speeds (4, 6 and 8 km h^{-1}).

The results obtained show that, when turn compensation was activated, the planting rate error percentages remained at 4.52%, 2.12% and 2.77% for the 7, 14 and 28 m turning radii, respectively. When the system was deactivated, the same values were recorded as 19.41%, 9.04% and 5.47%. These findings reveal that the TCCS considerably reduces the seeding irregularities occurring during turning maneuvers, improves seeding uniformity and lowers seed waste.

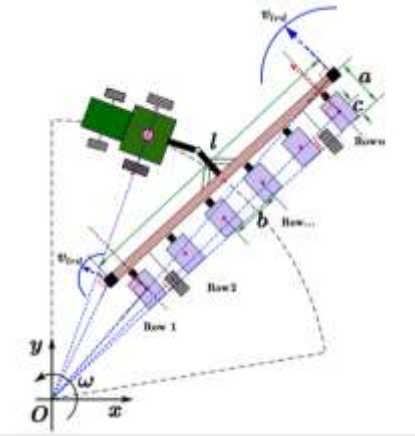


Figure 4. Operating principle of the turn compensation system: velocity differences resulting from the inner and outer row units travelling at different radii during left and right turns, and the kinematic model parameters (Ding et al., 2022).

2.2.2. GPS-based system

He et al. (2021) developed and experimentally evaluated a GPS-based turn compensation control system in order to reduce the seed spacing irregularities caused by velocity differences arising between the inner and outer row units during turning manoeuvres in maize planting. The main feature of the study is that the turning radius and linear velocity of each seeding unit are calculated in real time using position, velocity and heading data obtained from a single RTK-GPS receiver (Topcon HiPer-V) mounted only on the tractor (Figure 5). This approach eliminates the need for additional speed sensors and facilitates integration with existing tractor navigation systems.

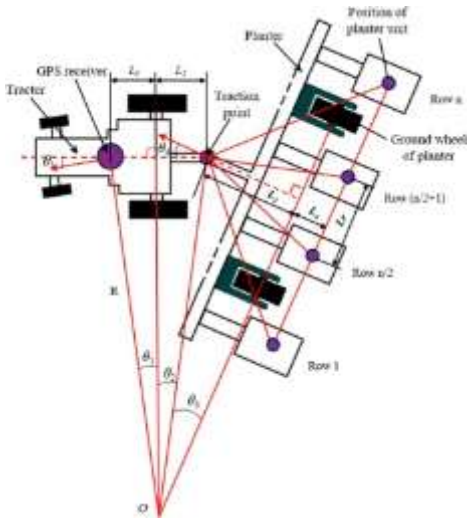


Figure 5. Kinematic model of the GPS-based turn compensation system: planter geometric parameters (L_1–L_4, L_r) and calculation of the turning radius based on three consecutive GPS position points (He et al., 2021).

The system consists of a 12 V power supply, an RTK-GPS receiver, an Android tablet interface, an RS232–CAN–USB communication controller, DC converters, a BLDC motor-driven pneumatic seed meter and control units integrated into each row. Using three consecutive

position points obtained from GPS, the instantaneous turning radius of the tractor is calculated; this value is evaluated together with the planter geometric parameters (L1, L2, L3, L4 and row spacing Lr) to determine the linear velocity of each row unit. The calculated velocity values are converted into rotational speeds of the BLDC motors and transmitted to the motor drives via the CAN-bus protocol (Figure 6).

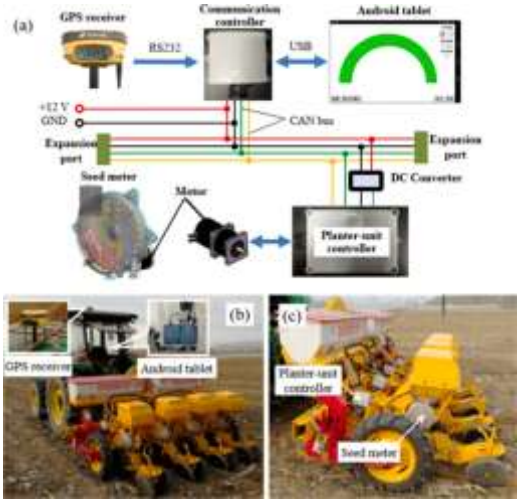


Figure 6. Components of the GPS-based turn compensation system: (a) system architecture; (b) mounting of the GPS receiver and Android tablet; (c) layout of the seeding unit controller and seed meter (He et al., 2021).

The performance of the system was evaluated in the MATLAB/Simulink environment under the parameters of GPS position accuracy (0.02–2 m), GPS sampling frequency (1–5 Hz), travel speed (3–9 km h^{-1}) and turning radius (10–30 m). The simulation results showed that, under conditions of 0.02 m position accuracy and 1 Hz GPS frequency, the coefficient of fitness (CF) was above 0.94. The field trials were carried out in Hebei Province, China, with a four-row pneumatic planter, using the prescription map shown in Figure 7. Within the turning radius range of 10–30 m, the mean seeding accuracy remained above 97% and the seed spacing coefficient of variation (SCV) below 1.52%. In irregularly shaped fields, the system was found to optimise seed use by 15%–17%. The economic losses of USD 27–90 per acre that occur when turn compensation is not applied were largely prevented by the system, and a yield increase of 5.1 bushels per acre was reported.

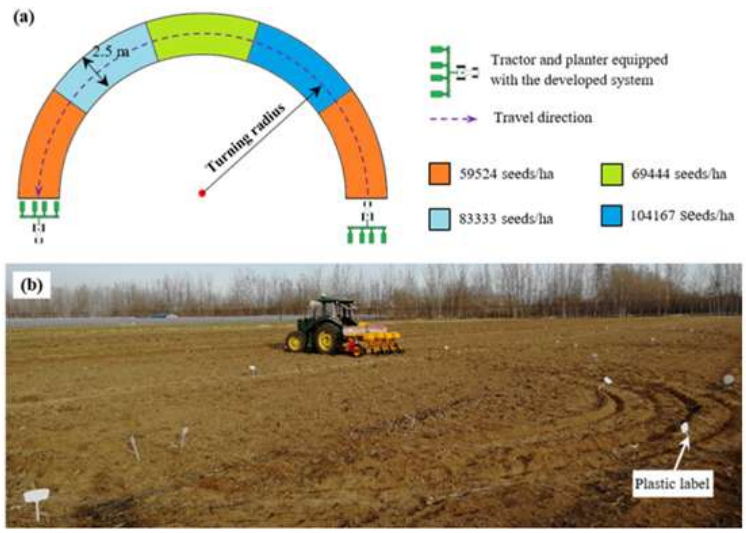


Figure 7. Seeding prescription map used for the evaluation of the turn compensation algorithm, together with the markings showing the boundaries of the trial area (He et al., 2021).

2.2.3. Commercial system example

The Curve Compensation system developed by Kinze Manufacturing uses a drive structure based on independent electric motors for each row in electrically driven seeding units. This system adjusts in real time the rotational speed of each row unit during turning, based on angular velocity (yaw rate) data obtained from the tractor navigation system or an external GPS source.

The main objective of the system is to reduce the differences in within-row seed density that occur during turning maneuvers, particularly in planters with large working widths (16 rows and above), and to provide a homogeneous plant distribution across all rows. Through this approach, a consistent row population is obtained and the seeding irregularities that arise during turns are largely eliminated (Lyle, 2018).

As shown in Figure 8, when compensation is not applied, the within-row spacing and seed density vary markedly, whereas with compensation active a more homogeneous distribution is obtained across all rows. This system increases seeding uniformity by compensating, through motor-based independent control, the kinematic velocity differences that arise from each row travelling at a different radius during turning manoeuvres.

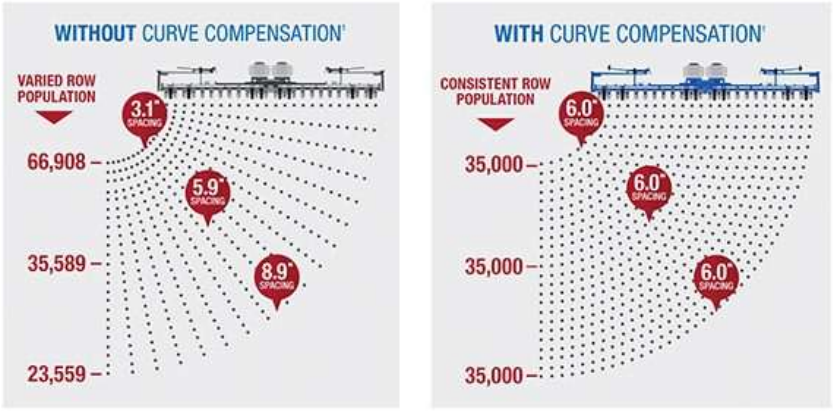


Figure 8. Kinze curve compensation system: comparison of row population without compensation (left) and with curve compensation active (right) (Lyle, 2018).

2.2.4. Economic and agronomic impact

Mishler (2021) and Mishler et al. (2024) evaluated comprehensively the economic and agronomic effects of turn compensation technology in irregularly shaped fields. In these studies, the target rotational speed of each row unit was calculated using yaw rate data, and a constant seeding rate per hectare was maintained by means of electric drive systems. The effect of turn compensation on in-field distribution was clearly demonstrated. When the system was deactivated, a spacing reduction of up to 44% was observed in the inner rows and a spacing expansion of up to 79% in the outer rows. When turn compensation was activated, these deviations fell to 6% and 3%, respectively. Similarly, the planting rate error was reported to decrease from the range of 30.9%–570.1% to the range of 0.1%–10.4% (Mishler et al., 2024). The researchers classified turning manoeuvres into four categories according to their radii: $r < 20$ m (extreme turn), $20 \leq r < 50$ m (moderate turn), $50 \leq r < 100$ m (mild turn) and $r > 100$ m (straight pass). In the economic analyses based on this classification, an average seed saving of USD 11.4 per acre was determined under moderate turning conditions and USD 91.2 per acre under extreme turning conditions. The net economic gain varied between USD 6.5 and 86 per acre (approximately USD 16–212 per hectare), and it was calculated that on farms with approximately 400 acres of moderate-turn area or 30 acres of extreme-turn area the system recovers its investment cost within about five years. Overall, the findings show that turn compensation not only increases seeding uniformity but also improves economic efficiency and agronomic performance together by optimising input use.

2.2.5. Scalable control architecture

Sama et al. (2015) demonstrated that turn compensation in seeding and spraying systems is not only an algorithmic problem but also a hardware-based communication engineering problem. Within this scope, the researchers developed a test setup consisting of 16 control nodes and

enabled variable-rate control commands to be transmitted over the CAN-bus with a single data message. The system allows the intermediate nodes to calculate their own application rates by linear interpolation, based on the rate values sent to the end nodes.

The experimental results showed that the total bandwidth utilization on a CAN network operating at 250 kbps remained below 1%. Furthermore, it was reported that the system continued to operate stably and accurately even when the network load reached 99%. The message structure, consisting of only two data bytes, reduces latency and thereby ensures the sustainability of real-time control. Compliant with the ISO 11783 (ISOBUS) standard, this architecture can be integrated into existing commercial systems through software updates.

These results show that the applicability of turn compensation systems in large-scale agricultural machinery depends not only on the control algorithms but also on efficient, low-latency communication architectures. Especially in systems containing many row units or application points, this CAN-bus-based approach offers an important solution in terms of scalability.

2.2.6. Seed monitoring and compensation in potato planting

Wang et al. (2020) developed an infrared sensor-based seed monitoring and catching-up compensation control system to reduce seed metering errors in potato planting and to simplify the machine structure. The main feature of this system is that it performs the compensation process without using an additional seed transfer channel. The system operates with two separate power sources based on a dual one-way clutch principle on a single spoon-type metering mechanism. The first of these sources is the normal seeding power connected to the wheel drive, and the second is an auxiliary motor system used for compensation (Figure 9).

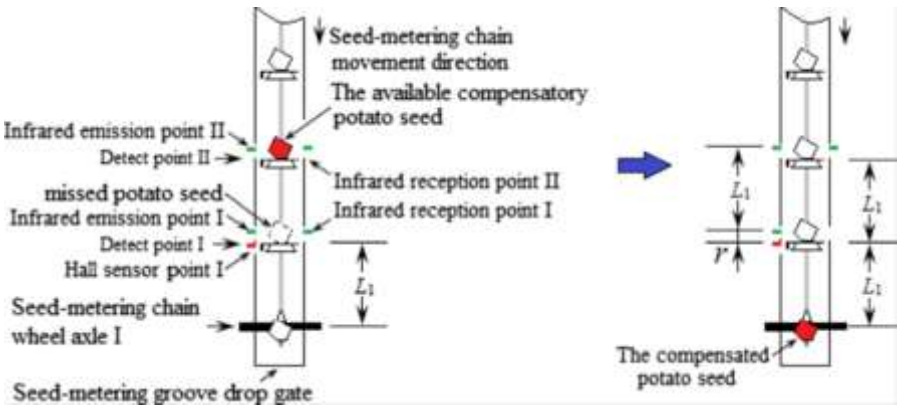


Figure 9. Infrared sensor-based seed monitoring and catching-up compensation system on a potato planter: (a) detection of a miss-seeding event; (b) compensation of the missing potato seed (Wang et al., 2020).

The field trials revealed that the miss-seeding rate decreased from approximately 4% to 1% and that the system exhibited stable performance at forward speeds of up to 0.8 m/s. Thanks to the mechanical prioritization approach, high-accuracy compensation was achieved without the need for complex electronic control loops.

Unlike classical turn compensation approaches based on turning kinematics, this method offers a correction mechanism based on the detection of miss-seeding. Therefore, the study is regarded as a complementary control approach targeting seeding line continuity rather than turn compensation as such. The system constitutes a reference for an alternative precision seeding control approach that could be applied to different crops such as maize, cotton and vegetables.

2.3. Turn compensation applications in sprayers

In field sprayers, turn compensation covers systems that correct in real time, at the level of each nozzle, the flow rate deviations caused by linear velocity differences between the inner and outer ends of the boom. As in planters, this problem originates from the kinematic velocity differences occurring during turns. Under turning conditions, the inner end of the boom moves at a lower linear velocity than the outer end, and this leads to application heterogeneity in systems operating at a constant flow rate.

In conventional spraying systems, flow control is generally provided by changing the system pressure, and therefore the velocity differences occurring at the nozzle level cannot be compensated. This approach results in over-application in the inner regions and under-application in the outer regions during turning maneuvers.

Pulse Width Modulation (PWM) technology makes it possible to control the target flow rate without changing the system pressure and droplet characteristics, by adjusting the duty cycle of each nozzle independently. This feature makes PWM-based systems the principal technological solution for turn compensation in sprayers. Table 2 summarizes comparatively the principal studies in this field.

2.3.1. Turn classification and risk analysis

In the literature, turning conditions are classified into four categories according to the expected velocity difference across the boom (Fabula & Sharda, 2021; Mishler, 2021):

- Extreme turn ($r < 20$ m): inner–outer end velocity difference >85%; highest risk of application error.
- Moderate turn ($20 < r < 50$ m): velocity difference ≥25%; the PWM system operates under high load.

- Mild turn (50 < r < 100 m): velocity difference just above the turn compensation threshold.
- Straight pass (r > 100 m): no appreciable turning effect.

In a field study carried out in three different fields, Fabula et al. (2022) determined that turns constituted 17%–22.5% of the total application time and that a large proportion of this time fell into the moderate and extreme turn categories. This finding clearly reveals the critical role of field geometry in the spraying process.

Table 2. Comparative analysis of turn compensation systems for sprayers

Reference	Technology	Positioning System	Key Findings	Limitations
Fabula & Sharda (2021)	PWM control, ECU	RTK-GPS	Dose error during turns reduced; uniformity increased	Insufficient compensation in pivot-like turns
Fabula et al. (2022)	PWM, automatic control algorithm	DGPS and RTK-GPS	With compensation off, inner end +1058%, outer end −48%; uniformity improved ~90% with PWM	Duty-cycle instability in sharp turns
Dos Santos Carreira & da Silva (2022)	PWM valve, ECU, flow sensors	RTK-GPS	50 m boom, 25 m radius: max. error 4900 L/ha, CV = 225.94%	PWM alone cannot provide full compensation; pressure control required
Porter et al. (2013)	Capstan PinPoint® PWM system	Simulated GPS	With compensation on, error within ASABE ±10%; a 5:1 speed difference was successfully compensated	Solenoid valve differences may cause small deviations between nozzles
Bergman (2021)	PWM-based duty-cycle control	GPS-assisted turn tracking	120 ft boom; with PWM off, inner end ~4× over-application; with compensation, the 10 gal/ac target was maintained throughout	In circular plots the inner nozzle operates at 20% duty cycle, close to the lower limit

2.3.2. PWM-based turn compensation

Fabula and Sharda (2021) evaluated the field performance of the turn compensation algorithm on PWM-equipped self-propelled sprayers (Figure 10). The study showed that the linear velocity differences arising between the inner and outer ends of the boom during turning lead

to serious deviations in application rates. When compensation was deactivated, flow rate deviations of up to +1058% on the inner boom arm and −48.2% on the outer boom arm were measured. By adjusting the duty cycle of each nozzle in real time as a function of the turning geometry, PWM technology largely reduced these deviations and provided an improvement of approximately 90% in application uniformity.

Figure 10. Self-propelled agricultural sprayer used in the study (Fabula et al., 2022).

Fabula et al. (2022) carried out comprehensive field trials in three different fields with a sprayer having a boom width of 36.6 m. The turning radius was determined using GPS data and the turning manoeuvres were divided into four categories: <20 m (extreme turn), 20–50 m (moderate turn), 50–100 m (mild turn) and >100 m (straight pass). The analyses revealed that turning maneuvers constituted 17%–22.5% of the total application time and that field geometry has a determining effect on spraying performance.

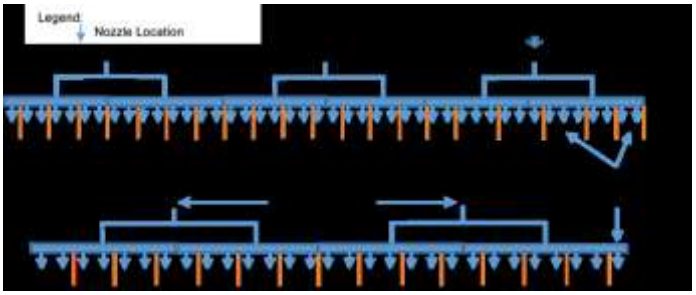


Figure 11. PWM-based automatic nozzle control system: the nozzle valves are controlled independently in single, double or triple groups (Fabula et al., 2022).

When PWM-based turn compensation was activated, the duty cycle of each nozzle was adjusted according to real-time velocity changes (Figure 11); the target application rate was maintained throughout the turn and volume distribution errors were reduced by approximately 90%. The findings show that PWM-based turn compensation provides important advantages in terms of application uniformity, chemical use efficiency and precision, particularly in areas requiring manoeuvring such as irregular field shapes, waterways and boundary zones.

2.3.3. The critical role of boom width

Dos Santos Carreira and da Silva (2022) examined the effect of boom width on turn-induced application errors in sprayers using a numerical modelling approach. In the study, boom widths ranging from 18 to 50 m and turning radii in the range of 25–150 m were simulated and the variation of application errors was analysed (Figure 12). The results obtained showed that application errors increase exponentially as the boom width increases and the turning radius decreases. In the most unfavourable scenario, the maximum error was calculated as 4900 L/ha and the coefficient of variation as 225.94%.

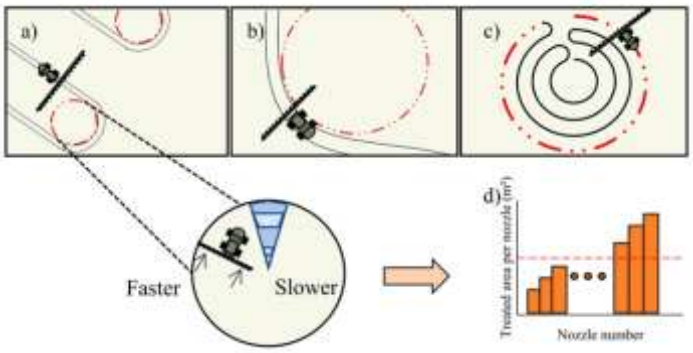


Figure 12. Situations caused by turning and circular movements (TCM): (a) back-and-forth manoeuvre, (b) obstacle avoidance, (c) centre pivot irrigation system and (d) variation of the area covered per nozzle (Dos Santos Carreira & da Silva, 2022).

The study revealed that PWM valves can considerably reduce turn-induced errors but may not be sufficient on their own, particularly in wide-boom systems. It was stated that forcing the duty cycle values into extremely low (<10%) or extremely high (>90%) operating ranges can adversely affect system stability. For this reason, it was emphasised that in some cases integration with pressure control or multiple-valve architectures is necessary. The findings show that integrated turn compensation solutions are critical in design terms, especially for sprayers with large working widths. This is regarded as an important engineering constraint in terms of both application accuracy and input efficiency and the reduction of environmental impacts.

2.3.4. Laboratory validation

Porter et al. (2013) evaluated the laboratory performance of the commercial Capstan PinPoint® turn compensation system. In the study, an 11-nozzle setup representing a 36.6 m boom width was used and tests were carried out on S-shaped paths generated with simulated GPS signals. Under four different turning radius conditions (75%, 125%, 250% and 500% of the boom width), the nozzle flows were measured at high frequency using load cells (Figures 13 and 14).

Figure 13. Laboratory test setup for turn compensation (Porter et al., 2013).

The results showed that, when compensation was deactivated, the application errors reached the range of 20%–60% as the turning radius decreased. When compensation was activated, the system errors were found to remain within the ±10% limits recommended by the ASABE standards. Even under the tightest turning conditions, although a velocity difference of approximately 5:1 occurred between the inner and outer nozzles, the system compensated this variability effectively.

Figure 14. Measurement and flow setups used in the laboratory test (Porter et al., 2013).

The study revealed that small nozzle-level deviations arising from solenoid valve tolerances were present, but that these did not significantly affect system-level performance. Overall, the system exhibited high performance in terms of accuracy, response time, repeatability and stability. Porter et al. (2013) emphasised that the integration of such turn compensation systems into field applications is feasible and that they may become a standard control component of sprayers in the future.

2.3.5. Industrial application example

The StrictSprayPlus system developed by Agrifac Machinery B.V. is described as a commercial solution that provides position-based flow rate optimisation during turning by controlling each nozzle individually. During turning movements, the system adjusts the flow rate independently according to the instantaneous linear velocity of each nozzle and thus aims to maintain the target application rate along the entire length of the boom (Agrifac Machinery

B.V., 2025; Figures 15 and 16). This structure places it among the systems that perform turn compensation not only on a section basis but at the nozzle level.

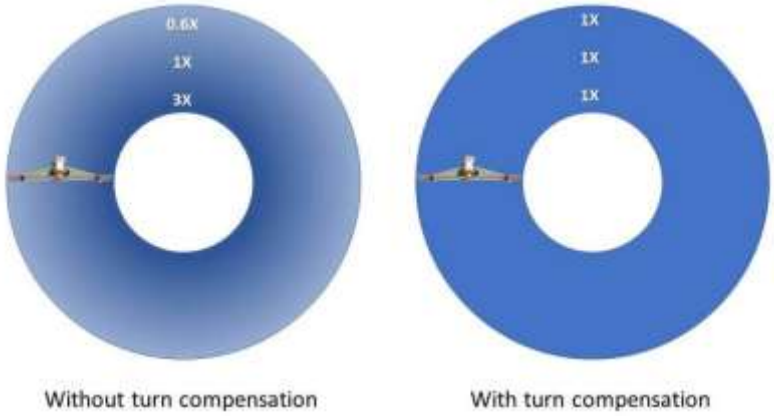


Figure 15. Comparison of chemical distribution during a turn in systems without compensation (left, 3× inner / 0.6× outer) and with compensation (right, 1× along the whole boom) (Wolf, 2025).

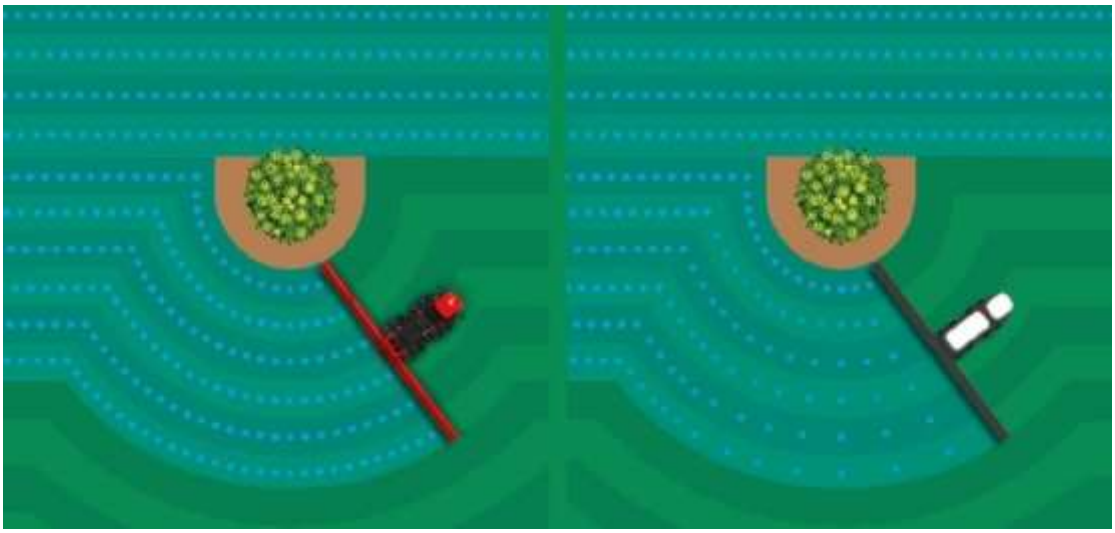


Figure 16. Comparison of spraying without (left) and with (right) turn compensation using the Agrifac StrictSprayPlus system (Agrifac Machinery B.V., 2025).

The environmental dimension of PWM-based turn compensation was addressed separately by Wolf (2025). In that study, it was stated that the reduction of the selection pressure exerted on weeds in low-dose application zones is an important mechanism limiting the development of herbicide resistance. From this perspective, turn compensation is regarded not only as a control approach that increases application accuracy but also as a management strategy contributing to long-term environmental sustainability.

2.4. Comparative evaluation of the turn compensation systems

The turn compensation systems developed for planters and sprayers differ markedly from one another in terms of the controlled object, the sensor infrastructure and the response time. Table 3 compares these two application fields in terms of the main technical dimensions.

Table 3. Comparison of planter and sprayer turn compensation systems

Criterion	Planter	Sprayer
Basic control principle	Electric row unit drive (BLDC motor)	PWM-based nozzle valve control
Controlled object	Seed (seeds/ha)	Liquid flow rate (L/ha)
Critical sensors	RTK-GPS + IMU (optional radar)	RTK-GPS + PWM valve sensors
Control communication	CAN-bus (ISO 11783)	CAN-bus (ISO 11783)
System response time	100–300 ms	5–20 ms
Principal error type	Seed spacing irregularity	Flow rate and deposition deviation
Compensation performance	>97% accuracy (He et al., 2021)	±10% error (Porter et al., 2013)
Commercial system examples	Kinze electric drive (Lyle, 2018), Fast 9500T (Fast Ag Solutions, 2025)	Capstan PinPoint® (Porter et al., 2013), Agrifac StrictSprayPlus (Agrifac Machinery B.V., 2025)
Main limitation	Motor latency, dependence on GPS frequency	PWM valve limits, control stability on wide booms

This comparison shows that the two systems are based on a common kinematic problem but have different solution spaces in terms of control dynamics. Thanks to PWM valve technology, sprayer systems can respond rapidly at the millisecond scale and thus offer a more dynamic control structure. On the other hand, in wide-boom systems individual valve control may not provide sufficient compensation under some conditions; this makes additional control strategies necessary, particularly at large working widths (Dos Santos Carreira & da Silva, 2022).

In planters, because the controlled object is directly related to the mechanical drive system, the system response is slower. The inertia of the BLDC motors and the mechanical delays of the seed disc are the main factors limiting the exact tracking of instantaneous velocity changes, particularly at narrow turning radii. A common limiting factor for both systems is the sampling

frequency of the GPS data. He et al. (2021) showed that low-frequency GPS systems detect the onset of a turn with a delay and that this increases control errors. In contrast, GPS–IMU fusion or high-frequency position updates (≥5 Hz) enable the turning geometry to be modelled more accurately and thus markedly increase compensation accuracy. Overall, the findings show that the success of turn compensation systems depends not only on the control algorithm but on the holistic performance of sensor quality, actuator dynamics and communication infrastructure.

3. CONCLUSION

This review evaluated the effects of turn compensation technology on application accuracy in agricultural machinery, with particular emphasis on sprayers and precision planters. The findings demonstrate that turn compensation is an important component of precision agriculture, as kinematic velocity differences occurring during turning maneuvers can lead to substantial variations in application rates and seed spacing. These variations not only result in inefficient input utilization but may also cause agronomic consequences, including irregular seed placement, nonuniform crop emergence, heterogeneous herbicide distribution, and potential yield losses. By dynamically adjusting application rates according to the instantaneous velocity of individual nozzles or row units, turn compensation systems contribute to maintaining application uniformity and improving the overall performance of agricultural machinery under curved operating conditions. Technological developments in pulse-width modulation (PWM) and independent electric drive systems have significantly enhanced the feasibility and effectiveness of turn compensation. In agricultural sprayers, PWM-based nozzle control enables rapid and independent regulation of application rates, allowing the system to respond to velocity differences across the boom during turning maneuvers. Similarly, independently driven row units equipped with brushless direct current (BLDC) motors enable precise adjustment of seed metering rates according to the instantaneous ground speed of each row. When integrated with GNSS-based positioning and advanced control algorithms, these technologies can improve the consistency of application rates and seed placement during both straight-line operation and turning maneuvers. However, their effectiveness depends on several factors, including sensor accuracy, control-loop frequency, actuator response time, and the ability of the system to accommodate variations in operating conditions. The reviewed studies also indicate that turn compensation technology offers potential economic and environmental benefits by reducing unnecessary input consumption and improving application uniformity. In sprayer applications, pesticide savings ranging from 10% to 25% have been reported (Fabula et al., 2022). In precision planting systems, turn compensation can reduce seed losses, improve

seed spacing uniformity, and contribute to more consistent crop emergence. Furthermore, previous economic assessments have suggested that the investment costs associated with these technologies may be recovered over approximately five years, depending on machinery configuration, field conditions, and operational intensity (Mishler, 2021; Mishler et al., 2024). Improved herbicide distribution may also help reduce localized underapplication and overapplication, potentially contributing to more effective weed management and reduced selection pressure associated with sublethal herbicide exposure (Wolf, 2025). Nevertheless, the magnitude of these benefits is influenced by field geometry, turning frequency, equipment characteristics, and management practices, highlighting the importance of evaluating turn compensation performance under diverse agricultural conditions. Despite these advantages, several technical limitations remain. In PWM-based spraying systems, duty cycles approaching their operational limits during sharp turns can restrict the available compensation range and reduce application stability. For wide-boom sprayers, independent nozzle control alone may be insufficient to maintain the target application rate across the entire boom, particularly under conditions involving substantial velocity differences. Consequently, integration with pressure regulation systems or multiple-valve control architectures may be necessary to achieve more effective compensation (Dos Santos Carreira & da Silva, 2022). In precision planting systems, low-frequency GNSS measurements and delays in control signal processing may reduce the ability of individual row units to respond accurately to rapid changes in turning dynamics. Higher-frequency GNSS positioning, preferably at 5 Hz or above, and GNSS–IMU sensor fusion represents promising approaches for improving velocity estimation, reducing control latency, and enhancing seed placement accuracy during curved trajectories. However, the optimal sensor configuration and control frequency should be determined according to the operating speed, turning radius, machine geometry, and dynamic response characteristics of the application system.

Future developments in turn compensation technology are expected to focus on higher-frequency control architectures, improved sensor integration, and intelligent decision-making algorithms capable of adapting to changing field and machinery conditions. The integration of GNSS–IMU sensor fusion with artificial intelligence-based adaptive control and digital twin technologies may enable more accurate prediction of machine dynamics and proactive adjustment of application rates before significant deviations occur. Furthermore, the increasing adoption of autonomous agricultural machinery creates opportunities to incorporate turn compensation directly into integrated motion planning and application control architectures.

Future research should therefore prioritize the development and field validation of unified control frameworks that combine real-time machine kinematics, individual actuator management, and variable-rate application. Particular attention should be given to system performance under sharp turning conditions, sensor uncertainty, actuator saturation, and varying operating speeds, as well as to the long-term agronomic and economic benefits of these technologies. Overall, turn compensation should be considered not merely a control mechanism for improving application accuracy but also an enabling technology for enhancing input-use efficiency, environmental sustainability, and the operational performance of precision agricultural machinery. Its integration into modern spraying and planting systems has the potential to reduce application variability, minimize input losses, and improve the consistency of agricultural operations. Continued advances in sensing, control, and autonomous machinery technologies, together with comprehensive field-based validation and the development of standardized performance evaluation procedures, will be essential for supporting the wider adoption of turn compensation systems in future precision agriculture applications.

REFERENCES

Agrifac Machinery B.V. (2025). *StrictSprayPlus: The guarantee to spray with the desired rate at the right place*. https://www.agrifac.com/optional-spray-technology/strictsprayplus/

Bechman, T. J. (2022, March 21). *How turn compensation feature on planter works*. Farm Progress. https://www.farmprogress.com/planting/how-turn-compensation-feature-on-planter-works

Bergman, R. W. (2021, March 5). *Turn compensation – A benefit of PWM sprayer technology*. Iowa State University Extension and Outreach. https://crops.extension.iastate.edu/post/turn-compensation-benefit-pwm-sprayer-technology

Ding, Y., He, X., Yang, L., Zhang, D., Cui, T., Li, Y., Zhong, X., Xie, C., Du, Z., & Yu, T. (2022). Low-cost turn compensation control system for conserving seeds and increasing yields from maize precision planters. *Computers and Electronics in Agriculture, 199*, 107118. https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107118

Dos Santos Carreira, V., & da Silva, R. P. (2022). Rate errors in sprayer turning and circular movements: PWM valve as compensation system and why spray boom size matters. *Crop Protection, 151*, 105835. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105835

Fabula, J., & Sharda, A. (2021). *Field evaluation of turn compensation feature of pulse width modulation (PWM) equipped agricultural sprayer* [Conference paper]. ASABE Annual International Virtual Meeting.

Fabula, J. V., Sharda, A., & Mishler, B. (2022). Quantification of self-propelled sprayers turn compensation feature utilization and advantages during on-farm applications. *Precision Agriculture, 23*(5), 1675–1687. https://doi.org/10.1007/s11119-021-09849-6

Fast Ag Solutions. (2025). *9500T*. https://fastagsolutions.com/products/9500t/

He, X., Zhang, D., Yang, L., Cui, T., Ding, Y., & Zhong, X. (2021). Design and experiment of a GPS-based turn compensation system for improving the seeding uniformity of maize planter. *Computers and Electronics in Agriculture, 187*, 106250. https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106250

Lyle, R. (2018, January 15). *Which meter drive is right for you?* Kinze Manufacturing. https://www.kinze.com/which-meter-drive-is-right-for-you/

Mishler, B. D. (2021). *Quantifying seed uniformity and yield advantage of precision planter technologies through use of field tests and machine data* [MS thesis, Kansas State

University]. https://krex.k-state.edu/server/api/core/bitstreams/51287565-2c9f-44fa-881b-afd237570dc4/content

Mishler, B., Badua, S., & Sharda, A. (2024). Benefits of planter turn compensation on irregular shaped fields. *Applied Engineering in Agriculture*, *40*(3), 293–301. https://doi.org/10.13031/aea.15567

Porter, W. M., Rascon, J., Shi, Y., Taylor, R. K., & Weckler, P. (2013). Laboratory evaluation of a turn compensation control system for a ground sprayer. *Applied Engineering in Agriculture*, *29*(5), 655–662. https://doi.org/10.13031/2013.42576

Sama, M. P., Luck, J. D., & Stombaugh, T. S. (2015). Scalable control architecture for variable-rate turn compensation. *Applied Engineering in Agriculture*, *31*(3), 425–435. https://doi.org/10.13031/aea.31.10731

Wang, G., Sun, W., Zhang, H., Liu, X., Li, H., & Yang, X. (2020). Research on a kind of seeding-monitoring and compensating control system for potato planter without additional seed-metering channel. *Computers and Electronics in Agriculture*, *177*, 105681. https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105681

Wolf, T. (2025). *Reducing selection pressure for herbicide resistance*. Sprayers 101. https://sprayers101.com/reducing-selection-pressure-for-herbicide-resistance/

Zhang, C., Zhai, C., Zhang, M., Zhang, C., Zou, W., & Zhao, C. (2024). Staggered-phase spray control: A method for eliminating the inhomogeneity of deposition in low-frequency PWM variable spray. Agriculture, 14(3), 465. https://doi.org/10.3390/agriculture14030465

CONFIGURATION-DRIVEN AUTOMATION OF E-COMMERCE SITE LAUNCH IN MULTI-COUNTRY RETAIL OPERATIONS: AN INDUSTRIAL EXPERIENCE REPORT

Aylin ARSLAN
Flo Technology, Istanbul, Türkiye
E-mail: aylin.arslan@flo.com.tr
ORCID: 0009-0009-9573-6697

ABSTRACT

In multi-country retail organisations, entering each new market is typically executed as a separate software development project: domain and network definitions, environment provisioning, product and stock integration, storefront templates, payment, logistics and invoicing processes are configured again and largely manually for every new site. This extends time-to-market and increases development cost through repetitive work. This study presents, as a case study, the design and real-world organisational deployment of a configuration-driven e-commerce site launch platform intended to eliminate this repetitive development burden. In the proposed approach, the components of the e-commerce infrastructure are moved out of site-specific hard-coded definitions at source code level into a dynamic definition and configuration layer. Product and stock data are retrieved from the enterprise resource planning system through sales-organisation-based parameters; storefront templates are generated automatically for both left-to-right and right-to-left writing directions; environment provisioning is templated through infrastructure-as-code and continuous integration pipelines; and payment, warehouse, shipping and invoicing integrations are converted into packaged structures definable from an administration panel. A generalised client class hierarchy was defined for the payment flow, and the checkout flow was re-implemented as a separate service. As a result, launching a new site ceased to be a software development project and became a configuration task; storefront development and total launch durations were reduced from a scale of months to considerably shorter periods. The study offers practical experience on the combined application of headless architecture, microservices and infrastructure automation in a multi-country retail context, and contributes to a gap that has received limited attention by incorporating right-to-left writing support into template automation.

Keywords: e-commerce infrastructure, configuration-driven architecture, microservices, infrastructure as code, multilingual support, right-to-left text, omnichannel retail

1. INTRODUCTION

Retailing has become one of the fastest-growing and most competitive sectors worldwide. Electronic commerce has emerged as a decisive channel for the growth of retail businesses,

offering uninterrupted selling hours, real-time stock visibility and lower operating costs compared with physical stores (Chaffey, 2019; Turban et al., 2018). The transition from multi-channel to omnichannel structures requires organisations to operate sales channels simultaneously across different geographies, and in this environment customer orientation and speed stand out as the principal determinants of success (Brynjolfsson et al., 2013; Verhoef et al., 2015).

In practice, however, entering a new market in a multi-country organisation is executed less as a marketing or operational decision than as a software development project. For every new country or sales channel, domain and network definitions must be created, development and production environments provisioned, product and stock data transferred from the enterprise resource planning (ERP) system, storefront templates adapted to the new language and market, and payment, warehouse, shipping and invoicing integrations defined. Performing these steps again and largely manually for each site extends time-to-market and increases development cost through repetitive work.

In the case organisation examined in this study, storefront development prior to the project took approximately three months for domestic launches and approximately six months for international launches, while the total site launch process ranged between twelve and eighteen months. In addition, a separate localisation effort was mandatory for every new language, and no storefront support existed for right-to-left languages.

The aim of this study is to report the design of a configuration-driven site launch platform intended to eliminate this repetitive development burden, together with its deployment in a real organisational setting. The contribution can be summarised under three headings: (i) presenting a design approach for moving the components of an e-commerce infrastructure out of site-specific hard-coded definitions into a configuration layer, (ii) incorporating right-to-left and left-to-right writing directions into template generation automation, and (iii) sharing applied findings on the feasibility of the approach in a multi-country, high-transaction-volume retail environment.

The remainder of the paper is organised as follows. Section 2 presents the conceptual framework and related work, Section 3 the method followed, Section 4 the findings obtained from the deployment, and Section 5 the conclusion together with directions for future work.

2. CONCEPTUAL FRAMEWORK AND RELATED WORK

The approach in which the storefront and the back end are decoupled through application programming interfaces, referred to in the literature as headless or decoupled architecture, rests

on the REST architectural style, where resources are represented through uniform interfaces (Fielding, 2000). Because this decoupling allows the same back-end services to be reused by different presentation layers, it is particularly valuable in multi-channel and multi-market scenarios.

Microservice architecture prescribes the decomposition of a system into independently deployable and independently scalable services (Newman, 2021). Richardson (2018) notes that the benefit of such decomposition depends on the correct identification of service boundaries, and that poorly placed boundaries lead to a distributed monolith. This principle guided the positioning of the payment, logistics and checkout flows as separate services in the present work.

Continuous delivery and infrastructure-as-code (IaC) approaches enable environment provisioning to be carried out in a repeatable and version-controlled manner (Humble & Farley, 2010; Morris, 2020). Kim et al. (2016) and Forsgren et al. (2018) demonstrate that transferring repetitive manual work to automation yields measurable improvements in lead time and change failure rate. In this study, site launch itself was treated as belonging to the class of repetitive manual work described in that literature and was therefore brought within the scope of automation.

Multilingual support and right-to-left writing direction constitute a standardised area governed by the Unicode Bidirectional Algorithm and W3C internationalisation guidance (Unicode Consortium, n.d.; World Wide Web Consortium, n.d.). A review of the literature indicates, however, that these standards are predominantly discussed at the level of text rendering and are not treated as a parameter of template generation automation within a multi-market e-commerce infrastructure. The present study addresses this gap.

On the practical side, the commercial e-commerce infrastructure solutions surveyed were assessed in two groups. Providers operating in the national market generally offer solutions oriented towards small and medium-sized enterprises, focused on rapid setup and delivered through a packaged service model; while adequate in terms of core functionality and standard payment and shipping integrations, they do not satisfy requirements for ERP integration, country-specific business rule definition or source-code-level flexibility. International solutions, although strong in ease of use, multilingual and multi-currency capability or high traffic capacity, do not provide the degree of customisation and enterprise system integration required in the scenario examined. The survey concluded that no integrated solution was available that simultaneously offered ERP-based dynamic product integration, template

automation with bidirectional writing support, environment provisioning automation and a dynamically configurable checkout flow.

3. METHOD

The study adopts the single case study approach widely used in software engineering for examining industrial practice (Runeson & Höst, 2009; Yin, 2018). The unit of analysis is the e-commerce infrastructure of a retail organisation headquartered in Türkiye that operates numerous e-commerce sites domestically and internationally. The study draws on a sixteen-month development project conducted within the research and development centre of the organisation.

3.1. Analysis of the Existing Situation and Requirements Elicitation

The project began by mapping the existing site launch process step by step. Under the headings of network and domain definitions, environment provisioning, product and stock integration, storefront templates, back-end service definitions, warehouse and shipping integrations, payment methods, invoicing and reconciliation processes, and customer communication templates, it was determined which steps were performed manually and which required site-specific code changes. The resulting requirements were classified as functional, performance and security requirements.

3.2. Design Principles

Four principles guided the design of the solution:

- Moving all site-specific definitions out of the source code into a dynamic definition layer maintained in the database and the administration panel.
- Enabling the launch of a new site through parameter entry rather than code change.
- Binding integrations to reusable packaged structures rather than to individual sites, so that a new site working with an existing partner requires no additional development.
- Templating environment provisioning so that infrastructure is managed as code and executed through continuous integration pipelines.

3.3. Components Developed

The components developed in line with these design principles and the capabilities they provide are summarised in Table 1. For reasons of corporate information security, internal system and supplier names are not used; components are named according to their function.

Table 1. Components developed and capabilities provided

Component	Capability provided
Network management	Activation of domain name system records, network access and web application firewall rules through configuration
Environment provisioning automation	Creation of development, pre-production and production environments from templates; execution of database and user definitions through pipelines
Product and stock integration	Retrieval of brand, colour, stock keeping unit and stock data from the ERP system through sales-organisation-based dynamic definitions
Storefront template generation	Binding of all presentation templates to panel-level definitions; treatment of left-to-right and right-to-left writing directions as parameters
Back-end dynamic definition support	Automation of site-specific definitions in the invoicing, product management, payment, checkout, logistics and web service components
Warehouse and shipping package integration	Conversion of existing logistics integrations into panel-definable packages; exposure of order, cancellation and return flows as services
Payment integration	Generalised client class hierarchy; execution of purchase, cancellation, refund and status query operations through a common interface
Invoicing and reconciliation	Issuing of sales and return invoices based on site-specific definitions; structured data transfer for reconciliation
Customer communication	Automatic definition of short message and electronic mail templates for a new site

The checkout flow was re-implemented as a separate service using the Go language on account of its horizontal scalability and concurrent request handling capacity (Donovan & Kernighan, 2015). The purchase and remote checkout flows, previously contained within a single application, were made flexible, and the class hierarchy was generalised so that adding a new payment method was reduced to implementing an interface.

3.4. Validation Approach

The developments were validated under four headings. Unit tests examined whether core functions such as dynamic definition reading, configuration resolution and template generation produced the expected output. Regression tests verified that sites already in operation were unaffected by the refactoring performed. Performance tests measured response times and behaviour under load on the new checkout service and the service layer. User acceptance tests involved the relevant business units in end-to-end trials of the order placement, cancellation, return and invoicing flows, and confirmed multilingual and right-to-left presentation.

4. RESEARCH AND FINDINGS

4.1. Change in the Site Launch Process

The deployment of the platform changed the nature of the site launch process. Before the project, each new site was executed as a software project requiring its own storefront development, its own environment provisioning and its own integration definitions. After the

project, launching a site became a configuration task that can be completed with a small number of database definitions and configuration entries made through the administration panel. A comparison of the situation before and after the project is presented in Table 2.

Table 2. Comparison of the site launch process before and after the project

Indicator	Before the project	After the project
Storefront development time	Domestic ~3 months, international ~6 months	Reduced from a scale of months to a scale of weeks
Total site launch time	12–18 months	Considerably shortened
Adding a new language	Separate development for each language	Configuration entry; no separate development required
Right-to-left writing support	Not available	A parameter of template generation
Environment provisioning	Manually executed steps	Automated through templates and pipelines
New site with an existing logistics partner	Site-specific development	Panel definition; no additional development required
Adding a new payment method	Point changes within the flow	Implementation of a common interface

4.2. Validation Findings

Unit and regression tests showed that the transition to the dynamic definition layer did not introduce functional regression in sites already in operation. Performance tests measured the response times of the new checkout service as remaining below the accepted upper threshold. Horizontal scaling at the container orchestration layer was observed to accommodate the load levels corresponding to campaign periods. Findings identified during user acceptance testing were addressed through improvements at algorithm and code level, and failed scenarios were re-executed after correction.

4.3. Organisational Capabilities Gained

- The dependency of new market entry decisions on the software development schedule was reduced; the interval between the launch decision and going live was shortened.
- The capability to open sales channels in right-to-left languages was gained. This capability did not exist before the project.
- Templating environment provisioning reduced the need for rework arising from provisioning errors.
- Converting integrations into packaged structures lowered the technical cost of working with new business partners.

- The knowledge accumulated in automation, multilingual support and dynamic configuration was internalised within the organisation and became reusable in other projects.

4.4. Limitations

The study is based on a single case conducted within a single organisation; the findings claim transferability rather than statistical generalisability. A second limitation is that financial indicators such as cost, revenue and return on investment could not be reported numerically for reasons of corporate confidentiality, and economic impact was therefore assessed qualitatively. Third, the effect of the platform on long-term maintenance cost is not yet observable, given the possibility that configuration complexity may increase over time.

5. CONCLUSION

This study reported the design of a configuration-driven e-commerce platform intended to eliminate the repetitive site launch burden in multi-country retail operations, together with its deployment in a real organisational setting. As a result of the deployment, site launch ceased to be a software development project and became a configuration task; storefront development and total launch durations were considerably shortened.

The principal practical implication of the study is that, in multi-market e-commerce infrastructures, the gain arises not from renewing components individually but from moving all site-specific definitions into a coherent configuration layer. From the perspective of the literature, the study presents an industrial instance in which headless architecture, microservices and infrastructure automation are applied in combination, and contributes to an area that has received limited attention by treating bidirectional writing support as a parameter of template automation.

Three directions are envisaged for future work. The first is the systematic measurement of launch durations and the number of manually executed steps for each newly opened site, so as to build a longitudinal data set. The second is the development of a single-screen launch wizard covering configuration entry as well, thereby enabling the launch operation to be delegated to non-technical teams. The third is the investigation of how the growth of configuration complexity over time affects maintenance cost.

REFERENCES

Brynjolfsson, E., Hu, Y. J., & Rahman, M. S. (2013). Competing in the age of omnichannel retailing. MIT Sloan Management Review, 54(4), 23–29.

Chaffey, D. (2019). Digital business and e-commerce management (7th ed.). Pearson Education.

Donovan, A. A., & Kernighan, B. W. (2015). The Go programming language. Addison-Wesley.

Fielding, R. T. (2000). Architectural styles and the design of network-based software architectures [Doctoral dissertation, University of California, Irvine].

Forsgren, N., Humble, J., & Kim, G. (2018). Accelerate: The science of lean software and DevOps. IT Revolution Press.

Humble, J., & Farley, D. (2010). Continuous delivery: Reliable software releases through build, test, and deployment automation. Addison-Wesley.

Kim, G., Humble, J., Debois, P., & Willis, J. (2016). The DevOps handbook: How to create world-class agility, reliability, and security in technology organizations. IT Revolution Press.

Morris, K. (2020). Infrastructure as code: Dynamic systems for the cloud age (2nd ed.). O'Reilly Media.

Newman, S. (2021). Building microservices: Designing fine-grained systems (2nd ed.). O'Reilly Media.

Richardson, C. (2018). Microservices patterns: With examples in Java. Manning Publications.

Runeson, P., & Höst, M. (2009). Guidelines for conducting and reporting case study research in software engineering. Empirical Software Engineering, 14(2), 131–164.

Turban, E., Outland, J., King, D., Lee, J. K., Liang, T. P., & Turban, D. C. (2018). Electronic commerce 2018: A managerial and social networks perspective (9th ed.). Springer.

Unicode Consortium. (n.d.). Unicode standard annex #9: Unicode bidirectional algorithm. https://www.unicode.org/reports/tr9/

Verhoef, P. C., Kannan, P. K., & Inman, J. J. (2015). From multi-channel retailing to omni-channel retailing: Introduction to the special issue on multi-channel retailing. Journal of Retailing, 91(2), 174–181.

World Wide Web Consortium. (n.d.). Structural markup and right-to-left text in HTML. https://www.w3.org/International/questions/qa-html-dir

Yin, R. K. (2018). Case study research and applications: Design and methods (6th ed.). SAGE Publications.

YENİ NESİL, DÜŞÜK MALİYETLİ VE ÇEVRE DOSTU GÜNEŞ PİLİ SOĞURUCU MALZEMELERİN GELİŞTİRİLMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Samed ÇETİNKAYA
Mersin University, Institute of Science, Nanotechnology and Advanced Materials, Mersin.
Mersin University, Vocational School of Technical Sciences, Department of Medical Services and Techniques, Mersin
ORCID ID: 0000-0002-7476-9467

ÖZET

Fosil yakıt kaynaklarının sınırlı olması, çevresel etkileri ve artan küresel enerji talebi, yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelik araştırmaların önemini giderek artırmaktadır. Bu kaynaklar arasında güneş enerjisi, yüksek potansiyeli, temiz ve sürdürülebilir olması nedeniyle öne çıkmaktadır. Güneş enerjisinden daha etkin yararlanılabilmesi için yüksek verimli, düşük maliyetli ve çevre dostu güneş pillerinin geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu kapsamda, toksik elementler içermemesi ve yer kabuğunda bol miktarda bulunan elementlerden oluşması nedeniyle Cu_2ZnSnS_4 (CZTS), ince film güneş pilleri için umut vadeden bir soğurucu malzeme olarak değerlendirilmektedir.

Bu çalışmada, CZTS ince filmlerinin düşük maliyetli ve çevre dostu bir yöntemle üretilmesi ve güneş pili uygulamalarına yönelik yapısal, morfolojik ve elektriksel özelliklerinin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Üretim yöntemi olarak karmaşık vakum sistemleri gerektirmeyen, basit, ölçeklenebilir ve maliyet etkin bir sıvı faz depolama tekniği olan sol-jel spin kaplama yöntemi tercih edilmiştir. CZTS ince filmlerinin üretiminde karşılaşılan ikincil faz oluşumu, rekombinasyon merkezleri, düşük taşıyıcı mobilitesi, tane kusurları, yetersiz tane büyümesi ve film süreksizlikleri gibi temel problemlerin azaltılması hedeflenmiştir. Bu amaçla, uygun katkı elementlerinin kullanılmasıyla CZTS filmlerinin kristal yapısı, yüzey morfolojisi ve elektriksel özelliklerinin iyileştirilmesi araştırılmıştır

Anahtar kelimeler: Cu_2ZnSnS_4, CZTS, ince film güneş pili, sol-jel, spin kaplama, katkılama, yenilenebilir enerji

Teşekkür – *Bu çalışma, Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından 2018-2-AP1-2962 proje kodu ile desteklenen "Yeni nesil, ucuz ve çevre dostu güneş pili soğurucu bileşiklerin geliştirilmesi" başlıklı BAP Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazar, sağladığı finansal ve bilimsel destek için Mersin Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi'ne teşekkür eder.*

DEVELOPMENT OF NEXT-GENERATION, LOW-COST, AND ENVIRONMENTALLY FRIENDLY SOLAR CELL ABSORBER MATERIALS

ABSTRACT

The limited availability of fossil fuel resources, their environmental impacts, and the increasing global energy demand have progressively intensified research interest in renewable energy

sources. Among these resources, solar energy has emerged as a particularly promising option owing to its high potential, clean nature, and sustainability. The development of high-efficiency, low-cost, and environmentally friendly solar cells is therefore of great importance for the more effective utilization of solar energy. In this context, Cu_2ZnSnS_4 (CZTS) is considered a promising absorber material for thin-film solar cells because it is composed of earth-abundant elements and does not contain toxic elements.

In this study, the production of CZTS thin films using a low-cost and environmentally friendly approach was investigated, with the aim of improving their structural, morphological, and electrical properties for solar cell applications. The sol–gel spin-coating technique, a simple, scalable, and cost-effective liquid-phase deposition method that does not require complex vacuum systems, was employed for the fabrication of CZTS thin films. The study aimed to mitigate major challenges encountered in CZTS thin-film fabrication, including secondary-phase formation, recombination centers, low carrier mobility, grain defects, insufficient grain growth, and film discontinuities. To this end, the effects of suitable dopant elements on the crystal structure, surface morphology, and electrical properties of CZTS thin films were investigated in order to enhance their overall material quality and suitability for photovoltaic applications.

Keywords: Cu_2ZnSnS_4, CZTS, thin-film solar cell, sol–gel, spin coating, doping, renewable energy.

Acknowledgment *– This study was carried out within the scope of the Scientific Research Project (BAP) entitled "Development of Next-Generation, Cost-Effective, and Environmentally Friendly Solar Cell Absorber Materials," supported by the Scientific Research Projects Unit of Mersin University under Project No. 2018-2-AP1-2962. The author gratefully acknowledges the Scientific Research Projects Unit of Mersin University for its financial and scientific support.*

TRANSFORMER MİMARİSİ KULLANILARAK TÜRKÇEDEN RUSÇAYA MAKİNE ÇEVİRİSİ

Nurzhan AMANTAY
Karabuk University, Faculty of Computing and Informatics Sciences, Department of Computer Engineering, 78050 Karabuk
ORCID ID: 0009-0007-5450-3788
Yasin ORTAKCI
Karabuk University, Faculty of Computing and Informatics Sciences, Department of Computer Engineering, 78050 Karabuk
ORCID ID: 0000-0002-0683-2049

ÖZET

Makine çevirisi, çeviri kalitesini, doğruluğunu ve hesaplama verimliliğini sürekli olarak geliştirmeye odaklanan doğal dil işlemenin önemli bir alanıdır. Dikkat mekanizmasına dayanan Transformer mimarisi, özellikle bellek kullanımı ve verimlilik açısından, Tekrarlayan Sinir Ağları (RNN) ve Çift Yönlü Uzun Kısa Süreli Bellek (BiLSTM) gibi geleneksel sinirsel modellere kıyasla önemli avantajlar göstermiştir. Bu çalışmada, Transformer mimarisinin Türkçe-Rusça çeviri gerçekleştiren bir sinirsel makine çevirisi modeline uygulanması incelenmiştir. Önerilen sinirsel model, 473 bin Türkçe-Rusça paralel cümle çiftinden oluşan HisDataset kullanılarak eğitilmiştir. Transformer modeli, her katmanda sekiz çok başlı öz-dikkat (multi-head self-attention) mekanizması bulunan altı Kodlayıcı (Encoder) ve altı Kod Çözücü (Decoder) katmanından oluşmaktadır. Model 30 epoch boyunca eğitildikten sonra 49,03 BLEU skoru, 0,2915 Kelime Hata Oranı (WER) ve 0,3935 Karakter Hata Oranı (CER) elde etmiştir. Test setindeki referans çeviriler makine çevirisi yoluyla üretildiğinden, bu skorların insan çevirisiyle doğrulanmış test verileri üzerinde teyit edilmesi gerekmektedir. Bu sonuçlar, Transformer mimarisinin Türkçe ve Rusça arasındaki dilbilimsel farklılıkların ve dilbilgisel karmaşıklıkların ele alınmasındaki potansiyelini ortaya koymaktadır. Özellikle sonuçlar, dikkat mekanizmasına dayalı mimarilerin bu iki dil arasındaki yapısal farklılıkları etkili bir şekilde modelleyebildiğini göstermektedir. Bu çalışma ayrıca modelin mimarisi, uygulanması ve eğitim süreci hakkında kapsamlı bir analiz sunmaktadır. Elde edilen bulgular Transformer tabanlı makine çevirisi sistemlerinin daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmakta ve Türkçe gibi nispeten sınırlı miktarda paralel metin kaynağına sahip diller için bu sistemlerin uygulanabilirliğini ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Sinirsel makine çevirisi, Transformer, öz-dikkat mekanizması, kodlayıcı ve kod çözücü

MACHINE TRANSLATION USING TRANSFORMER FOR TURKISH TO RUSSIAN

ABSTRACT

Machine translation (MT) is a pivotal area of natural language processing, continuously focusing on improving translation quality, accuracy, and computational efficiency. The Transformer architecture, which relies on the attention mechanism, has demonstrated significant advantages over traditional neural models, such as Recurrent Neural Networks (RNNs) and Bidirectional Long Short-Term Memory (BiLSTM), particularly in terms of memory usage and efficiency. This study investigates the application of the Transformer architecture to a neural machine translation model for Turkish-to-Russian translation. The proposed neural model was trained using the HisDataset, which comprises 473K Turkish-to-Russian parallel sentence pairs. The Transformer model consists of six encoder layers and six decoder layers, with each layer employing eight multi-head self-attention mechanisms. After training for 30 epochs, the model achieved a BLEU score of 49.03, a Word Error Rate (WER) of 0.2915, and a Character Error Rate (CER) of 0.3935. Because the reference translations were produced by machine translation, these scores should be confirmed on human-validated test data. These results demonstrate the potential of the Transformer architecture for addressing the linguistic disparities and grammatical complexities between Turkish and Russian. In particular, the results indicate that attention-based architectures can effectively model the structural differences between these two languages. This paper also presents a comprehensive analysis of the model's architecture, implementation, and training process. The findings contribute to a better understanding of Transformer-based MT systems and demonstrate their applicability to languages with relatively limited parallel text resources, such as Turkish.

Keywords: Neural machine translation, Transformer, self-attention, encoder and decoder

1. INTRODUCTION

Machine Translation (MT) is a subfield of computational linguistics focused on building automated systems that translate text across natural languages without human intervention. Recent advancements in Neural Machine Translation (NMT) have significantly revolutionized the field, enabling fluent, context-aware translations through deep neural networks. In particular, the Transformer architecture introduced by Vaswani et al. (2017) replaced sequential recurrent units with fully attentional mechanisms, establishing state-of-the-art benchmarks across numerous language processing tasks.

Despite these technological advancements, translation between Turkish and Russian remains largely under-explored in the literature. Translating Turkish into Russian presents significant

challenges due to linguistic and typological disparities (Yapıcı 2020). Turkish is an agglutinative language characterized by extensive suffixation and a canonical Subject-Object-Verb (SOV) sentence order. In contrast, Russian is a fusional, synthetic Slavic language governed by an inflectional case system, grammatical gender, and a canonical Subject-Verb-Object (SVO) order with flexible phrase arrangements (Koçer Güldal and İşisağ 2019). These structural and morphological differences increase the complexity of alignment and syntax generation. Furthermore, although Turkish–Russian parallel text is available in public collections such as OPUS (Tiedemann 2012), most of it originates from noisy or domain-specific sources such as movie subtitles, and clean general-domain Turkish–Russian corpora remain limited.

To bridge this research gap, this study develops and evaluates an end-to-end Transformer-based NMT model specifically targeted at Turkish-to-Russian translation. Utilizing a custom-curated 473K parallel sentence dataset named the HisDataset, our model achieved a Bilingual Evaluation Understudy (BLEU) score of 49.03, alongside a Word Error Rate (WER) of 0.2915 and a Character Error Rate (CER) of 0.3935. These results suggest that the self-attention mechanism can capture the contextual nuances and grammatical alignments necessary for reliable translations between these two typologically distinct languages.

The main contributions of this study are threefold. First, we developed and trained a sequence-to-sequence Transformer model tailored specifically for low-resource Turkish-to-Russian neural machine translation. Second, we constructed the HisDataset, a parallel corpus containing 473KTurkish–Russian sentence pairs, to support empirical research on this under-resourced language pair, and made it publicly available on Hugging Face. Third, we evaluated the model quantitatively with BLEU, WER, and CER and qualitatively against three commercial translation systems, and we discuss the limitations of evaluating on machine-generated references.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Related Studies

The transition from recurrent architectures to attention mechanisms began with Bahdanau et al. (2015), who addressed the bottleneck of fixed-length vector representations in RNNs. Vaswani et al. (2017) subsequently removed recurrent operations entirely in favor of self-attention networks. In Turkish MT research, Liu et al. (2020) utilized mBART25 for English-Turkish translation, achieving 17.8 BLEU for En→Tr and 22.5 BLEU for Tr→En on the CC25 corpus. Maimaiti et al. (2022) integrated Generative Adversarial Networks (GANs) and

constrained sampling on the Tanzil Turkish–English corpus, reaching 26.66 BLEU. Similarly, Sun et al. (2021) implemented an adversarial Seq2Seq-CNN framework on the Tatoeba Turkish–English dataset, obtaining 37.9 BLEU. Sel and Hanbay (2022) designed a BERT-fused Transformer incorporating Sci-BERT and Fully Attentional Networks (FAN), achieving 45.1 BLEU on Turkish–English academic abstracts.

For Russian-related translation, Wang et al. (2022) proposed synchronous inference with cross-lingual attention for English→Russian, achieving 19.1 BLEU on the IWSLT'14 benchmark. Chen (2023) developed pre-trained relation embeddings for Spanish-Russian (21.57 BLEU) and Russian-Malagasy (20.26 BLEU) on low-resource corpora. Sennrich et al. (2016a) introduced Byte Pair Encoding (BPE) and back-translation techniques for English↔Russian, reaching 26.0 BLEU for En→Ru and 28.0 BLEU for Ru→En. Voita et al. (2018) extended context-aware self-attention to tackle anaphora resolution in English–Russian translation, reporting substantial gains in gendered pronoun generation. Finally, Subramanian et al. (2021) scaled Transformer models up to 1 billion parameters on the WMT21 English–Russian news benchmark, achieving 24.8 BLEU (En→Ru) and 37.7 BLEU (Ru→En) using extensive back-translation and model ensembling.

Studies that directly address Turkish–Russian translation are scarce, but related Turkic–Russian language pairs have been investigated. Khusainov et al. (2018) built the first neural Tatar–Russian system by re-translating parallel data of six Turkic languages, including Turkish, and improved BLEU from 12 to 39 and from 17 to 45 for the two translation directions compared with an existing system. Mirzakhalov et al. (2021) presented a large-scale study of machine translation in 22 Turkic languages, releasing a parallel corpus, bilingual baselines for 26 language pairs, and human evaluation scores. Massively multilingual models such as mBART-50 (Tang et al. 2020) and NLLB-200 (NLLB Team et al. 2022) also support Turkish–Russian translation directly, although fine-tuning and deploying them require considerable computational resources.

Table 1 summarizes the language pairs, datasets, models, and BLEU scores reported in these studies. Because each study uses a different dataset, test set, and tokenization, these scores are not directly comparable with each other or with the result of the present study.

Table 1. Summary of related studies (BLEU scores were obtained on different datasets and are not directly comparable)

Study	Language pair	Dataset (size)	Model	BLEU
Liu et al. (2020)	En→Tr / Tr→En	CC25 pre-training; 207K En–Tr pairs	mBART25 (680M parameters)	17.8 / 22.5
Maimaiti et al. (2022)	Tr→En	Tanzil (141.9K)	Transformer with GAN-based augmentation	26.66
Sun et al. (2021)	Tr→En	Tatoeba (7K)	Adversarial Seq2Seq-CNN	37.9
Sel and Hanbay (2022)	Tr→En	Thesis abstracts (1.2M)	BERT-fused Transformer (FAN)	45.1
Wang et al. (2022)	En→Ru	IWSLT'14 (150K)	Multilingual Transformer	19.1
Chen (2023)	Es–Ru / Ru–Mg	Global Voices (170K)	NMT with relation embeddings	21.57 / 20.26
Sennrich et al. (2016a)	En→Ru / Ru→En	WMT16 + 2M back-translated	Attentional encoder–decoder (BPE)	26.0 / 28.0
Subramanian et al. (2021)	En→Ru / Ru→En	WMT21 (26M)	Transformer (up to 1B parameters)	24.8 / 37.7
Khusainov et al. (2018)	Tt–Ru (both directions)	Re-translated Turkic–Russian data	Hybrid rule-based and NMT	39 / 45
This study	**Tr→Ru**	**HisDataset (473K, synthetic)**	**Transformer**	**49.03**

* Computed against machine-generated reference translations (see Section 3.3).

2.2. Transformer Architecture

The translation model adheres to the sequence-to-sequence encoder-decoder paradigm (Vaswani et al. 2017). Given an input sequence $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ in the source language (Turkish), the network predicts the corresponding target sequence $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ in Russian.

The encoder consists of $N_e = 6$ identical stacked layers. Each layer contains two sub-layers: a multi-head self-attention module and a position-wise fully connected Feed-Forward Network (FFN). Following the pre-layer-normalization (Pre-LN) variant of the Transformer, layer normalization is applied to the input of each sub-layer, the sub-layer output is added to its input through a residual connection, and a final layer normalization is applied to the output of the encoder stack:

$$s^k = X^k + \text{SelfAttn}(\text{LayerNorm}(X^k)) \quad (1)$$

$$F^e(X^k) = s^k + \text{FFN}(\text{LayerNorm}(s^k)) \quad (2)$$

where $X^k \in \mathbb{R}^{n \times d}$ and $F^e(X^k) \in \mathbb{R}^{n \times d}$ represent the input and output representations of the k-th encoder layer, and $d = 512$ denotes the model dimension.

The decoder consists of $N_d = 6$ identical layers. In addition to the multi-head self-attention and FFN sub-layers, each decoder layer incorporates a multi-head cross-attention sub-layer to attend over the final encoder output representations $F^e(X^{N_e})$:

$$s^k = Y^k + \text{SelfAttn}(\text{LayerNorm}(Y^k)) \quad (3)$$

$$c^k = s^k + \text{CrossAttn}(\text{LayerNorm}(s^k), F^e(X^{N_e})) \quad (4)$$

$$F^d(Y^k) = c^k + \text{FFN}(\text{LayerNorm}(c^k)) \quad (5)$$

where $Y^k \in \mathbb{R}^{m \times d}$ and $F^d(Y^k) \in \mathbb{R}^{m \times d}$ represent the input and output representations of the k-th decoder layer.

2.3. Implementation Framework and Tools

The model blocks, positional encodings, attention layers, and training loops were implemented in PyTorch utilizing CUDA acceleration. Dataset loading and pipeline management were executed using the datasets.load_dataset function of the Hugging Face libraries, and text preprocessing was conducted using the Hugging Face tokenizers library with a WordLevel vocabulary model, whitespace-based pre-tokenization, and a minimum token frequency of 2, resulting in a vocabulary size of 15,723 tokens for Turkish and 12,766 tokens for Russian, along with standard special tokens ([PAD], [UNK], [SOS], [EOS]). Training was carried out on the Google Colaboratory cloud platform using an NVIDIA A100 GPU (40GB VRAM) for high-throughput tensor operations. In addition, a user-friendly web interface was constructed using the Gradio library (Gradio 2023) to run real-time inference and facilitate qualitative comparative evaluations.

2.4. Dataset Construction (HisDataset)

Because clean, general-domain Turkish–Russian parallel corpora are limited, we constructed the HisDataset utilizing a pivot translation strategy based on the Adoxalim/Tr-En-Translator dataset from Hugging Face (HuggingFace Datasets 2023). The construction process consisted of three stages. In the first stage (extraction and pivot translation), Turkish–English sentence pairs were parsed, and English sentences were selected as pivot representations to translate into Russian, benefiting from higher resource availability and structural alignment between English and Russian. In the second stage (engine evaluation), sample batches were translated using Google Translate, DeepL, and Yandex Translator; Google Translate was chosen for corpus-wide translation due to its grammatical consistency and punctuation handling over long sentences. To use the document translation feature of Google Translate, the English sentences were split into chunk files in .xlsx format, translated file by file, and merged back into plain-text files. In the third stage (data cleaning and alignment), the resulting Russian translations were paired with the original Turkish sentences, and automated filtering and manual validation were performed to fix semantic distortions (e.g., correcting instances where the English interrogative "Who?" was mistranslated into the Russian acronym "ВОЗ" - World Health Organization).

The compiled HisDataset comprises approximately 473K aligned sentence pairs. All scores reported in Section 3 were computed on the validation subset. Since the Russian side was

generated automatically, the HisDataset should be regarded as a synthetic (pseudo-parallel) corpus; the implications of this for evaluation are discussed in Section 3.3. To facilitate reproducibility and support further empirical research on this under-resourced language pair, the dataset has been made publicly accessible on the Hugging Face Hub at https://huggingface.co/datasets/Nurzhan-Amantay/tr-ru (Amantay and Ortakci 2024).

2.5. Hyperparameters

The model configuration parameters utilized during training are detailed in Table 2. The model was trained with the Adam optimizer at a constant learning rate of 10^{-4} without a warm-up schedule, using the cross-entropy loss with a label smoothing of 0.1 and ignoring padding tokens. All weight matrices were initialized with Xavier uniform initialization, and every sequence was padded to a fixed length of 350 tokens. During inference, translations were generated with greedy decoding.

Table 2. Hyperparameters used for training the Turkish-to-Russian Transformer model

Parameter	Value
Encoder / Decoder layers	6 / 6
Attention heads	8
Model (hidden) dimension	512
Feed-forward dimension	2048
Maximum sequence length	350
Batch size	8
Training epochs	30
Optimizer	Adam ($\beta1 = 0.9$, $\beta2 = 0.999$, $\varepsilon = 10^{-9}$)
Learning rate	10^{-4} (constant, no warm-up)
Loss function	Cross-entropy with label smoothing (0.1)
Dropout	0.1
Weight initialization	Xavier uniform
Layer normalization	Pre-LN
Tokenizer	Word-level, whitespace pre-tokenization (min. frequency = 2)
Vocabulary size (Turkish / Russian)	15,723 / 12,766
Decoding	Greedy (maximum 350 tokens)
Trainable parameters	≈44.1M excluding embedding and output layers

2.6. Evaluation Metrics

System performance was evaluated using three widely recognized metrics: BLEU, Word Error Rate (WER), and Character Error Rate (CER). BLEU was computed at the corpus level using SacreBLEU (Post 2018), while WER and CER were computed using the JiWER package (McCowan et al. 2004; Thennal et al. 2025).

The BLEU score quantifies n-gram precision between candidate translations and reference sentences, computed on a scale of 0 to 100 (Papineni et al. 2002).

The Word Error Rate (WER) measures the minimum word-level edit operations required to align the hypothesis with the reference (McCowan et al. 2004):

$$\text{WER} = \frac{S+D+I}{N} \quad (6)$$

where S is the number of substitutions, D is deletions, I is insertions, and N is the total number of words in the reference.

The Character Error Rate (CER) assesses character-level edit distance, providing insights into morphological and inflectional alignment (Thennal et al. 2025):

$$\text{CER} = \frac{S+D+I}{N_{\text{chars}}} \quad (7)$$

where N_{chars} represents the total number of characters in the reference sentence.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Quantitative Evaluation

The Transformer model was trained over 30 epochs, requiring approximately 3.5 days of compute time on an NVIDIA A100 GPU. The evaluation metrics computed on the held-out validation subset are summarized in Table 3.

Table 3. Quantitative performance of the proposed model

Metric	Score
BLEU	49.03
WER	0.2915 (29.15%)
CER	0.3935 (39.35%)

The model achieved a BLEU score of 49.03, indicating a high degree of n-gram overlap with the reference translations. The WER of 0.2915 indicates that the number of word-level edits required to match the references corresponds to approximately 29% of the reference length. The CER was 0.3935. Because an inflectional error, such as an incorrect case ending or gender marker, changes only a few characters of a word, CER is normally expected to be lower than WER. The higher CER observed here is likely related to character-level mismatches in spacing and punctuation: the whitespace pre-tokenizer separates punctuation marks from words, and the decoded outputs are not detokenized, so the generated sentences contain additional spaces before punctuation marks (e.g., "результатом ." instead of "результатом."; for readability, the outputs in Table 4 are shown with this spacing removed), which are counted as character insertions. Applying detokenization before scoring is expected to reduce this effect. It should also be noted that all scores were computed against machine-generated references (see Section 3.3).

3.2. Qualitative and Comparative Analysis

To examine real-world translation nuances, candidate outputs from our model were evaluated alongside leading commercial translation engines (Google Translate, DeepL, and Yandex

Translator). Three representative examples are presented in Table 4: a sentence containing an idiomatic predicate (Example 1), a sentence with a nominalized relative clause and a negated necessitative verb form (Example 2), and a sentence containing a figurative idiom (Example 3).

In Example 1, the Turkish source sentence contains the idiomatic expression "memnun olmaktan uzaktı" (literally "far from being pleased"). DeepL and our model produced identical translations ("Учитель был далеко не удовлетворен результатом"), accurately capturing both the predicate and the intended degree of dissatisfaction. Yandex Translator used "доволен" rather than "удовлетворен", which represents an acceptable stylistic variation. Google Translate translated the sentence literally as "Учительница была далека от результата" ("The teacher was far from the result"), omitting the concept of satisfaction entirely and altering the semantic focus. Google Translate also selected the feminine form "Учительница", whereas the other systems used the masculine "Учитель"; since Turkish nouns are not marked for grammatical gender, both forms are possible, and the choice must be inferred by the translation system.

Example 2 ("Söylediğini söylememeliydin") combines a nominalized relative clause (söylediğini, "what you said") with a negated necessitative past verb form (söylememeliydin, "you should not have said"), both expressed in Turkish through suffix chains attached to the same verb stem. Google Translate, Yandex Translator, and our model produced the same translation ("Тебе не следовало говорить то, что ты сказал"), which renders both the relative clause and the unfulfilled obligation correctly through the impersonal construction "не следовало" with the dative pronoun "тебе". DeepL produced a shorter and more colloquial rendering ("Не стоило тебе этого говорить", "You shouldn't have said that"), in which the

Table 4. Qualitative comparison of sample translations across different systems

System	Translated Output
Example 1	
Source (Turkish)	*Öğretmen sonuçtan memnun olmaktan uzaktı.*
English meaning	*The teacher was far from being satisfied with the result.*
Google Translate	Учительница была далека от результата
DeepL	Учитель был далеко не удовлетворен результатом
Yandex Translator	Учитель был далеко не доволен результатом
Our model	**Учитель был далеко не удовлетворен результатом.**
Example 2	
Source (Turkish)	*Söylediğini söylememeliydin.*

English meaning	*You should not have said what you said.*
Google Translate	Тебе не следовало говорить то, что ты сказал.
DeepL	Не стоило тебе этого говорить.
Yandex Translator	Тебе не следовало говорить то, что ты сказал.
Our model	**Тебе не следовало говорить то, что ты сказал.**
Example 3	
Source (Turkish)	*Savaş eli kulağında görünüyor.*
English meaning	*War seems imminent (lit. "war appears to have its hand at its ear").*
Google Translate	Война кажется неизбежной.
DeepL	Похоже, война не за горами.
Yandex Translator	Война, кажется, уже на пороге.
Our model	**Война кажется неизбежной.**

relative clause is reduced to the pronoun "этого"; the meaning is preserved, but the sentence is less explicit than the source. As in Example 1, the gender-neutral Turkish subject had to be assigned a gender in Russian, and all systems that retained the verb "сказал" defaulted to the masculine form.

Example 3 ("Savaş eli kulağında görünüyor") contains the Turkish idiom "eli kulağında" (literally "with its hand at its ear"), which indicates that an event is imminent. DeepL and Yandex Translator rendered it with equivalent Russian idioms, "не за горами" (literally "not beyond the mountains") and "уже на пороге" ("already on the doorstep"), respectively, preserving both the figurative register and the meaning of temporal proximity. Google Translate and our model produced "Война кажется неизбежной" ("War seems inevitable"). This rendering avoids a word-by-word translation of the idiom and is fluent, but it shifts the meaning from imminence to inevitability.

Taken together, these examples suggest that the model produces grammatically well-formed Russian sentences and does not translate idiomatic expressions word by word. At the same time, the outputs of our model in Examples 2 and 3 are identical to those of Google Translate, including the less precise rendering of the idiom in Example 3. This is consistent with the fact that the Russian side of the HisDataset was generated by Google Translate: the model appears to have learned, to a considerable extent, the translation choices of the system that produced its training references. The different output of Google Translate in Example 1 can be explained by the fact that Google Translate was used here in the direct Turkish→Russian direction, whereas the Russian references in the HisDataset were produced by translating English pivot sentences.

Three examples are not sufficient to support general conclusions, and a systematic comparison on a larger set of sentences, including a human evaluation of adequacy and fluency and an analysis of the model's errors, is left for future work.

3.3. Limitations

Several limitations should be considered when interpreting these results. First, the Russian references in the HisDataset were generated by Google Translate from English pivot sentences. The references used for evaluation are therefore themselves machine translations, and the reported scores measure agreement with this pivot-based system rather than with human translations. Previous studies have shown that the origin of test data can substantially affect automatic scores and system rankings (Edunov et al. 2020; Graham et al. 2020), so the scores reported here may overestimate the quality that would be observed on human-translated test sets. Second, the BLEU scores summarized in Table 1 were obtained on different datasets and language pairs; the 49.03 BLEU obtained in this study should therefore not be interpreted as a direct improvement over those studies. Third, no baseline system, such as a recurrent sequence-to-sequence model or a fine-tuned multilingual model such as mBART-50 (Tang et al. 2020) or NLLB-200 (NLLB Team et al. 2022), was evaluated on the same data split. Fourth, the scores were computed on a random 10% validation subset rather than on a separate test set, and because the split was generated without a fixed random seed, the exact partition cannot be reproduced. Finally, the word-level tokenizer cannot represent Turkish word forms that do not occur in the training vocabulary, which limits the robustness of the model on unseen inputs.

4. Conclusions

In this study, we presented an empirical investigation into Transformer-based Neural Machine Translation for the Turkish-to-Russian language pair. Utilizing the newly curated HisDataset comprising 473K parallel sentence pairs, our model achieved a BLEU score of 49.03, a WER of 0.2915, and a CER of 0.3935 after 30 epochs of training. The results indicate that a standard Transformer can learn mappings between the structures of agglutinative Turkish (SOV) and fusional Russian (SVO) when trained on a large parallel corpus. Because the evaluation was performed against machine-generated references, however, these findings should be confirmed on human-translated test data.

Several avenues remain for future work. First, a separate test set will be created with a fixed random seed, a subset of it will be validated by native speakers of Russian, and the model will be re-evaluated on these human-validated references together with baseline systems, including a recurrent sequence-to-sequence model and fine-tuned multilingual models such as mBART-

50 and NLLB-200. Second, transitioning from the current word-level tokenizer to subword segmentation algorithms such as Byte Pair Encoding (Sennrich et al. 2016b) or SentencePiece (Kudo and Richardson 2018) is expected to alleviate out-of-vocabulary (OOV) problems and better capture complex suffixation patterns (Khosla 2021). Third, stronger regularization, such as higher dropout rates and weight decay, a learning-rate warm-up schedule, and beam search decoding, together with systematic hyperparameter optimization, will be explored. Finally, the training corpus will be expanded with additional human-translated Turkish–Russian parallel data, and domain-specific fine-tuning will be performed to improve translation accuracy on specialized texts.

DATA AVAILABILITY STATEMENT

The Turkish–Russian parallel corpus (HisDataset) constructed and evaluated in this research is publicly available on the Hugging Face Datasets repository at https://huggingface.co/datasets/Nurzhan-Amantay/tr-ru.

REFERENCES

Bahdanau D, Cho K, Bengio Y. (2015). Neural machine translation by jointly learning to align and translate. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Learning Representations (ICLR), San Diego, USA.
Chen Q. (2023). A smaller and better word embedding for neural machine translation. IEEE Access 11, 40770–40778.
Edunov S, Ott M, Ranzato M, Auli M. (2020). On the evaluation of machine translation systems trained with back-translation. In: Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL), 2836–2846.
Gradio. (2023). Gradio: Build & share machine learning apps. https://www.gradio.app/
Graham Y, Haddow B, Koehn P. (2020). Statistical power and translationese in machine translation evaluation. In: Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP), 72–81.
HuggingFace Datasets. (2023). Adoxalim/Tr-En-Translator dataset. https://huggingface.co/datasets/adoxalim/Tr-En-Translator
Khosla S. (2021). Word and subword tokenization in NLP. Technical Notes.
Khusainov A, Suleymanov D, Gilmullin R, Gatiatullin A. (2018). Building the Tatar-Russian NMT system based on re-translation of multilingual data. In: Text, Speech, and Dialogue (TSD 2018), Lecture Notes in Computer Science 11107, 163–170.
Koçer Güldal B, İşisağ KU. (2019). A comparative study on Google Translate: An error analysis of Turkish-to-English translations in terms of the text typology of Katharina Reiss. RumeliDE Dil ve Edebiyat Araştırmaları Dergisi, 367–376.
Kudo T, Richardson J. (2018). SentencePiece: A simple and language independent subword tokenizer and detokenizer for neural text processing. In: Proceedings of the 2018 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing: System Demonstrations, 66–71.
Liu Y, Gu J, Goyal N, Li X, Edunov S, Ghazvininejad M, Lewis M, Zettlemoyer L. (2020). Multilingual denoising pre-training for neural machine translation. Transactions of the Association for Computational Linguistics 8, 726–742.
Maimaiti M, Liu Y, Luan H, Sun M. (2022). Data augmentation for low-resource languages NMT guided by constrained sampling. International Journal of Intelligent Systems 37(1), 30–51.

McCowan I, Moore D, Dines J, Gatica-Perez D, Flynn M, Wellner P, Bourlard H. (2004). On the use of information retrieval measures for speech recognition evaluation. IDIAP-RR 73, Martigny, Switzerland.
Mirzakhalov J, Babu A, Ataman D, Kariev S, Tyers F, Abduraufov O, Hajili M, Ivanova S, Khaytbaev A, Laverghetta Jr A, Moydinboyev B, Onal E, Pulatova S, Wahab A, Firat O, Chellappan S. (2021). A large-scale study of machine translation in Turkic languages. In: Proceedings of the 2021 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP), 5876–5890.
NLLB Team, Costa-jussà MR, Cross J, Çelebi O, Elbayad M, Heafield K, Heffernan K, Kalbassi E, Lam J, Licht D, et al. (2022). No language left behind: Scaling human-centered machine translation. arXiv:2207.04672.
Papineni K, Roukos S, Ward T, Zhu WJ. (2002). BLEU: A method for automatic evaluation of machine translation. In: Proceedings of the 40th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL), Philadelphia, USA, 311–318.
Post M. (2018). A call for clarity in reporting BLEU scores. In: Proceedings of the Third Conference on Machine Translation (WMT), 186–191.
Sel İ, Hanbay D. (2022). Fully attentional network for low-resource academic machine translation and post editing. Applied Sciences 12(22), 11456.
Sennrich R, Haddow B, Birch A. (2016a). Edinburgh neural machine translation systems for WMT 16. In: Proceedings of the First Conference on Machine Translation (WMT), Berlin, Germany, 371–376.
Sennrich R, Haddow B, Birch A. (2016b). Neural machine translation of rare words with subword units. In: Proceedings of the 54th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL), Berlin, Germany, 1715–1725.
Subramanian S, Hrinchuk O, Adams V, Kuchaiev O. (2021). NVIDIA NeMo's neural machine translation systems for English-German and English-Russian news and biomedical tasks at WMT21. In: Proceedings of the Sixth Conference on Machine Translation (WMT), 197–204.
Sun M, Wang H, Pasquine M, Hameed IA. (2021). Machine translation in low-resource languages by an adversarial neural network. Applied Sciences 11(22), 10860.
Tang Y, Tran C, Li X, Chen PJ, Goyal N, Chaudhary V, Gu J, Fan A. (2020). Multilingual translation with extensible multilingual pretraining and finetuning. arXiv:2008.00401.
Thennal DK, James J, Gopinath DP, Ashraf KM. (2025). Advocating character error rate for multilingual ASR evaluation. In: Findings of the Association for Computational Linguistics: NAACL 2025, 4926–4935.
Tiedemann J. (2012). Parallel data, tools and interfaces in OPUS. In: Proceedings of the Eighth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC), Istanbul, Turkey, 2214–2218.
Vaswani A, Shazeer N, Parmar N, Uszkoreit J, Jones L, Gomez AN, Kaiser Ł, Polosukhin I. (2017). Attention is all you need. Advances in Neural Information Processing Systems 30, 5998–6008.
Voita E, Serdyukov P, Sennrich R, Titov I. (2018). Context-aware neural machine translation learns anaphora resolution. In: Proceedings of the 56th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL), Melbourne, Australia, 1264–1274.
Wang Q, Zhang J, Zong C. (2022). Synchronous inference for multilingual neural machine translation. IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing 30, 1827–1839.
Yapıcı F. (2020). The problem of realia's translation from Turkish to Russian. Araştırma/Research Journal.
Amantay N, Ortakci Y. (2024). HisDataset: A Turkish-Russian Parallel Corpus for Neural Machine Translation. Hugging Face Datasets. https://huggingface.co/datasets/Nurzhan-Amantay/tr-ru

DENETİMSİZ ÖĞRENME YÖNTEMLERİ VE TEMEL BİLEŞENLER ANALİZİ İLE SATIN ALMA DAVRANIŞLARININ SEGMENTASYONU

Ahmet GÜRGAŞİN
Astor Enerji A.Ş. AR-GE Merkezi, Sincan, Ankara.
ORCID ID: 0000-0003-1954-0253

ÖZET

Endüstriyel üretim sektöründe satın alma verileri işletmeler için stratejik değerler üretebilecekleri çeşitli girdiler sağlamaktadır. Bu çalışmada, çok dönemli özelleştirilmiş satın alma verileri kullanılarak, karar destek sistemleri için yorumlanabilir ve işletme stratejilerine uyumlu olabilecek segmentler üretilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada ekonomik ve fiziksel ölçek, işlem yoğunluğu, aktiflik, çeşitlilik, ticari ilişki süresi, güncellik, grup içi ağırlık ve termin davranışlarını temsil eden göstergeler standartlaştırılarak K-Ortalamalar ve Ward tabanlı kümeleme yöntemleri uygulanmıştır. Ayrıca temel bileşenler analizi (Principal Component Analysis – PCA) ile değişken uzayının yapısı incelenerek azaltılmış bileşen uzayında K-Ortalamalar yöntemi tekrardan uygulanmıştır. Doğrudan özellik uzayında K-Ortalamalar üç, Ward yaklaşımı dört segmentli bir yapı üretmiştir. İki yöntemin ürettiği küme sayıları arasında düzeltişmiş uyum katsayısı yaklaşık 0,70 olarak elde edilmiş ve bu durum farklı algoritmaların ortak bir davranış yapısı gösterdiğini ortaya koymuştur. PCA sonrasında K-Ortalamalar yöntemi uygulanması sonucunda ise beş segment elde edilmiştir. Beş kümeli çözümde oluşan segmentler içsel kümeleme ölçütlerinde diğer yöntemlerden daha iyi sonuçlar ortaya koymuştur. Elde edilen segmentler düşük ilişki grupları, termin özellikleri için örüntüler ve belirli gruplar için yoğunlaşmış kaynak yapıları gibi karar destek süreçlerinde kullanılabilir yapılar ortaya çıkartmıştır. Sonuçlar, satın alma verilerinin gruplandırılmasında boyut indirgeme ve farklı kümeleme ailelerinin birlikte kullanılmasıyla işletme karar destek sistemleri için anlamlı girdiler oluşturulabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Kümeleme Analizi, Temel Bileşenler Analizi, Satın Alma Analitiği

SEGMENTATION OF PURCHASING BEHAVIOR USING UNSUPERVISED LEARNING METHODS AND ANALYSIS OF FUNDAMENTAL COMPONENTS

ABSTRACT

In the industrial manufacturing sector, procurement data provides businesses with a variety of inputs that can generate strategic value. This study aims to use multi-period, customized procurement data to generate segments that are interpretable for decision support systems and aligned with business strategies. In the study, indicators representing economic and physical scale, transaction intensity, activity, diversity, duration of commercial relationships, recency, intra-group weight, and payment behavior were standardized, and K-means and Ward-based

clustering methods were applied. Additionally, the structure of the variable space was examined using Principal Component Analysis (PCA), and the K-means method was reapplied in the reduced component space. In the direct feature space, K-means produced a three-segment structure, while the Ward approach produced a four-segment structure. The adjusted coefficient of determination between the number of clusters produced by the two methods was approximately 0,70 indicating that the different algorithms exhibited a common behavioral pattern. Applying the K-means method following PCA resulted in five segments. The segments formed in the five-cluster solution yielded better results than the other methods in terms of internal clustering criteria. The resulting segments revealed structures that can be utilized in decision-support processes, such as low-correlation groups, patterns for terminal characteristics, and concentrated resource structures for specific groups. The results demonstrate that combining dimension reduction with different clustering families in the grouping of purchasing data can generate meaningful inputs for business decision-support systems.

Keywords: Cluster Analysis, Principal Component Analysis, Purchasing Analytics

1. GİRİŞ

Üretim sektöründe yer alan işletmeler için satın alma davranışları kendi içerisinde çeşitli özellikler barındırmaktadır. Proje bazlı üretimler, yoğun mühendislik uygulamaları, değişkenlik gösteren termin süreleri, ekonomik göstergelerin dağılımları, işlem yoğunluğu gibi pek çok özellik satın alma davranışlarının çok boyutlu bir yapı oluşturmasına ve bu özelliklere göre modellenmesini gerektirmektedir. Bu gereksinim özellikle işlem sistemlerinde yer alan verilerin işlenerek karar destek sistemleri için analitik yapılara dönüştürülmesinde kullanılabilecek önemli girdiler oluşturmaktadır.

Denetimsiz öğrenme yöntemleri önceden tanımlanmış bir sınıf yer almadığında gözlemler arasındaki benzerlik yapılarını kullanarak veri içerisindeki doğal yapıların ortaya çıkartılmasını sağlamaktadırlar. Satın alma analizlerinde bu özellik benzer davranış profillerinin ayrıştırılmasında kullanılmaktadır.

Bu çalışmada kümeleme analizinde kullanılan hiyerarşik olmayan K-Ortalamalar, hiyerarşik bir yöntem olan Ward ve bir boyut indirgeme yöntemi olan temel bileşenler analizi ile K-Ortalamalar yönteminin ardışık sırayla uygulandığı hibrit model birlikte ele alınmıştır. Çalışma homojen bir fiziksel ölçü biriminde yer alan veriler için tedarikçi × malzeme niteliği düzeyinde satın alma profilleri üretebilmeyi ve bu yöntemler arasındaki segment yapılarının

karşılaştırmalı sonucunu elde etmeyi amaçlamaktadır. Elde edilecek sonuçlar ile karar destek sistemlerinde kullanılabilecek anlamlı girdilerin oluşturulması hedeflenmektedir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1.Araştırma Tasarımı

Çalışma tek bir işletme genelinde geçmiş dönemlere ait test veri seti kullanılarak hazırlanmıştır. Araştırmanın satın alma karar destek sisteminde kullanılabilecek davranış segmentlerini ortaya çıkartmak için bölümleyici kümeleme, hiyerarşik kümeleme ve boyut indirgeme yaklaşımlarının aynı davranış uzayı üzerinde karşılaştırılması yapılmaktadır. Çalışma denetimsiz öğrenme temelli olarak hazırlanmıştır. Bu nedenle önceden tanımlı herhangi bir küme etiketi bulunmamaktadır.

Analitik gözlem birimi kaynak tedarikçi × malzeme niteliği olarak tanımlanmıştır. Bu seçimle aynı kaynağın farklı girdiler için ekonomik ve operasyonel çıktıları verebilmesinin sağlanmasıdır. Çalışmada tek bir fiziksel ölçü birimi için özelleştirilmiş malzeme niteliği kullanılmıştır. Bu sayede mesafe tabanlı modellerin oluşturabileceği anlamsal uyumsuzlukların azaltılması sağlanmıştır.

Çalışmada kapsamında "Tedarikçi × malzeme niteliği özelliği düzeyinde oluşturulan ekonomik ve fiziksel büyüklük, işlem yoğunluğu, süreklilik, çeşitlilik, işlem süresi, güncellik, grup içi ağırlık ve termin davranışı göstergeleri K-Ortalamalar ve Ward yöntemleriyle ne ölçüde ayrışmış ve yorumlanabilir segmentler oluşturmaktadır? Ayrıca PCA ile elde edilen bileşenler satın alma davranışının temel boyutlarını hangi ölçüde açıklamakta ve boyut indirgeme K-Ortalamalar küme yapısını nasıl etkilemektedir?" şeklinde oluşturulan bir araştırma sorusu için yanıtlar elde edilmek istenmiştir.

Karar destek sistemleri açısından çalışma bir sınıflandırma yapısı değil benzer ilişkili profillerin segmentasyonu üzerine kuruludur. Burada hedeflenen veri odaklı karar verme için veri, model ve analitik işlem sonuçlarının karar vericiler tarafından anlaşılır ve kullanılabilir sonuçlar vermesidir.

2.2.Veri Seti

Kaynak veri, enerji sektöründe üretim alanında faaliyet gösteren Astor Enerji A.Ş.'nin geçmiş yıllara ilişkin verilerinden elde edilen bir test veri setidir. İşlem kayıtları tedarikçi × malzeme niteliği düzeyinde toplulaştırılmış kayıtlardan oluşmaktadır. Çalışma kapsamında on aday davranış değişkeni oluşturulmuştur. Bunlar fiziksel ölçek, işlem yoğunluğu, aktif ay oranı, malzeme çeşitliliği, tedarik süresi, güncellik, malzeme içerisindeki ekonomik pay, malzeme içerisindeki fiziksel pay, ortalama termin sapması ve gecikme oranıdır.

Analiz işlemleri öncesinde çarpık ve ağır kuyruklu dağılımlar gösteren ölçekler için logaritmik dönüşüm uygulanmış ve sayısal değişkenler z değerleri elde edilerek standardize edilmişlerdir.

2.3.K-Ortalamalar Yöntemi

Denetimsiz öğrenme algoritmalarından birisi olan K-Ortalamalar, 1967'de Mac Queen tarafından literatüre kazandırılmıştır [7]. Algoritma veri seti içerisindeki gözlemleri birbirleriyle ortak bir gözlem içermeyen k sayıda kümeye ayırmaktadır. Literatürde k değerinin belirlenmesi için çeşitli yöntemler bulunmaktadır [6]. K-Ortalamalar yönteminde oluşturulan kümeler gözlemlerin ağırlıklı ortalamasına sahip bir küme merkezi oluşturmaktadır [10]. Algoritmada gözlemler k adet kümeye bölünmektedir. Bu işlem sırasında küme içi hata kareler toplamının minimum olması istenmektedir. Nicel veriler üzerinde çalışan algoritmanın en önemli özelliklerinden birisi ise k küme sayısının önceden belirlenmesidir. Diğer kümeleme algoritmalarında olduğu gibi küme içi benzerliklerin minimum ve kümeler arası benzerliklerin maksimum yapılarak işlemler sağlanmaktadır [11]. Algoritmanın çalışma adımları aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

i. Küme sayısı (k) değerinin belirlenmesi
ii. Veri setinde yer alan gözlemlerin her birisi için kendisine en uzakta yer alan kümeye atanması
iii. Küme merkezlerinin hesaplanması
iv. Her bir gözlemin küme merkezlerine olan uzaklıklarının hesaplanması
v. Küme içi varyansların hesaplanması

Algoritmanın çalışması ikinci adım sonrasında küme içi benzerlik minimum olana kadar devam etmektedir. Bu noktadan sonra algoritma durmaktadır [9].

2.4.Ward Yöntemi

Hiyerarşik kümeleme yöntemlerinden birisi olan Ward yöntemi 1963 yılında J. H. Ward tarafından sunulmuştur. Yöntem küme içi varyansı minimum yaparak yeni kümeler oluşturmaktadır. Bu yöntemde kümeler, hata kareler toplamındaki artışın minimum yapılarak birleştirme işlemlerinin yapılmasını amaçlamaktadır [5]. Ward yöntemine ait işlem adımları aşağıda yer almaktadır [1].

i. İlgili kümelerde yer alan gözlemlerin ortalamaları hesaplanarak küme merkezlerinin belirlenmesi
ii. Küme içerisindeki gözlemler için hata kareler toplamının hesaplanması
iii. Her bir küme için ayrı ayrı hesaplanan hata kareler toplamı ile genel hata kareler toplamının hesaplanması

iv. Her birleştirme işleminde kümelerin, genel hata kareler toplamında en az artışa neden olacak şekilde birleştirilmesi

2.5.Temel Bileşenler Analizi

Temel bileşenler analizi (Principal Component Analysis – PCA), veri kümesinde yer alan birbirleriyle ilişkili değişkenler arasındaki varyans ve kovaryans yapısını değişkenlerin doğrusal birleşimleri aracılığıyla açıklayarak boyut azaltmayı sağlayan bir yöntemdir. Yöntem, veri setinin ön işleme adımlarından birisidir. Boyut indirgeme yöntemlerinde yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. PCA, çok boyutlu veri kümelerini temel bileşenler analizi ile daha az sayıda boyuta indirgeyerek görselleştirebilmektedir [4].

2.6.Model Değerlendirme Ölçütleri

Kümeleme yöntemlerinin değerlendirilmesinde üç farklı içsel geçerlilik ölçütü kullanılmıştır. Bunlar Silhouette, Calinski-Harabasz ve Davies-Bouldin indeksleridir.

Silhouette indeksi, bir gözlemin kendi kümesi içerisindeki yakınlığı ile alternatif kümeye olan uzaklığını birlikte değerlendir. İndeks -1 ile 1 arasında değerler almaktadır. 1'e yakın sonuçlar kümelerin belirgin biçimde ayrıştığını ve daha iyi sonuçlar elde edildiğini ifade etmektedir [8].

Calinski-Harabasz indeksi, k adet kümeye bölünmüş bir verinin kümeleme geçerliliğini ölçmektedir. Karşılaştırma için indeksin yüksek olması daha iyi sonuçlar vermektedir [2].

Davies-Bouldin indeksi ise küme içerisinde yer alan gözlemlerin merkeze olan uzaklığını minimum, kümeler arası uzaklığını ise maksimum yapmayı hedeflemektedir. Karşılaştırma için indeks değerinin düşük olması daha iyi bir sonuç vermektedir [3].

3. UYGULAMA VE BULGULAR

Analiz işlemleri işletmeye ait geçmiş dönemlere ait test veri seti kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan modeller aynı veri seti üzerinde çalıştırılmış ve sonuçlar elde edilmiştir. Analiz işlemleri sonucunda tedarikçi × malzeme niteliği özelliği gözlemleri elde edilmiştir. Çalışmanın analiz işlemleri R programlama dili ile yapılmış ve sonuçlar elde edilmiştir.

Uç değerler kontrolünde termin sapması, malzeme tutar ve miktar yapılarının ağır kuyruklu dağılımlar oluşturduğu görülmüştür. Bu değişkenler için uç değerlerin kırpılması işlemi analiz öncesinde uygulanmamıştır. Burada grup içerisindeki yüksek pay kaynakların belirli bir alana yoğunlaştığını gösterdiğinden ve özelliğin ortaya çıkartacağı küme yapılarının görünür olabilmesi amacıyla analiz işlemine dahil edilmiştir. Çalışmada K-Ortalamalar, Ward ve PCA + K-Ortalamalar modelleri kullanılmıştır. PCA + K-Ortalamalar modeli ölçütleri indirgenmiş

PCA uzayında hesaplanmıştır. PCA analizi sonucunda açıklanan varyans yapısına ait sonuçlar Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 1. Temel bileşenler için açıklanan varyans değerleri

Bileşen	**Tekil varyans**	**Kümülatif varyans**
PC1	%35,61	%35,61
PC2	%17,56	%53,16
PC3	%15,93	%69,10
PC4	%10,07	%79,16
PC5	%7,81	%86,97

Tablo 1'de yer alan sonuçlar değerlendirildiğinde ilk beş bileşen toplam varyansın %86,97'sini açıklamaktadır. Kümülatif varyansın %80 ve üzerinde olması gerektiğinden beş bileşen modele alınmıştır. Böylece on değişkenli yapı beş değişkenli yapıya indirgenmiştir.

Kullanılan modeller ile elde edilen küme sayıları ile içsel geçerlilik ölçütlerine ilişkin değerler Tablo 2'de ve verilmiştir.

Tablo 2. Seçilen kümeleme ölçülerinin içsel geçerlilik ölçütleri

Model	**k**	**Silhouette**	**Calinski-Harabasz**	**Davies-Bouldin**
K-Ortalamalar	3	0,325	198,10	1,178
Ward	4	0,310	176,05	1,138
PCA + K- Ortalamalar	5	**0,343**	**260,21**	**1,019**

Seçilen küme sayıları için küme büyüklüklerinin dağılımlarına ilişkin sonuçlar ise Tablo 3'te yer almaktadır.

Tablo 3. Seçilen küme büyüklüklerinin dağılımları

Model	**Küme**	**Gözlem payı**
K-Ortalamalar	1	%67,2
K-Ortalamalar	2	%29,6
K-Ortalamalar	3	%3,2
Ward	1	%2,7
Ward	2	%59,4
Ward	3	%29,5
Ward	4	%8,4
PCA + K-Ortalamalar	2	%12,7
PCA + K-Ortalamalar	3	%28,8
PCA + K-Ortalamalar	1	%39,3
PCA + K-Ortalamalar	4	%16,0
PCA + K-Ortalamalar	5	%3,2

Tablo 2'de yer alan sonuçlar değerlendirildiğinde K-Ortalamalar yöntemi için üç kümeli bir çözüm seçilmiştir. K-Ortalamalar yöntem için Silhouette indeksi 0,325; Calinski-Harabasz indeksi 198,10 ve Davies-Bouldin indeksi 1,178 olarak hesaplanmıştır. Tablo 3'te verilen sonuçlara göre ise K-Ortalamalar yöntemi içerisinde yer alan kümeler sırasıyla %67,2; %29,6 ve %3,2'lik paylar oluşturmaktadır. Bu sonuçlar veri yapısında geniş bir düşük yoğunluklu ilişki grubu, daha sınırlı fakat yüksek etkileşimli bir grup ve küçük bir yüksek yoğunluğa sahip grubun bulunduğunu ortaya koymaktadır.

Ward yöntemi sonuçlarında ise nihai küme sayısı dört olarak belirlenmiştir. Ward yöntemi için Silhouette indeksi 0,310; Calinski-Harabasz indeksi 176,05 ve Davies-Bouldin indeksi ise 1,138 olarak elde edilmiştir. Ward yaklaşımında kümeler içerisindeki gözlemlerin payları sırasıyla %2,7; %59,4; %29,5 ve %8,4 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre Ward yöntemi değişkenler arasında yer alan düşük yoğunluklu az sayıdaki ilişkiyi (%2,7) belirgin bir küme olarak ayrıştırabilmiştir.

PCA + K-Ortalamalar yöntemi sonuçlarına göre küme sayısı beş olarak belirlenmiştir. Silhouette indeksi 0,343; Calinski-Harabasz indeksi 260,21 ve Davies-Bouldin indeksi ise 1,019 olarak hesaplanmıştır. Kümeler içerisindeki gözlemlerin sırasıyla %39,3; %12,7; %28,8; %16,0 ve %3,2 şeklinde dağıldığı görülmüştür. Burada kullanılan hibrit yöntem daha iyi çözümleyerek hem baskın grupları hem de nadir görülen grupları ayrı birer küme olarak ayrıştırabilmiştir.

Üç farklı yöntemin sonucu değerlendirildiğinde PCA + K-Ortalamalar yönteminin Silhouette ve Calinski-Harabasz indekslerinde en yüksek değerleri alması Davies-Bouldin indeksinde ise en düşük değeri almasından dolayı K=5 kümeli kapsamlı çözüm içsel değerlendirme ölçütleri açısından diğer iki yöntemden ayrıştığı görülmektedir.

Kullanılan yöntemlerin aynı gözlemleri ne ölçüde benzer grupladığını ölçmek amacıyla ARI (Adjusted Rand Index – Düzeltilmiş Rand İndeksi) değeri kullanılmıştır. Değerin 1'e yakın olması iki farklı kümeleme sonucunun neredeyse aynı olduğunu gösterirken 0'a yakın olması ise uyumun rastlantı düzeyinde olduğunu göstermektedir. Kümeleme yöntemleri arasındaki düzeltilmiş uyum katsayıları Tablo 4'te yer almaktadır.

Tablo 4. Kümeleme yöntemleri arasındaki düzeltilmiş uyum değeri (ARI)

Model 1	**Model 2**	**ARI**
K-Ortalamalar	Ward	0,696
K-Ortalamalar	PCA + K-Ortalamalar	0,326
Ward	PCA + K-Ortalamalar	0,431

Tablo 4'te yer alan sonuçlara göre K-Ortalamalar ile Ward yöntemleri arasındaki ARI değeri 0,696 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç iki farklı yöntemin önemli ölçüde ortak bir davranış yapısı gösterdikleri sonucunu vermektedir. PCA + K-Ortalamalar yönteminin sırasıyla K-Ortalamalar ve Ward yöntemleri ile hesaplanan ARI değerleri ise sırasıyla 0,326 ile 0,431 olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlar PCA sonrasında gerçekleştirilen boyut indirgemenin temel kümeleri yeniden üretmediğini, değişkenler arasındaki ortak varyans yapısının öne çıkarak farklı bir segment yapısı oluşturduğu şeklinde ifade edilebilir.

Karar destek sistemi açısından en önemli sonuç farklı yöntemlerin aynı davranış uzayında birbirini tamamlayan bilgiler üretmesidir. K-Ortalamalar yöntemi geniş ve yorumlanabilir

küme yapıları, Ward daha keskin alt yapılara sahip kümeler elde edilmesini sağlamıştır. PCA yöntemi ile değişkenler az sayıda latent karar eksenine indirgemiştir. PCA + K-Ortalamalar yöntemi ile bu latent eksenler üzerinde daha ayrıntılı bir segmentasyon üretilebilmiştir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma ile işletme düzeyinde elde edilen satın alma verileri kullanılarak elde edilecek çok boyutlu davranış profillerinin incelenmesi ve benzer yapıda yer alan küme yapılarının elde edilmesi gerçekleştirilmiştir. Tedarikçi × malzeme niteliği yapısıyla elde edilen K-Ortalamalar, Ward ve PCA + K-Ortalamalar hibrit yöntemleri ile farklı ancak birbirlerini tamamlayan küme yapıları elde edilmiştir. K-Ortalamalar yöntemi ile üç temel küme yapısı oluştururken, Ward bir tanesi düşük yoğunlukta az sayıda gözlem içeren bir küme de dahil olmak üzere dört küme, PCA + K-Ortalamalar yöntemi ise on farklı değişkenin beş farklı bileşene indirgenmesi sonucunda K-Ortalamalar yönteminin uygulanmasıyla beş farklı küme segmenti üretmiştir.

İçsel geçerlik ölçütleri incelendiğinde Silhouette, Calinski-Harabasz ve Davies-Bouldin indeksleri için en iyi sonuçlar PCA + K-Ortalamalar yöntemi ile elde edilmiştir. Ancak bu sonuç yöntemler arasında doğrudan bir performans karşılaştırması amacıyla kullanılmamaktadır. PCA tabanlı hibrit yöntemde içsel geçerlilik ölçütleri indirgenmiş uzay üzerinde hesaplanırken K-Ortalamalar ve Ward yöntemleri için ise ham veri uzayında hesaplama işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Çalışmanın çeşitli sınırlılıkları bulunmaktadır. Analiz işlemleri tek bir fiziksel ölçü birimi üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu sonuç karar destek sistemleri açısından karşılaştırılabilir olmayı kolaylaştırmakta ancak genellenebilirliği sınırlamaktadır. İkinci olarak tedarikçi × malzeme niteliği kendi içerisinde ekonomik ve teknik olarak heterojen olabilmektedir. Üçüncü olarak ise termin sapmasına ilişkin değer ağır kuyruklu bir dağılıma sahiptir ve uç değerlerin küme yapısı üzerindeki etkisi ayrıca kontrol edilmelidir. Son olarak ise çalışma tek bir sektör ve tek bir işletme için geçmiş dönemlere ait test veri seti kullanılarak hazırlanmıştır.

Sonuç olarak yapılan bu çalışma ile denetimsiz öğrenme ve boyut indirgeme yöntemleri ile satın alma verilerinin bir karar destek sistemi için girdi üretebilmesi ve analitik işlemlerde kullanılabilir olması sağlanmıştır.

KAYNAKÇA

[1] Altınok, Y. (2019). *Veri madenciliğinde hiyerarşik kümeleme algoritmalarının uygulamalı karşılaştırılması* [Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi].
[2] Caliński, T., & Harabasz, J. (1974). A dendrite method for cluster analysis. *Communications in Statistics—Theory and Methods*, *3*(1), 1–27.
[3] Davies, D. L., & Bouldin, D. W. (1979). A cluster separation measure. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, *1*(2), 224–227.

[4] Ergun, O. (2023). *Makine öğrenmesi algoritmaları ile müşteri segmentasyonu ve Hepsiburada e-ticaret platformu üzerine bir uygulama* [Yüksek lisans tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi].
[5] Everitt, B. S., Landau, S., Leese, M., & Stahl, D. (2011). *Cluster analysis* (5th ed.). John Wiley & Sons.
[6] Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2023). *Data mining: Concepts and techniques* (pp. 379–425). Morgan Kaufmann.
[7] MacQueen, J. (1967). Some methods for classification and analysis of multivariate observations. *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, *1*, 281–297. University of California Press.
[8] Rousseeuw, P. J. (1987). Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, *20*, 53–65.
[9] Sarul, L. S. (2025). Ülkelerin insani gelişmişlik ölçüsüne göre seviyelerinin belirlenmesinde kümeleme algoritmalarının kullanılmasına ilişkin bir uygulama. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, *8*(1), 161–171. https://doi.org/10.34248/bsengineering.1581168
[10] Tarsitano, A. (2003). A computational study of several relocation methods for K-means algorithms. *Pattern Recognition*, *36*(12), 2955–2966.
[11] Taşatan, A. (2018). *Hiyerarşik kümeleme tekniklerinde küme eleman sayısının eşitlenmesine yönelik bir yaklaşım önerisi ve gerçek karayolu uzaklık verilerine dayalı kümeleme analizi* [Yüksek lisans tezi, Kocaeli Üniversitesi].
[12] Ward, J. H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal of the American Statistical Association*, *58*(301), 236–244.

GAUSS SÜREÇ REGRESYONU VE XGBOOST YÖNTEMLERİ KULLANILARAK BİRİM FİYAT TAHMİNLEMESİ

Ahmet GÜRGAŞİN
Astor Enerji A.Ş. AR-GE Merkezi, Sincan, Ankara.
ORCID ID: 0000-0003-1954-0253

ÖZET

Üretim sektörü işletmeleri için satın alma kararlarında gelecekteki birim fiyatın tahmin edilmesi dışında tahmine ilişkin belirsizliğinde gözlemlenebilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, geçmiş dönemlere ait bir test veri setinden elde edilen satın alma işlemlerinden türetilen çok değişkenli göstergeler kullanılarak olasılıksal fiyat tahminine dayalı bir karar destek sistemi girdileri elde edilmek istenmiştir. Belirlenen bir ürün grubuna ait tarih, miktar, geçmiş birim fiyat, tedarikçi-malzeme işlem geçmişi, finansal göstergeler ile operasyonel özellikler model girdisi olarak kullanılmıştır. Hedef değişken, net parasal tutar üzerinden oluşturulmuş ve sadece eğitim verisinden hesaplanan parametreler ile standartlaştırılmıştır. Çalışmada Gauss Süreç Regresyonu (Gaussian Process Regression – GPR) ve Yerel Yaklaşık Gauss Süreci (Local Approximate Gaussian Process – LAGP) modelleri, beklenen fiyat ve tahmin belirsizliği için kullanılırken, XGBoost modeli ise nokta tahmin performansının belirlenmesini sağlayan kıyaslama modeli olarak kullanılmıştır. Modeller, geliştirme dönemi sonrasında bağımsız bir dönem üzerinde zamansal ayırma yaklaşımıyla değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar XGBoost modelinin nokta tahminde diğer modellere göre daha iyi ancak kısıtlı sonuçlar verdiğini, bunun yanı sıra Yerel Yaklaşık Gauss Süreç modelinin %95 güven düzeyinde %94,5 kapsama oranı elde ettiğini ortaya koymaktadır. Bulgular, nokta tahmin ile belirsizlik nicelleştirmesinin farklı analitik amaçları temsil etmesine karşılık, üretim sektörü kararları için bu iki boyutun birlikte değerlendirilmesinin karar desteği için kullanılabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Gauss Süreç Regresyonu, XGBoost, Birim Fiyat Tahmini

UNIT PRICE FORECASTING USING GAUSS PROCESS REGRESSION AND XGBOOST METHODS

ABSTRACT

For businesses in the manufacturing sector, it is of great importance not only to forecast future unit prices but also to be able to assess the uncertainty associated with those forecasts when making purchasing decisions. In this study, the aim was to generate inputs for a decision support system based on probabilistic price forecasting by using multivariate indicators derived from purchasing transactions obtained from a test dataset covering past periods. Data such as date, quantity, historical unit price, supplier-material transaction history, financial indicators,

and operational characteristics for a specified product group were used as model inputs. The target variable was defined in terms of net monetary value and standardized using parameters calculated solely from the training data. In this study, the Gaussian Process Regression (GPR) and Local Approximate Gaussian Process (LAGP) models were used to estimate expected price and prediction uncertainty, while the XGBoost model served as a benchmark to assess point prediction performance. The models were evaluated using a temporal separation approach on an independent period following the development period. The results show that the XGBoost model performed better than the other models in point estimation but yielded limited results; furthermore, the Local Approximate Gaussian Process model achieved a coverage rate of 94,5% at the 95% confidence level. The findings suggest that while point prediction and uncertainty quantification represent different analytical objectives, evaluating these two dimensions together can be used to support decision-making in the manufacturing sector.

Keywords: Gaussian Process Regression, XGBoost, Unit Price Forecasting

1. GİRİŞ

İşletmelerin satın alma davranışlarının analiz edilmesi sadece geçmiş ekonomik değerlerin incelenmesi değil gelecekte oluşabilecek fiyat seviyelerinin öngörülmesini de içermektedir. Endüstriyel üretim süreçlerinde bir malzeme için gerçekleşen birim fiyat, zaman içerisindeki piyasa hareketleri, sipariş miktarları, malzeme özellikleri, geçmiş fiyat davranışları, tedarikçi-malzeme ilişkisine özgü belirlenen fiyatlar ve proje yapıları gibi çeşitli değişkenler tarafından etkilenebilmektedir.

Tahmin yöntemlerinin işletmeler için karar desteği sağlayabilmesi için sadece tek bir değerden oluşan nokta tahmin dışında belirli bir istatistiksel güven düzeyinde elde edilecek olan dar bir aralıkta modellenmesi anlamlı sonuçlar verebilmektedir. Nokta tahmin belirli bir işlem için beklenen fiyat seviyesini ifade ederken, olasılık tabanlı aralık yöntemleri bu değerin çevresindeki belirsizliği de görünür hale getirmektedir.

Bu çalışmada Gauss Süreç Regresyonu ve XGBoost yöntemleri endüstriyel üretim sektöründen elde edilen test veri seti üzerinde uygulanmıştır. Çalışma gelecekte yer alan birim fiyatların hangi belirsizlik aralığında yer alacağı ve Gauss Süreci tabanlı yöntemler ile XGBoost yönteminin elde edilen nokta tahminlerinin proje yapısı ekseninde şekillenen veri seti üzerinde nasıl bir tahmin performansı vereceği incelemektedir. Bu doğrultuda çalışmada iki temel araştırma sorusu belirlenmiştir.

i. Geçmiş endüstriyel satın alma verilerinden türetilen sınırlı ve ekonomik olarak anlamlı değişkenler yardımıyla Gauss Süreç Regresyonu modelleri ile gelecekte meydana gelecek birim fiyatların karar destek sistemlerinde kullanılabilecek tahmin aralığı oluşturabilir mi?

ii. Bu olasılıksal yapı tahmin performansında makine öğrenmesi tabanlı karşılaştırma modeli karşısında nasıl sonuçlar vermektedir?

Çalışma algoritmaların doğrudan karşılaştırılması üzerine değil kısıtlı ve işletme genelinde özelleştirilmiş olan veri seti üzerinde karar destek sistemleri için anlamlı girdiler üretebilmesini sağlamayı amaçlamaktadır.

2. MATERYEL VE METOT

2.1.Araştırma Tasarımı

Çalışma, endüstriyel üretim alanında faaliyet gösteren işletmenin geçmiş dönemlere ait test veri seti kullanılarak pilot bir çalışma olarak tasarlanmıştır. Bu kapsamda geçmiş satın alma verileri kullanılarak ileride gerçekleşebilecek birim fiyatların modellenmesi amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında tek bir hedef değişken belirlenirken birden fazla sayıda açıklayıcı değişken belirlenmiştir. Hedef değişken gerçekleşen birim fiyatı temsil ederken, zamansal, miktarsal, geçmiş fiyat verileri, malzeme ve tedarikçi geçmişi ise açıklayıcı değişken olarak modelde kullanılmıştır. Bu yapı ile model tek hedefli ve çok değişkenli bir regresyon problemi olarak kurulmuştur. Çalışmada ilk olarak Gauss Süreç Regresyonu ile beklenen fiyat değerinin ve buna bağlı tahmin belirsizliğini modellemesi amaçlanmıştır. İkinci olarak ise XGBoost algoritması kullanılarak aynı bağımsız değişkenlerin nokta tahmininin elde edilmesi ve GPR yöntemiyle karşılaştırılarak nokta tahmin performansında oluşabilecek farkların incelenmesi amaçlanmıştır.

Zamansal veri yapısının korunması ve eğitim dönemi içerisine test verisinin sızmasının engellenmesi için rastgele eğitim-test ayrımı yapılmamıştır. Değerlendirme ardışık iki dönemin model geliştirmesi ve sonraki dönemin ise test veri seti olarak kullanılması biçiminde kurgulanmıştır.

2.2.Veri Seti

Veri kaynağı olarak enerji sektöründe üretim alanında faaliyet gösteren Astor Enerji A.Ş.'nin geçmiş yıllara ait olan birim fiyat içeren veri setinden hazırlanan test veri seti kullanılmıştır. Veri kalitesi, iş süreci bilgisi ve model hedefinin homojenliği dikkate alınarak belirli bir malzeme grubuna ait ve ortak fiziksel ölçü birimi için yaklaşık yedi bin kayıtlık veri seti oluşturulmuştur.

Analiz öncesinde veri setinin hazırlanmasında hatalı veriler çıkartılmış sayısal değişkenlerde yer alan eksik değerler eğitim setinde yer alan medyan değerleri kullanılarak tamamlanmıştır. Tutarsal değişkenler için normalizasyon işlemi uygulanmış, bazı değişkenlerde ise az sayıdaki uç değerler modelden çıkartılmıştır.

Modele ait değişkenler zamansal göstergeler siparişe ait miktar bilgisi, geçmiş dönemlere ait işlemin zaman eksenindeki konumunu temsil eden trend, malzemeye ilişkin son gerçekleşen birim fiyat, işlem öncesine kadar oluşan geçmiş ortalama birim fiyat, aynı tedarikçi-malzeme eşleşmesinin işlem öncesindeki son birim fiyatı ve aynı tedarikçi-malzeme eşleşmesinin işlem öncesine kadar oluşan geçmiş ortalama birim fiyatı şeklindedir. Modelde altı farklı sayısal bağımsız değişken kullanılırken herhangi bir kategorik bağımsız değişken model içerisinde yer almamaktadır.

2.3.Gauss Süreç Regresyonu

Gauss Süreç Regresyonu (Gaussian Process Regression – GPR), çok değişkenli dağılıma sahip rastgele değişkenlerin özelliklerine sahip olan parametrik olmayan çekirdek tabanlı olasılık modelidir [14]. Yöntem, rastgele değişkenlerin herhangi bir sonlu alt kümesinde çok değişkenli bir Gauss dağılımına sahip olduğu stokastik bir süreçtir [3].

GPR yöntemleri ön olasılık dağılımlarını kullanarak son olasılık değerlerini tahmin ederler. Yeni verilere bağlı olarak bu dağılımlar sürekli güncellenir [10]. Süreç temel olarak bir ortalama fonksiyonu ve kovaryans fonksiyonu tarafından açıklanmaktadır [1]. Ortalama fonksiyonu girdiye ait fonksiyonun beklenen değerini modellemektedir. Kovaryans fonksiyonu ise ilgilenilen gizli fonksiyon üzerinde düzgünlük varsayımlarını uygular. Bu durum çıktılar arasındaki korelasyonu ve benzerliğin kodlanmasını sağlar [5]. GPR yöntemleri belirsizlik ölçümleri yapabilmesiyle küçük veri setlerinde dahi yüksek başarılı tahmin sonuçları verebilmektedir [8]. Modelin zaman serisi verilerindeki karmaşık eğilimleri ve dalgalanmaları yakalama yeteneği oldukça yüksektir [2].

2.4.Yerel Yaklaşık Gauss Süreci

Gauss Süreci yöntemleri, parametrik olmayan regresyon analizlerinde ve vekil değişken modellemelerinde olasılık değerleri açısından iyi sonuçlar vermekte ancak büyük veri setleri ile çalışırken hesaplama açısından bir darboğaza girmektedirler [6, 10]. Bu durumun sebebi ise eğitim verilerindeki gözlem sayısı (n) için n × n boyutlu kovaryans matrisinin tersinin alınmasıdır. Bu durum $O(n^3)$ seviyesinde bir hesaplama gerektirmektedir [6, 9]. Bu hesaplama maliyeti Gauss Süreci modellemesi için ölçeklendirilebilir alternatif yöntemlerin

kullanılmasını sağlamaktadır. Bu yöntemlerden birisi Yerel Yaklaşık Gauss Süreci (Local Approximate GP – LAGP) olarak verilebilir.

LAGP, tüm veri setini tek bir bütün olarak incelemek yerine, hesaplamayı test edilecek x^* konumunun etrafında yer alan çok daha küçük alt veri kümeleri üzerinden yürütmektedir [7]. LAGP modelinde birbirinden uzak noktalar arasındaki korelasyon düşüktür. Yerel uzmanlar (local experts) sistemi belirli alt bölgelere bölerek tahminlerin sistem karmaşıklığını azaltmakta ve bu durum yüksek hızlı çözümler üretilmesini sağlamaktadır [9]. Uygulamalarda dinamik yerel komşuluk seçilirken donanımsal sınırlandırmalar nedeniyle alt küme boyutu genellikte n=50 olarak alınmaktadır. Bu durum ile gereksiz büyütülen komşuluk boyutları doğruluğu arttırmadığında hızın düşmesinin engellenmesidir [4].

Çalışmada her test gözlemi için yerel tasarım 6 başlangıç gözlemi ile başlatılmıştır. Active Learning Cohn (ALC) ölçütü en fazla 50 gözleme kadar genişletilmektedir. Model GPR ile aynı standartlaştırılmış alt değişkenli girdi uzayında çalıştırılmış ve nokta tahmin ve %95 güven aralıkları elde edilmiştir.

2.5.XGBoost

Makine öğrenmesi alanında yapılandırılmış veriler üzerinde XGBoost algoritması başarılı sonuçlar vermektedir. Model temelde gradyan arttırma (gradient boosting) kullanan karar ağacı temelli bir algoritmadır [12]. XGBoost daha iyi bir karar ağacı oluşturabilmek için amaç fonksiyonun minimize etmeyi amaçlar [13]. XGBoost hem maliyeti hem de aşırı uyumu azaltarak performansını arttıran büyük verilerde hızlı bir şekilde çalışan bir yöntemdir [11]. Model regresyon, sınıflandırma ve sıralama gibi çeşitli analitik problemin çözümünde kullanılmaktadır [12].

2.6.Değerlendirme Ölçütleri

Model performanslarının değerlendirilmesi iki farklı biçimde gerçekleştir. Bunlar nokta tahmin doğruluğu ve tahmin aralığı performansıdır.

Nokta tahminde RMSE (Root Mean Squared Error), MAE (Mean Absolute Error), R^2 (Coefficient of Determination) ve sMAPE (Symmetric Mean Absolute Percentage Error) ölçütleri kullanılmıştır.

GPR modellerinin %95 güven düzeyinde tahmin aralıkları için Kapsama Olasılığı (KO) ve Ortalama Aralık Genişliği (OAG) ölçütleri kullanılmıştır. KO, tahmin aralıklarının gerçekleşen değeri kapsama düzeyini, OAG ise bu kapsamanın ne kadar geniş bir aralıkta gerçekleştiğini ifade etmektedir.

3. UYGULAMA VE BULGULAR

Analiz işlemlerinde ardışık iki yıla ait bilgiler eğitim, sonraki yıl ise test verisi olarak kullanılmıştır. İşlemler R programlama dili kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eğitim döneminde standart sapma değeri 0,755 olarak hesaplanırken test dönemi için 0,884 olarak elde edilmiştir. Ortalama birim fiyat ise test döneminden sonra %3,6 bir artış göstermiştir. Betimsel istatistiklerden sonra üç farklı modelin nokta tahmin performansları elde edilmiştir. Sonuçlar Tablo 1.'de yer almaktadır.

Tablo 1. Modellerin nokta tahmin performansları

Model	RMSE	MAE	R^2	sMAPE
GPR	0,630	0,407	0,492	%3,43
LAGP	0,630	0,403	0,491	%3,42
XGBoost	0,577	0,381	0,574	%3,21

Tablo 1'de yer alan sonuçlar incelendiğinde XGBoost yönteminin Gauss Süreç Regresyonu modellerine kıyasla kısıtlı ancak daha iyi sonuçlar ürettiği görülmektedir. Sonuçlar ayrıca GPR ve LAGP yöntemlerinin birbirlerine oldukça yakın değerler ürettiklerini göstermektedir. Nokta tahmine ilişkin elde edilen sonuçlar her iki Gauss Süreç Regresyonu modellerinin mevcut altı bağımsız değişkenli yapıda birim fiyat değişikliğinin yaklaşık olarak yarısını açıklayabildiğini göstermektedir.

Analiz işlemlerinde nokta tahmin sonrasında GPR ve Yerel Yaklaşık Gauss Süreci modellerinin tahmin aralığı sonuçları ve performansları elde edilmiştir. Sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. GPR modellerin nokta tahmin performansları

Model	KO	OAG
GPR	%90,16	2,154
LAGP	%93,80	2,594

Tablo 2'de yer alan sonuçlar incelendiğinde %95 güven düzeyinde GPR tarafından oluşturulan tahmin aralıkları kapsama oranı (KO) %90,16 olarak elde edilmiştir. LAGP yönteminin ise %93,80 kapsama oranına sahip olduğu ve kapsama oranı için %95 güven düzeyinde GPR modelinden daha iyi bir sonuç verdiği görülmektedir. Ortalama aralık genişlikleri (OAG) LAGP yöntemi için 2,594 iken GPR yöntemi için ise 2,154 olarak hesaplanmıştır. Bu sonuçlara göre LAGP modelinin, GPR modeline göre daha iyi bir kapsama oranına biraz daha geniş bir aralıkta sahip olduğu görülmektedir.

Sonuçlar değerlendirildiğinde çalışma için modellerin tek bir başarı sıralamasına göre değerlendirilmesi dışında farklı analitik çıktı sonuçları da elde edilmiştir. XGBoost yöntemi mevcut veri seti için Gauss Süreç Regresyonu temelli modellerden daha iyi nokta tahmin değeri

üretmiştir. Çalışmada nokta tahmin performansı dışında işletme düzeyinde bir karar destek sistemleri için kullanılabilir analitik işlem sonuçlarının elde edilmesi de amaçlanmıştır. Belirsizlik yapısının değerlendirilmesi amacıyla elde edilen KO ve OAG değerleri ile işlem fiyatlarının bu aralıkta yer alma durumları belirlenmiştir. Böylece tek bir işlem için beklenen fiyat ve %95 güven aralığı üretilerek tahmin edilen fiyatın bu aralıkta karşılaştırılması gerçekleştirilmiştir. Böylece her iki GPR tabanlı modele ilişkin sonuçların fiyat seviyesindeki belirsizliklerin değerlendirilebilmesine imkan veren bir karar destek sistemi çıktısı elde edilmiştir. XGBoost yöntemi ise aynı her iki GPR tabanlı modelin nokta tahmin performansının değerlendirilmesinde kullanılan bir temel karşılaştırma modeli olarak kullanılmıştır.

4. SONUÇ

Bu çalışmada endüstriyel üretim işletmelerinde satın alma süreçlerinde önemli bir yere sahip olan birim fiyatın bir karar destek sistemleri çıktısı üretebilmesi için nokta tahmin ve belirsizliğin birlikte değerlendirilebilmesini sağlayan aralık tahminlemesine ilişkin analitik işlemler gerçekleştirilmiştir.

Eğitim ve test veri setlerinin ayrımı sonucunda elde edilen 0,577 RMSE, 0,381 MAE ve 0,574 R^2 sonuçlarına göre XGBoost yönteminin en iyi nokta tahmin performansını gösterdiği görülmektedir. GPR ve LAGP yöntemlerinin ise yaklaşık 0,630 RMSE ve 0,49 R^2 değerleri ile birbirlerine oldukça yakın tahmin sonuçları elde ettikleri sonucu elde edilmiştir. Modellerin %95 güven düzeyinde LAGP yönteminin %93,8 ile daha iyi bir kapsama olasılığına sahip olduğu, GPR yönteminin ise daha düşük bir kapsama oranına ortalama aralık genişliği daha dar bir aralıkta sahip olduğu sonucu elde edilmiştir.

Çalışmanın çeşitli sınırlılıkları bulunmaktadır. Çalışma tek bir sektör genelinde tek bir işletmeye ait test veri seti kullanılarak bir pilot çalışma olarak hazırlanmıştır. Ayrıca kullanılan test veri seti tek bir malzeme özelliğine ve tek bir fiziksel ölçü birimine bağlı olarak hazırlanmıştır. Çalışmada jeopolitik durumlar ve dışsal piyasa değişkenleri bulunmamaktadır. Bu nedenle model, fiyat oluşumunun temel ekonomik belirleyicilerinin tamamını değil işletme genelinde geçmiş işlemlerden elde edilen içsel fiyat bilgisini içermektedir.

Sonuç olarak çalışma endüstriyel satın alma verileri kullanılarak beklenen fiyatın belirlenmesi ve fiyat tahmininin hangi belirsizlik aralıklarında değerler elde ettiğine ilişkin sonuçlar ortaya koymaktadır. Bu sonuçlar karar destek sistemleri için kullanılabilir birer anlamlı girdiler oluşturmaktadır.

KAYNAKÇA

[1] Açıkgenç Ulaş, M. (2023). Gauss süreç regresyonu ve destek vektör makineleri kullanılarak değerlendirilen kendiliğinden yerleşen beton davranışının deneysel veri ile doğrulanması. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, *35*(1), 379–388. https://doi.org/10.35234/fumbd.1237839
[2] Armağan, H., & Yamancı, U. (2025). Pandemi süreçlerinde S-I-R gruplarının tahmini: Farklı regresyon ve diferansiyel modellerin performans analizi. *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *29*(2), 465–473. https://doi.org/10.19113/sdufenbed.1683335
[3] Barkan, O., Weill, J., & Averbuch, A. (2016). Gaussian process regression for out-of-sample extension. *Proceedings of the 2016 IEEE 26th International Workshop on Machine Learning for Signal Processing (MLSP)*. https://doi.org/10.1109/MLSP.2016.7738829
[4] Cole, D. A., Christianson, R. B., & Gramacy, R. B. (2021). Locally induced Gaussian processes for large-scale simulation experiments. *Statistics and Computing*, *31*, Article 33. https://doi.org/10.1007/s11222-021-10007-9
[5] Fairbrother, J., Nemeth, C., Rischard, M., & Brea, J. (2018). *GaussianProcesses.jl: A nonparametric Bayes package for the Julia language*. arXiv. https://arxiv.org/abs/1812.09064
[6] Gramacy, R. B. (2016). laGP: Large-scale spatial modeling via local approximate Gaussian processes in R. *Journal of Statistical Software*, *72*(1), 1–46. https://doi.org/10.18637/jss.v072.i01
[7] Gramacy, R. B., & Apley, D. W. (2015). Local Gaussian process approximation for large computer experiments. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, *24*(2), 561–578.
[8] Karaman, Ö. A., & Bektaş, Y. (2023). Makine öğrenmesi ve optimizasyon yöntemleri ile uzun dönem elektrik enerjisi tahmini: Türkiye örneği. *Mühendislik Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, *5*(2), 285–292. https://doi.org/10.46387/bjesr.1306577
[9] Liu, H., Ong, Y.-S., Shen, X., & Cai, J. (2020). When Gaussian process meets big data: A review of scalable GPs. *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, *31*(11), 4405–4423. https://doi.org/10.1109/TNNLS.2019.2957109
[10] Rasmussen, C. E., & Williams, C. K. I. (2006). *Gaussian processes for machine learning*. MIT Press.
[11] Sarker, I. H. (2021). Machine learning: Algorithms, real-world applications and research directions. *SN Computer Science*, *2*, Article 160. https://doi.org/10.1007/s42979-021-00592-x
[12] Tekin, R., & Yaman, O. (2023). Akıllı ev sistemleri için XGBoost tabanlı saldırı tespit yöntemi. *Journal of Intelligent Systems: Theory and Applications*, *6*(2), 152–158. https://doi.org/10.38016/jista.1075054
[13] Yelgeç, M. A., & Bingöl, O. (2022). Ayrık dalgacık dönüşümü ve XGBoost ile rüzgâr gücü tahmini. *Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi*, *14*(2), 58–65. https://doi.org/10.55974/utbd.1132336
[14] Yergök, D., & Acı, M. (2019). Toplu yemek üretiminde günlük talep tahmini için alternatif bir yaklaşım: Öğrenci regresyon. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 64–73. https://doi.org/10.31590/ejosat.636368

CEZA TERİMLERİNİN ÖTESİNDE: KLASİK İSTATİSTİKTEN MODERN MAKİNE ÖĞRENMESİNE DÜZENLİLEŞTİRMEYE ÇÖZÜM SEÇİMİ PERSPEKTİFİNDEN BAKIŞ

Asst. Prof. Dr. Onur ÇAMLI
Erzurum Technical University, Faculty of Science, Department of Mathematics, 25100, Erzurum
ORCID ID: 0000-0003-3885-3781
onur.camli@erzurum.edu.tr

ÖZET

Düzenlileştirme (regularization), geleneksel olarak bir optimizasyon probleminin ceza terimleri ya da kısıtlar aracılığıyla açıkça değiştirilmesi biçiminde tanıtılır; ridge regresyonu ve Lasso bunun tipik örnekleridir. Modern makine öğrenmesi bu yorumu genişletmiştir: aşırı parametreli problemlerde optimizasyon algoritmaları, açık bir ceza terimi bulunmasa bile sistematik olarak belirli çözümleri seçebilmektedir. Bu olgu örtük yanlılık (implicit bias) ya da örtük düzenlileştirme (implicit regularization) olarak adlandırılır. Kuramsal-kavramsal nitelikteki bu çalışma, klasik ve modern düzenlileştirme mekanizmalarını birbirine bağlı üç düzeyde, yani seçim mekanizması, oluşan tercih ve istatistiksel sonuç düzeylerinde ele alan Düzenlileştirmeye Çözüm Seçimi Bakışı'nı (Solution-Selection View of Regularization, SSVR) geliştirmektedir. Bu bakış açısı açık, örtük ve karma çözüm seçimi biçimlerini birbirinden ayırır; düzenlileştirmenin amaç fonksiyonundan, olurlu parametre uzayından, optimizasyon dinamiklerinden, başlangıç değerinden, durdurma kuralından ya da öğrenme sürecinin rastlantısallığından kaynaklanabileceğini vurgular. Savunulan görüş doğrusal modellere ilişkin analitik sonuçlarla desteklenmektedir. Ridge regresyonu bir spektral filtre olarak ifade edilmiş ve kısıtlı formülasyonuyla ilişkilendirilmiştir. Sıfırdan başlatılan gradyan inişinin, açık bir ceza terimi olmaksızın en küçük L2 normlu interpolasyon çözümünü seçtiği gösterilmiştir. Erken durdurulan gradyan inişi alternatif bir spektral filtre olarak temsil edilmiş ve ridge ile karşılaştırılmıştır. Doğrusal olarak ayrılabilir verilerle kurulan lojistik regresyon örneği ise optimizasyonun ürettiği tercihin probleme bağlı olduğunu ve en küçük norm yerine en büyük marj davranışına yol açabileceğini göstermektedir. Sonuçlar, düzenlileştirmenin yalnızca ceza terimleriyle özdeşleştirilmemesi, rakip çözümler arasında tercih oluşturan mekanizmalar üzerinden anlaşılması gerektiğine işaret etmektedir. Öte yandan çözüm tercihi, örtük yanlılık ve daha iyi genelleme kavramsal olarak birbirinden farklıdır: tercih edilen bir çözümün istatistiksel açıdan en iyi çözüm olması gerekmez. SSVR böylece klasik büzülme (shrinkage) kestirimini, interpolasyon, optimizasyon dinamikleri ve örtük düzenlileştirmeye ilişkin güncel sorularla ilişkilendiren ortak bir çerçeve sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Düzenlileştirme, örtük yanlılık, ridge regresyonu, gradyan inişi, erken durdurma, çözüm seçimi

BEYOND PENALTY TERMS: A SOLUTION-SELECTION PERSPECTIVE ON REGULARIZATION FROM CLASSICAL STATISTICS TO MODERN MACHINE LEARNING

ABSTRACT

Regularization is traditionally introduced as an explicit modification of an optimization problem through penalties or constraints, with ridge regression and the Lasso as canonical examples. Modern machine learning has broadened this interpretation: in overparameterized problems, optimization algorithms may systematically select particular solutions even when no explicit penalty is present, a phenomenon known as implicit bias or implicit regularization. This theoretical-conceptual study develops a Solution-Selection View of Regularization (SSVR) that organizes classical and modern regularization mechanisms through three connected levels: selection mechanism, induced preference, and statistical consequence. The perspective distinguishes explicit, implicit, and hybrid forms of solution selection and emphasizes that regularization may originate from the objective function, the feasible parameter space, optimization dynamics, initialization, the stopping rule, or the stochasticity of the learning procedure. The argument is supported by analytical results for linear models: ridge regression is expressed as a spectral filter and related to its constrained formulation; gradient descent initialized at zero is shown to select the minimum-L2-norm interpolating solution without an explicit penalty; early-stopped gradient descent is represented as an alternative spectral filter and compared with ridge; and a separable logistic-regression example shows that optimization-induced preference is problem dependent and may produce maximum-margin rather than minimum-norm behavior. The results suggest that regularization should not be identified exclusively with penalty terms, but understood through the mechanisms that induce preferences among competing solutions. At the same time, solution preference, implicit bias, and improved generalization are shown to be conceptually distinct: a preferred solution need not be statistically optimal. SSVR thus offers a common frame of reference that links classical shrinkage estimation to current questions about interpolation, optimization dynamics, and implicit regularization.

Keywords: Regularization, implicit bias, ridge regression, gradient descent, early stopping, solution selection

1. INTRODUCTION

Regularization is central to both statistical estimation and machine learning, but what the term is taken to mean has shifted as models have changed. Classically, regularization is motivated by instability caused by multicollinearity, ill-conditioning, or excessive estimator variance: ridge regression (Hoerl and Kennard 1970) introduces a deliberate L2 bias in exchange for potentially improved mean squared error, and the Lasso (Tibshirani 1996) extends this principle with an L1 restriction capable of producing both shrinkage and sparsity.

Given an empirical loss $R_n(\theta)$, the conventional regularized problem is

$$\hat{\theta}_\lambda = \arg\min_{\theta \in \Theta} \{ R_n(\theta) + \lambda \, \Omega(\theta) \}, \quad (1)$$

where $\Omega(\theta)$ determines the preferred structure of the solution and $\lambda \geq 0$ controls the strength of regularization. Modern, overparameterized models complicate this picture: they can interpolate the training data exactly, yet interpolation does not universally imply poor prediction. Double-descent and benign-overfitting results show that some interpolating estimators generalize well under appropriate structural conditions (Belkin et al. 2019; Bartlett et al. 2020). The question then changes. Instead of asking how strongly a model should be regularized, one asks something more basic: when multiple solutions fit the training data, what determines which one is selected?

Gradient-based optimization itself provides part of the answer. For overparameterized least squares, gradient descent under suitable conditions selects the minimum-L2-norm interpolating solution even with no explicit penalty; in linearly separable logistic regression, by contrast, gradient descent converges in direction to a maximum-margin classifier while its norm diverges (Soudry et al. 2018). Solution preference can therefore emerge from optimization dynamics and their interaction with the loss, initialization, and training duration, not only from a penalty function. These observations gave rise to the notions of implicit bias and implicit regularization; neither term, however, should be read as a synonym for better generalization.

This study argues that these phenomena become clearer when examined through solution selection rather than penalty addition alone, and develops a Solution-Selection View of Regularization (SSVR) organized through three levels: selection mechanism, induced preference, and statistical consequence. The contribution is not a new estimator, nor a claim of equivalence between explicit and implicit regularization, but an organizing perspective centered on the question: what mechanism generates preference among competing solutions? The analysis is theoretical-conceptual, supported by analytical derivations for ridge regression, minimum-norm interpolation, gradient descent, early stopping, and logistic regression, using

the singular value decomposition (SVD) to expose the spectral behavior that several of these mechanisms share. No empirical data are analyzed.

Each of the phenomena discussed here is already documented in the literature; what is new is the perspective that ties them together. Belkin et al. (2019) documented the double-descent behavior that renewed interest in overparameterized estimators. Neyshabur et al. (2015) argued early on that much of the capacity control in such models comes from the optimization procedure itself, and Zhang et al. (2017) strengthened this view by showing empirically that standard networks can fit randomly permuted labels, which is hard to reconcile with explanations of generalization based only on conventional capacity measures. Gunasekar et al. (2018) extended the minimum-norm result of Section 3 to mirror descent, natural gradient descent, and steepest descent with respect to general potentials and norms, showing that different optimization geometries induce different implicit biases. This lends direct support to the SSVR claim that the selection mechanism shapes the induced preference (Section 5). Relative to this literature, the present study derives no new convergence or risk results. Its contribution is the three-level decomposition and the explicit–implicit–hybrid taxonomy developed in Section 5, which recast these known results under a single organizing question.

2. CLASSICAL REGULARIZATION AND SPECTRAL SHRINKAGE

For the linear model $\boldsymbol{y} = \boldsymbol{X}\beta + \boldsymbol{\varepsilon}$ with $\boldsymbol{y} \in \mathrm{R}^n$, $\boldsymbol{X} \in \mathrm{R}^{n\times p}$, ordinary least squares (OLS) solves $\min_\beta \|\boldsymbol{y} - \boldsymbol{X}\beta\|^2_2$, giving $\hat{\beta}_{OLS} = (\boldsymbol{X}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{X})^{-1}\boldsymbol{X}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{y}$ when $\boldsymbol{X}$ has full column rank. Strong correlation among predictors amplifies estimation variance through small eigenvalues of $\boldsymbol{X}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{X}$, which is the instability ridge regression was designed to address (Hoerl and Kennard 1970).

The ridge estimator solves the penalized problem and admits the closed form

$$\hat{\beta}_\lambda = (\boldsymbol{X}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{X} + \lambda \mathrm{I})^{-1}\boldsymbol{X}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{y}, \tag{2}$$

which is equivalent to minimizing $\|\boldsymbol{y} - \boldsymbol{X}\beta\|^2_2$ subject to $\|\beta\|^2_2 \le c$ for a data-dependent correspondence between c and λ. An explicit preference can therefore be encoded either in the objective or in the feasible solution space. The Lasso (Tibshirani 1996) replaces the L2 penalty with an L1 penalty, $\arg\min_\beta \{\|\boldsymbol{y} - \boldsymbol{X}\beta\|^2_2 + \lambda\|\beta\|_1\}$. Because the L1 ball has corners and lower-dimensional faces, the solution often lies on one of them; some coefficients are then exactly zero, and the Lasso performs variable selection.

Writing the singular value decomposition $\boldsymbol{X} = \boldsymbol{U}\boldsymbol{D}\boldsymbol{V}^{\mathrm{T}}$ with singular values $d_1, \ldots, d_r$, the ridge estimator becomes $\hat{\beta}_\lambda = \Sigma_{\mathrm{j}}\, (1/d_j)\, g^{\mathrm{R}}{}_\lambda(d_j{}^2)(\boldsymbol{u}_j{}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{y})\boldsymbol{v}_j$, with the ridge spectral filter

$$g^{\mathrm{R}}{}_\lambda(s) = s/(s + \lambda). \tag{3}$$

Ridge regularization therefore acts as a spectral filter, suppressing components associated with small singular values more strongly than those associated with large ones. The same representation carries over directly to early-stopped gradient descent (Section 3).

3. IMPLICIT REGULARIZATION IN OVERPARAMETERIZED LEAST SQUARES

When $p > n$ and $\boldsymbol{X}$ has full row rank, the interpolating set $M = \{\beta : \boldsymbol{X}\beta = \boldsymbol{y}\}$ contains infinitely many solutions (an affine subspace of dimension $p - n$), and the relevant question becomes which member of M should be selected. The minimum-L2-norm choice, $\hat{\beta}\dagger = \arg\min_{\beta} \|\beta\|^2_2$ subject to $\boldsymbol{X}\beta = \boldsymbol{y}$, has the closed form

$$\hat{\beta}\dagger = \boldsymbol{X}^{\mathrm{T}}(\boldsymbol{X}\boldsymbol{X}^{\mathrm{T}})^{-1}\boldsymbol{y} = \boldsymbol{X}^{+}\boldsymbol{y}, \tag{4}$$

the Moore–Penrose minimum-norm interpolator. Its relevance to modern learning theory is that interpolation does not by itself determine statistical performance: minimum-norm interpolation can exhibit benign overfitting under suitable covariance and effective-rank conditions (Bartlett et al. 2020; Hastie et al. 2022; Han and Xu 2026), though this is not universal. Interpolation does not imply poor generalization, but a minimum norm does not guarantee good generalization either.

For the unregularized loss $L(\beta) = \tfrac{1}{2}\|\boldsymbol{X}\beta - \boldsymbol{y}\|^2_2$, gradient descent $\beta_{t+1} = \beta_t - \eta\boldsymbol{X}^{\mathrm{T}}(\boldsymbol{X}\beta_t - \boldsymbol{y})$ started at $\beta_0 = 0$ satisfies, via the SVD,

$$\beta_t = \Sigma_j \left[1 - (1 - \eta d_j^2)^t\right] / d_j \;\; (\boldsymbol{u}_j^{\mathrm{T}}\boldsymbol{y})\boldsymbol{v}_j, \tag{5}$$

which, for a learning rate $0 < \eta < 2/d_1^2$ (the standard stability condition for quadratic least-squares gradient descent, where d_1 is the largest singular value of $\boldsymbol{X}$), converges as $t \to \infty$ to $\boldsymbol{X}^{+}\boldsymbol{y}$, i.e., to the same minimum-norm interpolator as in (4). This limit is reached with no penalty term in L, purely through the zero initialization and the algorithm's dynamics. The narrower range $0 < \eta \leq 1/d_1^2$ guarantees that all contraction factors in (5) are nonnegative, so each spectral component approaches its limit monotonically, without oscillation. Equation (5) also gives finite-time gradient descent a spectral interpretation, with filter $g^{\mathrm{GD}}{}_t(s) = 1 - (1 - \eta s)^t$, to be compared with the ridge filter of (3):

$$g^{\mathrm{R}}{}_{\lambda}(s) = s/(s + \lambda), \qquad g^{\mathrm{GD}}{}_t(s) = 1 - (1 - \eta s)^t. \tag{6}$$

Both suppress spectral components, but through different filter functions; $\lambda \uparrow$ corresponds loosely to $t \downarrow$, with $\lambda \approx 1/(\eta t)$ as a rough guide, but no universal one-to-one equivalence should be inferred. In continuous time the link can be made precise: the risk of gradient flow at time t stays within a constant factor of the risk of ridge with $\lambda = 1/t$ (Ali et al. 2019). Recent finite-sample results show that the difference between the two filters also matters statistically. For well-specified linear regression, early-stopped gradient descent is never worse than ridge by

more than a constant factor, whereas in some problems even optimally tuned ridge is polynomially worse than gradient descent (Wu et al. 2026).

4. IMPLICIT BIAS IS PROBLEM DEPENDENT: LOGISTIC REGRESSION

The least-squares results might suggest that implicit regularization simply reconstructs an L2-type preference; this is too strong. For linearly separable data with labels $y_i \in \{-1, 1\}$ and logistic loss $L(\beta) = \Sigma_i \log[1 + \exp(-y_i x_i^T \beta)]$, no finite minimizer exists: the loss can be driven toward zero by increasing the norm of a separating vector, so unlike Sections 2–3, $\|\beta_t\|_2 \to \infty$ rather than converging. With a sufficiently small step size, gradient descent nonetheless has a well-defined asymptotic *direction* (Soudry et al. 2018):

$$\beta_t/\|\beta_t\|_2 \to \beta_{MM}/\|\beta_{MM}\|_2 \quad \text{as } t \to \infty, \tag{7}$$

where $\beta_{MM} = \arg\min_\beta \|\beta\|_2$ subject to $y_i x_i^T \beta \geq 1 \ \forall i$ is the hard-margin support vector machine (SVM) solution without intercept. Squared loss with gradient descent thus selects a *finite minimum-norm* point, whereas logistic loss with gradient descent selects a *diverging maximum-margin direction*. The implicit bias therefore comes from the interaction of loss, optimizer, and dynamics rather than from the optimizer alone. More generally, implicit bias can also be shaped by initialization; in the separable logistic-regression setting considered here, however, the asymptotic maximum-margin direction does not depend on the (finite) initialization.

5. THE SOLUTION-SELECTION VIEW OF REGULARIZATION (SSVR)

Let $R_n(\theta) = (1/n)\Sigma l(y_i, f_\theta(x_i))$ and $M = \arg\min_{\theta \in \Theta} R_n(\theta)$. When M contains multiple admissible solutions, a learning procedure implicitly or explicitly establishes a preference among them, which SSVR represents through the abstract selection map S as

$$\hat{\theta} = S(D; L, \Theta, \Omega, A, I, T, Z), \tag{8}$$

where D is the data, L the loss, Θ the feasible space, Ω an explicit regularizer, A the algorithm, I the initialization, T the stopping rule, and Z any stochastic components. The notation makes explicit that the final estimator can depend on much more than the nominal objective. SSVR separates three questions. (i) Selection mechanism: where does the preference originate (penalties, constraints, dynamics, initialization, stopping rules, stochasticity)? (ii) Induced preference: what type of solution is favored (small norm, sparsity, maximum margin, spectral smoothness)? (iii) Statistical consequence: what changes in bias, variance, stability, or generalization follow? Schematically,

$$\text{Selection mechanism} \to \text{Induced preference} \to \text{Statistical consequence}, \tag{9}$$

where the second arrow is not automatic: a systematic preference can be beneficial, neutral, or harmful depending on the problem. This distinction also delimits the scope of the framework:

solution selection is broader than regularization, since any algorithm that returns an admissible solution has, in effect, selected one. A selection mechanism qualifies as regularizing only insofar as the induced preference alters effective complexity, stability, or statistical behavior relative to the alternative admissible solutions. Regularization is thus a proper subset of solution-selection mechanisms, not a synonym for solution selection, and SSVR's three levels are meant to trace this narrower relationship.

Keeping these levels apart prevents implicit bias from being read, by default, as beneficial regularization. Explicit selection encodes preference directly in the objective or feasible set (ridge, Lasso, norm-constrained estimation); implicit selection arises with no penalty term, purely from the algorithm, $\hat{\theta}$ = A(D; L, I, T, Z), as in Sections 3–4; and hybrid selection combines both, as when an explicitly penalized objective is optimized by a stochastic procedure with its own dynamics-level preference. Dropout is often cited in this hybrid category, since its regularization effect has been characterized as containing both an objective-level and a stochastic-training-level component (Wei et al. 2020), although the precise decomposition remains an active research question rather than a settled dichotomy. The explicit–implicit distinction is therefore best read as describing sources of preference, not as a fixed label attached permanently to a given algorithm.

6. COMPARATIVE INTERPRETATION

Table 1 summarizes the mechanisms examined in this study under the SSVR organization.

Table 1. Selection mechanisms compared under the SSVR organization

Procedure	Selection source	Selection type	Induced preference	Main control
Ridge	Objective	Explicit	Small L2 norm / spectral shrinkage	λ
Lasso	Objective	Explicit	Sparsity	λ
Norm constraint	Feasible space	Explicit	Bounded norm	c
Explicit min-norm interpolation	Solution criterion	Explicit	Minimum L2 norm	Geometry of solution set
GD-induced min-norm selection	Optimization + init.	Implicit	Minimum L2 norm (in LS)	A, I (η only for stability)
GD to convergence (logistic)	Optimization dynamics	Implicit	Maximum-margin direction, diverging norm	A, η (direction is init.-independent)
Early-stopped GD	Optimization trajectory	Implicit	Spectral filtering	T, η, I
Dropout	Objective + stochastic training	Hybrid	Model-dependent	Dropout rate

The table illustrates the central SSVR claim: the presence or absence of a conventional penalty is only one dimension of regularization. The more general issue concerns how the learning procedure establishes a preference over candidate solutions.

7. DISCUSSION

The development from ridge regression to implicit regularization reflects a shift in statistical thinking: classical regularization asks how an estimator should be deliberately modified, while modern learning theory additionally asks why an optimization procedure chooses one solution when the objective alone does not determine it. Ridge explicitly favors small-norm solutions; gradient descent can generate the same type of preference with no explicit penalty; early stopping suppresses unstable spectral directions through finite optimization time; and logistic regression shows the resulting preference can instead be maximum-margin with diverging norm, so implicit bias cannot be reduced to a single, universal L2 story.

The spectral comparison of Section 3 offers a transparent bridge between the classical and modern views, and the difference it exposes between the two filters has statistical, not merely notational, consequences (Wu et al. 2026). A second implication concerns overparameterization. Because interpolation alone does not characterize the estimator, minimum-norm interpolation may or may not be benign depending on the covariance structure of the data (Bartlett et al. 2020; Han and Xu 2026); neither interpolation nor minimum norm is, on its own, an explanation of generalization. A third implication is that implicit bias and statistical regularization are conceptually distinct. An implicit preference can help, do nothing, or hurt, depending on the problem; in some high-dimensional logistic-regression settings, for instance, early stopping can outperform the asymptotic maximum-margin limit (Wu et al. 2025). A fourth implication explains why an algorithm-level account of generalization is needed at all. If standard networks can fit even randomly permuted labels (Zhang et al. 2017), capacity measures alone cannot say why the same networks generalize on real data. In SSVR, this algorithm-level control is located at the selection-mechanism level (Section 5). These points support treating optimization as part of the statistical specification of a learning procedure, not merely as a computational device.

The main limitation of this study is that SSVR is a conceptual organization rather than a new mathematical theory: the individual results are established in the literature, and the contribution lies in their organization. The analysis is also confined to linear models; nonconvex, architecture-dependent implicit biases in deep networks require separate treatment. Finally, the boundary between explicit and implicit regularization is not always sharp (dropout is a case in

point), and generalization cannot be inferred from solution preference alone, since it depends jointly on the data distribution, model, loss, optimizer, and sample size.

8. CONCLUSION

Classical ridge regression and the Lasso impose solution preferences directly through penalties or constraints; modern overparameterized learning shows that comparable preferences also emerge from optimization dynamics, initialization, training duration, and stochasticity. This study organized these mechanisms through the Solution-Selection View of Regularization (SSVR): selection mechanism → induced preference → statistical consequence, applied analytically to ridge, minimum-norm interpolation, gradient descent, early stopping, and logistic regression (Sections 2–4). The defining issue in regularization is therefore not merely whether a penalty term appears in the objective, but how a preference among candidate solutions is generated and what statistical consequences follow. Even so, solution selection, implicit bias, and improved generalization remain conceptually distinct. As statistical modeling moves toward overparameterized systems in which optimization dynamics form an integral part of the estimator, the underlying question persists: among the solutions that can fit the data, which solution should learning prefer?

REFERENCES

Ali A, Kolter JZ, Tibshirani RJ. (2019). A continuous-time view of early stopping for least squares regression. Proceedings of the 22nd International Conference on Artificial Intelligence and Statistics (AISTATS), PMLR 89, 1370–1378.

Bartlett PL, Long PM, Lugosi G, Tsigler A. (2020). Benign overfitting in linear regression. Proceedings of the National Academy of Sciences 117(48), 30063–30070.

Belkin M, Hsu D, Ma S, Mandal S. (2019). Reconciling modern machine-learning practice and the classical bias–variance trade-off. Proceedings of the National Academy of Sciences 116(32), 15849–15854.

Gunasekar S, Lee J, Soudry D, Srebro N. (2018). Characterizing implicit bias in terms of optimization geometry. Proceedings of the 35th International Conference on Machine Learning, PMLR 80, 1832–1841.

Han Q, Xu X. (2026). The distribution of ridgeless least squares interpolators. Journal of Machine Learning Research 27(23), 1–94.

Hastie T, Montanari A, Rosset S, Tibshirani RJ. (2022). Surprises in high-dimensional ridgeless least squares interpolation. The Annals of Statistics 50(2), 949–986.

Hoerl AE, Kennard RW. (1970). Ridge regression: Biased estimation for nonorthogonal problems. Technometrics 12(1), 55–67.

Neyshabur B, Tomioka R, Srebro N. (2015). In search of the real inductive bias: On the role of implicit regularization in deep learning. International Conference on Learning Representations (ICLR), Workshop Track.

Soudry D, Hoffer E, Nacson MS, Gunasekar S, Srebro N. (2018). The implicit bias of gradient descent on separable data. Journal of Machine Learning Research 19(70), 1–57.

Tibshirani R. (1996). Regression shrinkage and selection via the Lasso. Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological) 58(1), 267–288.

Wei C, Kakade S, Ma T. (2020). The implicit and explicit regularization effects of dropout. Proceedings of the 37th International Conference on Machine Learning, PMLR 119, 10181–10192.

Wu J, Bartlett PL, Telgarsky M, Yu B. (2025). Benefits of early stopping in gradient descent for overparameterized logistic regression. Proceedings of the 42nd International Conference on Machine Learning, PMLR 267, 67081–67110.
Wu J, Bartlett PL, Kakade SM, Lee JD, Yu B. (2026). Risk comparisons in linear regression: Implicit regularization dominates explicit regularization (Extended Abstract). Proceedings of the 39th Conference on Learning Theory, PMLR 336, 6849–6851.
Zhang C, Bengio S, Hardt M, Recht B, Vinyals O. (2017). Understanding deep learning requires rethinking generalization. International Conference on Learning Representations (ICLR).

ULUSAL ENERJİ PLANLAMASINDA ALGORİTMİK KARMAŞIKLIĞIN SINIRLARI: ELEKTRİK TALEBİ ÖNGÖRÜSÜNÜN KARŞILAŞTIRMALI ÇÖZÜMLEMESİ

Öğr. Gör. Dr.Hasan ERYÜRÜK
Afyon Kocatepe University, Department of Management and Organization
ORCID: 0000-0002-2080-1169
Öğr. Gör. Fatma TOPUZ ERYÜRÜK
Afyon Kocatepe University, Department of Computer Technologies
ORCID: 0000-0003-2133-2840

ÖZET

Bu çalışma, ileriye dönük bir değerlendirme tasarımıyla şu hipotezi sınamaktadır: Ulusal enerji planlaması bağlamında daha karmaşık öngörü algoritmalarının kullanılması öngörü doğruluğunu yükseltir mi? Our World in Data (OWID) enerji veri setinden hareketle 157 ülkeden oluşan bir örneklem kurulmuştur; bu ülkeler 2003–2024 döneminde kişi başına elektrik talebinde kesintisiz gözlem dizisine sahip olup 2024 nüfusları en az bir milyondur. Dengeli panel 3454 "ülke–yıl" gözlem içermektedir. Kişi başına elektrik talebinin bir yıl ileriye öngörüsü için gradyan artırımı algoritması XGBoost, düzenlileştirilmiş doğrusal bağlanım olan elastik ağ (elastic net) ve en son gerçekleşen değeri bir sonraki döneme olduğu gibi taşıyan naif yöntem kullanılmıştır. Her hedef yıl için modeller yalnızca önceki yılların verisiyle eğitilmiş; hiperparametre seçimi, hedef yıldan hemen önceki yıl üzerindeki doğrulamayla tamamlanmıştır. Örneklem dışı sınama dönemi 2017–2024'ü kapsamakta ve her yöntem 1256 öngörü üretmektedir. Ortalama mutlak hata (OMH) sırasıyla şöyledir: naif yöntem 113,33 kWh/kişi, elastik ağ 118,20 kWh/kişi, XGBoost 130,32 kWh/kişi. XGBoost'un elastik ağa göre fazla hatası 12,11 kWh/kişidir; ülke ve yıl üzerinden iki yönlü kümelenmiş önyüklemenin yüzde 95 güven aralığı 2,72–23,71'dir (çift yönlü p = 0,011). XGBoost yalnızca örneklem ülkelerinin %36,94'ünde elastik ağdan üstündür. 2020–2021 yılları dışlandığında dahi yöntem sıralaması değişmemektedir. XGBoost modelinde ilk üç talep gecikmesinin birikimli göreli önemliliği bütün özellik bilgi miktarının %99,25'ini oluşturmaktadır. Bulgular, yıllık ulusal talebin belirgin eylemsizlik sergilediği durumda ek algoritmik esnekliğin örneklem dışı öngörü üstünlüğüne dönüşmediğini göstermektedir. Bu nedenle kamu kurumları, karmaşık modellerin sıkı zamansal sırayı koruyan sınamalarda saydam kıyas modellerini geçmesini talep etmeli; her doğruluk kazancını bakım ve denetlenebilirlik maliyetiyle birlikte değerlendirmelidir.

Anahtar kelimeler: Enerji planlaması; elektrik talebi; XGBoost; elastik ağ; zaman dizisi doğrulaması

THE LIMITS OF ALGORITHMIC COMPLEXITY IN NATIONAL ENERGY PLANNING A COMPARATIVE ANALYSIS OF ELECTRICITY DEMAND FORECASTING

ABSTRACT

Using a forward-looking evaluation design, this study tests whether greater algorithmic complexity improves forecast accuracy in national energy planning. A sample of 157 countries was drawn from the Our World in Data (OWID) energy dataset. All countries have complete annual observations of per capita electricity demand for 2003–2024 and populations of at least one million in 2024. The balanced panel comprises 3,454 country-year observations. Three methods were used to forecast per capita electricity demand one year ahead: XGBoost, a gradient boosting algorithm; elastic net, a regularized linear regression model; and a naïve method that carries the most recent observation forward unchanged. For each target year, models were trained exclusively on data from preceding years, with hyperparameters selected through validation on the immediately preceding year. The out-of-sample evaluation covers 2017–2024 and yields 1,256 forecasts per method. Mean absolute error (MAE) is 113.33 kWh per capita for the naïve method, 118.20 for elastic net, and 130.32 for XGBoost. XGBoost exceeds elastic net's MAE by 12.11 kWh per capita, with a 95% confidence interval of 2.72–23.71 from a two-way cluster bootstrap over countries and years (two-sided p = 0.011). XGBoost outperforms elastic net in only 36.94% of the countries sampled. The ranking remains unchanged when 2020 and 2021 are excluded. The first three demand lags jointly account for 99.25% of total relative feature importance in XGBoost. The findings indicate that, where annual national demand exhibits strong persistence, additional algorithmic flexibility does not translate into superior out-of-sample forecasts. Public agencies should therefore require complex models to outperform transparent benchmarks under strictly chronological evaluation and assess any accuracy gains alongside maintenance and auditability costs.

Keywords: Energy planning; electricity demand; XGBoost; elastic net; time series validation

INTRODUCTION

Electricity demand forecasting underpins national decision-making, informing the timing of investment in generation capacity, transmission network capacity, fuel security requirements, and energy efficiency programs. Forecast errors have direct financial consequences and can increase the risk of supply disruptions. Moreover, developing, operating, and interpreting forecasting tools entails substantial institutional costs. Model selection should therefore be based on measurable improvements in accuracy over simpler alternatives.

Machine learning methods offer considerable flexibility in approximating nonlinear relationships and interactions among predictors. XGBoost is a computationally efficient gradient boosting algorithm that sequentially combines weak learners based on classification and regression trees and incorporates regularization into its objective function (Chen and Guestrin, 2016). In principle, these features enable it to capture complex structural patterns in electricity consumption dynamics. However, the load forecasting literature shows that relative performance depends directly on data frequency, the forecast horizon, and the validation design (Taylor and McSharry, 2007; Hong and Fan, 2016; Hong et al., 2016). In annual national time series, the latest observed demand level may be a strong predictor of the following year, leaving very little incremental information for a complex model to extract from additional inputs.

Regularized elastic net regression provides a more parsimonious comparator, constraining linear coefficients through a combination of ridge and lasso penalties (Zou and Hastie, 2005; Friedman, Hastie, and Tibshirani, 2010). In a modeling framework that includes highly correlated lags and country dummy variables, coefficient shrinkage can reduce estimation variance. Comparing only two machine learning algorithms is nevertheless insufficient: both may underperform a simple forecast that mechanically carries the latest observation forward. Accordingly, this study includes a naïve persistence forecast that reproduces the previous period's demand level as a third method.

In applied forecasting research, evaluation design is as important as model specification. Randomly splitting observations into training and test sets can inflate apparent accuracy by allowing information from later years to inform predictions for earlier years. The validity of cross-validation in autoregressive modeling depends on splitting schemes that preserve temporal dependence (Bergmeir, Hyndman, and Koo, 2018). Large forecasting competitions also emphasize the importance of evaluating complex methods against strong heuristic benchmarks (Makridakis, Spiliotis, and Assimakopoulos, 2018). The out-of-sample design used here approximates actual decision-making conditions through eight successive forecast origins for the 2017–2024 evaluation period.

The central research question is whether, using publicly available annual national data from OWID, XGBoost can forecast per capita electricity demand one year ahead with lower error than elastic net and a naïve persistence benchmark. The primary hypothesis is that XGBoost's flexible architecture yields a lower MAE than elastic net. A secondary objective is to establish whether either tuned model adds predictive value beyond the naïve benchmark. The study

contributes an empirical test of these propositions using an updated public dataset and a validation scheme that strictly preserves chronological order.

For public institutions, this comparison matters for two reasons. First, greater model complexity increases software dependencies, raises skill requirements, and intensifies regulatory oversight. Second, reduced interpretability makes it more difficult to assign responsibility for flawed administrative decisions. Without a demonstrated accuracy advantage, there is little institutional justification for incurring these costs. Even a statistically significant gain requires detailed scrutiny of its geographical and temporal distribution, its relevance to the system's operational purpose, and the reliability of routine data updates.

DATA AND METHODS

Data Sources and Sample Construction

The sole external source of empirical data is OWID's publicly available energy database, which compiles country-year indicators of electricity demand, generation mix, population, gross domestic product, and energy consumption (Our World in Data, 2026). Electricity indicators are harmonized primarily from Ember's global data and the Energy Institute's Statistical Review of World Energy (Ember, 2026; Energy Institute, 2025). All calculations use the database snapshot dated September 25, 2026.

Countries were selected using two prespecified criteria: complete observations of per capita electricity demand for all 22 years from 2003 to 2024, and a population of at least one million in 2024. International aggregates and composite regional indicators were excluded using ISO codes. A total of 157 countries met these criteria, yielding a balanced panel of $157 \times 22 = 3{,}454$ observations. The population threshold was intended to prevent extreme fluctuations in small, isolated electricity systems from destabilizing the analysis.

The dependent variable is annual per capita electricity demand, measured in kilowatt-hours per person. The predictor vector includes the first three lags of demand; population and per capita income lagged by one year; and the shares of coal, natural gas, hydropower, nuclear, solar, and wind in total electricity generation. Country fixed effects control for baseline differences across countries, while a linear time trend captures common long-term dynamics. Internal gaps in the income and generation-mix series were filled by carrying the last observation forward, using only information from preceding periods. Any remaining sparse missing values were imputed using the median of the relevant training sample. No distributional information from the test year was used at any stage of preprocessing.

The use of annual national aggregates defines the study's scope: the findings cannot be generalized to hourly load profiles, seasonal peak demand, or local grid constraints. Moreover, the updated OWID database may contain retrospective revisions to historical values. Although training and testing strictly follow chronological order, the design does not reconstruct the data vintages that analysts could actually have accessed in real time. The findings should therefore be interpreted as a retrospective comparison of annual forecasts based on the current database vintage.

Forecasting Design and Model Specification

The modeling period begins in 2006 to allow all three demand lags to be constructed. The out-of-sample test window is fixed at 2017–2024. For example, forecasts for 2020 were trained only on data available through the 2019 observation year, with the 2020 observations excluded from model specification. The algorithms were applied separately to each of the eight target years using an expanding-window scheme, producing 157 × 8 = 1,256 out-of-sample forecasts per method.

For elastic net, the mixing parameter was selected from $\alpha \in \{0, 0.5, 1\}$, while the regularization parameter λ was varied over a logarithmic grid. For each target year, the immediately preceding observation year served as the validation set, and earlier years formed the training sample. After the configuration minimizing validation MAE was selected, the model was refitted on all observations preceding the target year. Thus, each target year's test observations remained fully separate from hyperparameter selection and coefficient estimation.

The XGBoost search considered maximum tree depths of 2 and 4, learning rates of 0.03 and 0.08, and minimum child weights (min_child_weight) of 1 and 5. Observation and feature subsampling rates were fixed at 0.85. Early stopping was applied after 40 iterations without improvement, with a maximum of 700 boosting iterations. Hyperparameters were tuned over the same validation window as elastic net, after which the model was retrained on all data preceding the target year using the selected number of iterations. The pseudorandom seed was fixed at 20260925.

For each country, the naïve forecast is defined as per capita demand in the year immediately preceding the forecast year. It requires no hyperparameter tuning and provides a demanding benchmark for highly autocorrelated series. Failure to outperform this benchmark does not imply that the predictors contain no information. Rather, at the annual forecast horizon, the available data and model configuration do not deliver a stable accuracy gain beyond the information already contained in the latest observation.

Evaluation Metrics and Uncertainty Quantification

The primary evaluation metric is mean absolute error (MAE). Because each country contributes eight observations to the balanced evaluation panel, averaging errors across country-year observations gives every country equal weight. Root mean squared error (RMSE), symmetric mean absolute percentage error (sMAPE), and mean absolute scaled error (MASE) were also calculated. MASE scales errors by the mean absolute annual change over the 2003–2016 reference period (Hyndman and Koehler, 2006). Reporting these metrics jointly is necessary because the choice of metric can change the relative ranking of energy consumption forecasting methods (Haben et al., 2014).

Uncertainty in between-model differences was estimated using a two-way cluster bootstrap over countries and years. In each of 2,000 replications, 157 countries and eight test years were independently resampled with replacement along their respective clustering dimensions. The error difference was then recalculated using the product of each observation's country and year resampling weights. This procedure avoids treating successive errors within a country, or errors associated with global macroeconomic shocks in a given year, as independent. Confidence intervals were constructed from the 2.5th and 97.5th percentiles of the bootstrap distribution. Two-sided p-values were calculated from the proportion of the distribution falling on the opposite side of zero.

EMPIRICAL RESULTS

Out of Sample Forecast Accuracy

Table 1 summarizes out-of-sample performance. The naïve method has the lowest MAE, at 113.33 kWh per capita, compared with 118.20 for elastic net and 130.32 for XGBoost. RMSE and sMAPE produce the same ranking. MASE values are 1.29 for the naïve benchmark, 2.32 for elastic net, and 2.70 for XGBoost. The difference in magnitude between scaled and absolute errors reflects the greater relative weight that moderate absolute deviations receive in countries with limited historical variation.

Table 1. Out-of-sample forecast accuracy, 2017–2024

Method	MAE kWh per capita	RMSE kWh per capita	sMAPE %
Naïve forecast (t−1)	113.33	210.03	4.62
Elastic net	118.20	215.30	7.47
XGBoost	130.32	236.56	7.71

Source: Author's calculations using OWID data in R 4.5.3. Each method is evaluated on 1,256 out-of-sample forecasts.

XGBoost's MAE exceeds that of elastic net by 12.11 kWh per capita. The two-way cluster bootstrap yields a 95% confidence interval of 2.72–23.71 kWh per capita, excluding zero (p = 0.011). Relative to the naïve method, XGBoost's excess error is 16.98 kWh per capita, with a confidence interval of 7.08–28.95 (p = 0.001). Elastic net exceeds the naïve forecast's error by 4.87 kWh per capita; the interval of −1.26 to 10.97 includes zero, and the difference is not statistically significant at the 5% level (p = 0.120). The research hypothesis is therefore rejected: XGBoost exhibits statistically significantly poorer forecast performance than either alternative.

The annual error profile confirms the consistency of this pattern. XGBoost's MAE exceeds elastic net's in all eight test years. The naïve model performs best in 2017–2022 and 2024; elastic net outperforms it only in 2023, with an MAE of 121.48 versus 124.23 kWh per capita. Errors peak in 2021 for all three methods: 168.36 kWh per capita for the naïve method, 173.09 for elastic net, and 202.95 for XGBoost. This pattern is consistent with the substantial unpredictability of the post-pandemic recovery in demand.

Country-level disaggregation shows that XGBoost achieves a lower mean error than elastic net in only 36.94% of the 157 countries; it outperforms the naïve forecast in just 28.66%. The boosting algorithm's overall disadvantage therefore reflects systematic underperformance across most countries rather than isolated outliers. Nevertheless, its advantage in some countries supports context-specific tuning: applications for individual electricity systems should monitor accuracy over rolling windows rather than rely on the global average.

Sensitivity Analysis and Feature Importance

To assess whether the overall result was driven entirely by the pandemic shock, 2020 and 2021 were excluded from the analysis. In the resulting subset, MAE is 105.05 kWh per capita for the naïve method, 108.69 for elastic net, and 118.88 for XGBoost. The unchanged ranking

indicates that XGBoost's vulnerability extends beyond these two crisis years. However, because the evaluation period is reduced to six time points, this exercise should be interpreted as a robustness check on the direction of the effect rather than as an independent validation.

Average relative feature importance in XGBoost, measured by gain, is heavily concentrated in the demand lags: the first lag accounts for 75.82%, the second for 17.09%, and the third for 6.34%. Together, they represent 99.25% of total feature importance. Every remaining feature, including lagged income and population, generation shares, the time trend, and country dummies, contributes no more than 0.1%. These estimates reflect the contribution of tree splits to reductions in the ensemble's loss function, not causal relationships (Lim et al., 2021). Such pronounced concentration indicates that the complex model effectively relies almost entirely on the target series' own recent history.

This distribution of importance provides a theoretical explanation for the naïve method's strong performance. When demand levels are highly autocorrelated, year-to-year increments are characterized by substantial random noise. As XGBoost searches for fine-grained patterns in the lag structure, it projects local fluctuations in the validation window into the future. Elastic net's coefficient shrinkage partly addresses this risk of overfitting, but it does not fully offset the naïve model's advantage from having no parameter estimation variance. Adding macroeconomic predictors does not, by itself, create a new predictive signal.

DISCUSSION AND PRACTICAL IMPLICATIONS

The principal practical implication for public institutions is that simple benchmark models should be mandatory in the procurement, development, and deployment of analytical systems. A proposed software solution cannot be considered adequate merely because it outperforms another machine learning algorithm. If existing institutional practice extrapolates the latest observed value, developers must formally demonstrate an incremental error reduction against that benchmark, justify the cost of the computational infrastructure, and assess the risk of distorting decisions. Neither tuned model cleared this minimum performance threshold in the present evaluation.

A second implication concerns the rigor of backtesting protocols: the evaluation design must reproduce actual operating conditions. High accuracy reported under random time series splits inevitably deteriorates in genuine one-step-ahead forecasting. For each forecast year, only data from strictly earlier years may be used, and preprocessing parameters must be calibrated within the training pipeline. Once a model is deployed, institutionalized monitoring should

continuously and systematically verify its reported performance against incoming observations.

A third consideration is the trade-off between interpretability and forecast performance. The cumulative effect of splits in an XGBoost tree ensemble cannot, in principle, be summarized by a single elasticity coefficient. Reduced interpretability is defensible only when the accuracy advantage is substantial and statistically established. Since the complex model offered no practical advantage in this experiment, elastic net and naïve persistence forecasts are better-supported choices on grounds of auditability and public accountability. This recommendation should not be mechanically extended to high-frequency applications in the real-time operation of electricity systems.

STUDY LIMITATIONS

All computations were performed in R 4.5.3 through a unified, reproducible pipeline that strictly preserved chronological order. Nevertheless, the study has several limitations. First, the analysis is confined to annual national series at the macro level, and the eight-year evaluation window limits the assessment of systematic macroeconomic shocks over longer historical periods. Second, the public OWID database contains retrospective revisions to historical data. Third, the hyperparameter search grids for XGBoost and elastic net are focused and potentially suboptimal; a broader search space could produce different tuning outcomes. Finally, the models do not include high-frequency predictors such as weather conditions, spot energy prices, and real-time regulatory interventions. The findings establish that XGBoost offers no advantage under the annual data structure examined here; they do not imply that it is universally unsuitable for energy applications.

CONCLUSION

Using OWID's global energy database and a methodological framework that strictly separates past and future observations, this experiment challenges the assumption that algorithmic complexity invariably improves forecasting. Across 1,256 out-of-sample observations for 2017–2024, the naïve persistence model achieves the lowest MAE, at 113.33 kWh per capita. MAE is 118.20 for elastic net and 130.32 for XGBoost, whose inferior performance is confirmed by the cluster bootstrap results.

The findings remain stable when the pandemic years are excluded, and the complex model underperforms across most of the country sample. The concentration of almost all feature importance, approximately 100%, in the first few demand lags demonstrates the predominance of persistence over external factors. Increasing architectural complexity leads to finer fitting of

noise in historical data without improving generalization. National energy forecasting should prioritize a thorough understanding of the forecasting problem and rigorous comparison with heuristic benchmarks before adopting fashionable algorithmic architectures.

REFERENCES

Bergmeir, C., Hyndman, R. J., and Koo, B. (2018). A note on the validity of cross-validation for evaluating autoregressive time series prediction. Computational Statistics & Data Analysis, 120, 70–83. https://doi.org/10.1016/j.csda.2017.11.003

Chen, T., and Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, 785–794. https://doi.org/10.1145/2939672.2939785

Ember. (2026). Global Electricity Data Explorer. https://ember-energy.org/data/electricity-data-explorer/ (accessed September 25, 2026)

Energy Institute. (2025). Statistical Review of World Energy 2025. https://www.energyinst.org/statistical-review (accessed September 25, 2026)

Friedman, J., Hastie, T., and Tibshirani, R. (2010). Regularization paths for generalized linear models via coordinate descent. Journal of Statistical Software, 33(1), 1–22. https://doi.org/10.18637/jss.v033.i01

Haben, S., Ward, J., Vukadinovic Greetham, D., Singleton, C., and Grindrod, P. (2014). A new error measure for forecasts of household-level, high resolution electrical energy consumption. International Journal of Forecasting, 30(2), 246–256. https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2013.08.002

Hong, T., and Fan, S. (2016). Probabilistic electric load forecasting: A tutorial review. International Journal of Forecasting, 32(3), 914–938. https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2015.11.011

Hong, T., Pinson, P., Fan, S., Zareipour, H., Troccoli, A., and Hyndman, R. J. (2016). Probabilistic energy forecasting: Global Energy Forecasting Competition 2014 and beyond. International Journal of Forecasting, 32(3), 896–913. https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2016.02.001

Hyndman, R. J., and Koehler, A. B. (2006). Another look at measures of forecast accuracy. International Journal of Forecasting, 22(4), 679–688. https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2006.03.001

Lim, B., Arık, S. Ö., Loeff, N., and Pfister, T. (2021). Temporal Fusion Transformers for interpretable multi-horizon time series forecasting. International Journal of Forecasting, 37(4), 1748–1764. https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2021.03.012

Makridakis, S., Spiliotis, E., and Assimakopoulos, V. (2018). The M4 Competition: Results, findings, conclusion and way forward. International Journal of Forecasting, 34(4), 802–808. https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2018.06.001

Our World in Data. (2026). Energy data: A global dataset on energy production, consumption and other metrics. https://github.com/owid/energy-data (accessed September 25, 2026)

Taylor, J. W., and McSharry, P. E. (2007). Short-term load forecasting methods: An evaluation based on European data. IEEE Transactions on Power Systems, 22(4), 2213–2219. https://doi.org/10.1109/TPWRS.2007.907583

Zou, H., and Hastie, T. (2005). Regularization and variable selection via the elastic net. Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology, 67(2), 301–320. https://doi.org/10.1111/j.1467-9868.2005.00503.x

KAMU OTORİTELERİNE YÖNELİK ANALİTİK RAPORLARDA SAYISAL GÜVENİLİRLİK: VERİ ERİŞİMİNE SAHİP YAPAY ZEKÂNIN DENEYSEL DEĞERLENDİRMESİ

Öğr. Gör. Dr.Hasan ERYÜRÜK
Afyon Kocatepe University, Department of Management and Organization
ORCID: 0000-0002-2080-1169
Öğr. Gör. Fatma TOPUZ ERYÜRÜK
Afyon Kocatepe University, Department of Computer Technologies
ORCID: 0000-0003-2133-2840

ÖZET

Bu çalışma, doğrulanmış veri satırlarının kamu politikası analiz metinleri üretirken büyük dil modellerinin nicel yanıt doğruluğu üzerindeki etkisini, denetimli bir eşleştirilmiş deneyle değerlendirmektedir. Our World in Data (OWID) platformundaki elektrik tüketimi ve aşırı yoksulluk göstergelerinden hareketle, örtüşmeyen 24 ülke çifti inşa edilmiş ve toplam 48 ülke kapsanmıştır. Her ülke çifti için elektrik tüketimi ile günlük 3 ABD doları yoksulluk eşiğinin altında yaşayan nüfus payına ilişkin üç çözümleme görevi tanımlanmıştır: mutlak düzeyin belirlenmesi, zamansal dinamiğin değerlendirilmesi ve ülkeler arası farkın hesaplanması. Deneysel ölçüt kümesi, altı görev türünün her birinden 24 soru olmak üzere 144 Türkçe maddeden oluşmaktadır. Qwen2.5 14B Instruct modeli, bu istemleri iki deneysel koşulda işlemiştir: temel koşul (veri erişimi olmaksızın yalnızca soru metni) ve müdahale koşulu (hazır hesaplama sonucu içermeyen ilgili OWID veri satırlarının sağlanması). Toplam 288 bağımsız model çağrısı, yerelde, rastgele sırada, sıfır sıcaklıkta ve oturumlar arası bağlam yalıtımıyla yürütülmüştür. R ortamında üretilen anahtar yanıtlarda hedef değerler bir ondalık basamağa yuvarlanmış; otomatik doğrulama ±0,11 hoşgörü payı içinde uygulanmıştır. Veri erişiminin bulunduğu koşulda doğruluk 140/144 (%97,22); veri erişiminin bulunmadığı koşulda ise yalnızca 6/144 (%4,17) olarak gerçekleşmiştir. Eşleştirilmiş fark 93,06 yüzde puandır. Ülke çiftleri üzerinden kümelenmiş önyükleme, yüzde 95 güven aralığını 88,89–97,22 olarak vermektedir (McNemar kesin sınaması: $p < 0,001$). Veri erişimi koşulunda kaydedilen dört hatanın tümü, ülkeler arası elektrik talebi farkının hesaplandığı görevde ortaya çıkmış ve ilköğretim düzeyindeki aritmetik yanılgılardan kaynaklanmıştır. Bulgular, model belleğinin güncel "ülke–yıl" istatistikleri için güvenilir bir kaynak olmadığını; buna karşılık ilgili veri satırlarının sağlanmasıyla olgusal doğruluğu köklü biçimde yükselttiğini göstermektedir. Bununla birlikte, artakalan hesaplama hataları, dil modellerinin deterministik hesaplama birimleri ve otomatik mantıksal tutarlılık denetimleriyle bütünleştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Anahtar kelimeler: Büyük dil modelleri; veri erişimi; sayısal doğruluk; kamu politikası; OWID; Qwen2.5

NUMERICAL RELIABILITY IN ANALYTICAL REPORTS FOR PUBLIC AUTHORITIES AN EXPERIMENTAL EVALUATION OF AI WITH ACCESS TO DATA

ABSTRACT

This study uses a controlled, paired experiment to assess how providing verified data rows affects the accuracy of large language models' quantitative responses in public policy analysis. Electricity consumption and extreme poverty indicators from Our World in Data (OWID) were used to construct 24 non-overlapping country pairs, covering 48 countries. For each indicator, three analytical tasks were defined: identifying an absolute level, assessing change over time, and calculating a cross-country difference. The indicators comprise electricity consumption and the share of the population living below the US$3-a-day poverty line. The experimental benchmark contains 144 Turkish-language items, with 24 questions in each of the six task categories. Qwen2.5 14B Instruct processed these prompts under two conditions: a baseline condition with the question text alone and no access to data, and a treatment condition supplying the relevant OWID data rows without precalculated results. In total, 288 independent model calls were run locally in randomized order at zero temperature, with context isolated between sessions. Reference answers were generated in R and rounded to one decimal place; automated scoring applied a tolerance of ±0.11. Accuracy was 140/144 (97.22%) with data and only 6/144 (4.17%) without data, a paired difference of 93.06 percentage points. A cluster bootstrap over country pairs yielded a 95% confidence interval of 88.89–97.22 percentage points (exact McNemar test: $p < 0.001$). All four errors in the data-provided condition occurred when calculating cross-country differences in electricity demand and involved elementary arithmetic mistakes. The findings indicate that model memory is not a reliable source of current country-year statistics, whereas providing relevant data rows substantially improves factual accuracy. Residual calculation errors nevertheless underscore the need to integrate language models with deterministic computation and automated logical consistency checks.

Keywords: Large language models; data access; numerical accuracy; public policy; OWID; Qwen2.5

INTRODUCTION

Large language models can substantially reduce the time required to prepare analytical reports, sector briefings, and operational summaries for public decision-makers. These documents typically rely heavily on quantitative indicators tied to specific jurisdictions, time periods, units

of measurement, and methodological definitions. Grammatical coherence and persuasive language do not guarantee either reliable data or correct mathematical operations. In public law contexts, even a small calculation error can distort country rankings, the direction of a trend, or estimates of the population targeted by social programs.

Language models predict subsequent tokens from probabilistic patterns in their training data; they do not store and retrieve relational statistical databases row by row. This limitation is particularly salient for indicators released after the training cutoff, retrospectively revised time series, and highly specialized country indicators. Research has shown that increasing model size alone does not eliminate hallucination, namely fluent text lacking a factual basis, and that accuracy, representativeness, and provenance require comprehensive evaluation (Bender et al., 2021; Ji et al., 2023). Because semantic and factual deviations can arise even when generation is based on supplied context, consistency between external data and the final text requires independent verification (Maynez et al., 2020). When a specific numerical value is absent from parametric memory, the model either abstains or generates a plausible but incorrect number. Studies using TruthfulQA and analyses of model self-evaluation indicate that expressed confidence is not equivalent to factual accuracy (Lin, Hilton, and Evans, 2022; Kadavath et al., 2022).

Providing external data aims to mitigate this problem by placing the relevant source directly in the model's context at inference time. Retrieval-augmented generation (RAG) combines a model's general linguistic capabilities with a verified factual basis in external documents (Lewis et al., 2020). Reviews indicate that external tools and associated memory substantially broaden the scope of model applications (Gao et al., 2023), while empirical reductions in hallucination in dialogue systems support the approach's practical value (Shuster et al., 2021). For quantitative public policy tasks, however, retrieving a text passage is often insufficient. The system must identify the correct country-year record, preserve the indicator's unit of measurement, and perform subtraction or comparison in the specified direction. Data retrieval and mathematical computation thus constitute two distinct potential sources of error.

AI risk management in public institutions requires assurances of data accuracy, traceability, and auditability (Autio et al., 2024). The Holistic Evaluation of Language Models (HELM) framework, which evaluates model behavior across multiple dimensions, emphasizes that a single average performance measure cannot adequately capture operational risk (Liang et al., 2022). Explicitly grounding an answer in the database's raw records facilitates external audit, but transformations of those values still require independent verification. For example, a

decline from 20% to 18% represents an absolute change of −2 percentage points and a relative change of −10%. Even when the raw data are entirely correct, confusing percentage-point changes with growth rates or reversing the minuend and subtrahend produces an incorrect result.

The study aims to estimate the net effect of providing structured data while holding the model and prompt structure constant. The research question is how much including the required OWID table rows in the prompt improves Qwen2.5 14B's numerical accuracy on country-year questions about energy consumption and poverty. The primary hypothesis is that generation with supplied data achieves statistically significantly higher accuracy than generation without data. A secondary objective is to examine accuracy across absolute-level, temporal-change, and cross-country comparison tasks.

The experiment does not attempt a comprehensive assessment of the model's general reasoning capabilities. The task space is restricted to two indicators, standardized Turkish-language prompt templates, and simple numerical responses. The causal comparison is supported by several controls: all questions were generated algorithmically from data tables in R; reference answers corresponded exactly to prespecified mathematical formulas; and each question was tested in both conditions using a strictly paired design. Model version, system instruction, temperature, output token limit, and scoring rules were held constant.

EXPERIMENTAL DATA AND METHODS

Data Sources and Question Construction

The energy consumption indicator was obtained from OWID's public energy database (Our World in Data, 2026). The target variable is per capita electricity consumption, measured in kilowatt-hours per person. Absolute-level and cross-country difference tasks used 2024 data, while temporal-change tasks used observations from 2019 and 2024. The sampling frame comprised countries with complete observations over this period and populations of at least one million in 2024.

The poverty indicator draws on series from the World Bank's Poverty and Inequality Platform, as compiled by OWID (World Bank Poverty and Inequality Platform, 2026). It measures the share of the population living below the international poverty line of US$3 per day at 2021 purchasing power parity (PPP). Because national survey schedules do not coincide, eligibility required at least three observations during 2010–2024. Level tasks used the latest available survey year; temporal-change tasks used two observations at least three years apart; and cross-country comparison tasks used the latest observation year shared by the two countries.

Countries meeting the criteria for both domains were placed in a fixed pseudorandom order. Each country was assigned a partner deterministically, subject to an overlap in poverty survey years and the restriction that each country could belong to only one pair. This procedure yielded 48 distinct countries arranged in 24 pairs. The design prevents countries from recurring across pairs and creates a natural clustering of questions for subsequent uncertainty quantification.

Six questions were generated for each country pair: the first country's energy consumption level in 2024; the second country's change in energy consumption between 2019 and 2024; the cross-country difference in energy consumption in 2024; the first country's latest poverty level; the second country's change in poverty between two surveys; and the poverty difference in the shared reference year. Each task category contains 24 questions, for a total of 144. The direction of subtraction was explicitly specified as “final year minus initial year” or “country A minus country B.” All prompts stated the required unit and instructed the model to round its answer to one decimal place.

Experimental Conditions

The evaluated system was Qwen2.5 14B Instruct (Qwen et al., 2024), deployed locally through Ollama 0.34.4 with access to web search and external API tools disabled during inference. Each prompt was submitted in a separate session without retaining the context of previous responses. Generation settings were a temperature of T = 0, a context window of 4,096 tokens, and a maximum output length of 48 tokens. Each call received a separate deterministic seed. Unlike holistic fact-checking of long-form text (Min et al., 2023; Manakul, Liusie, and Gales, 2023), this experiment focuses on verifying simple, isolated numerical facts.

In the baseline condition without data, the model received only the general instruction and the question. It was instructed to answer without consulting external sources and to end its output with the string “CEVAP: number,” where CEVAP is the Turkish word for ANSWER. In the data-provided condition, the same instruction and question were supplemented with only the necessary OWID rows: one row for level tasks and two raw values for temporal-change and comparison tasks. Precalculated results were never included in the context.

The execution order of all 288 calls was fully randomized using a fixed seed to prevent systematic bias associated with hardware warm-up or system caching. Model version, quantization format, and system parameters were held constant. The final response, queue position, and latency were recorded for each call, and the same validation procedure was applied to both sets of results.

The data-provision condition approximates the operational architecture of decision-support systems. The estimated effect is a composite one: it includes the availability of data, advance selection of the relevant rows, their placement in context, and the explicit presentation of current values. The experiment does not disentangle these components; it evaluates the overall effect of supplying precise tabular data within the model's working context.

Reference Answers and Scoring

Reference answers were generated programmatically in R alongside the question texts. Target values for level tasks were taken directly from the database, while those for temporal-change and comparison tasks were calculated in the prespecified direction of subtraction. All reference answers were then rounded to one decimal place. The parser extracted the final numerical value following the “CEVAP:” marker and standardized decimal commas to decimal points. Responses lacking a numerical value or containing a system error were scored as incorrect.

A response was scored as correct if its absolute deviation from the reference answer did not exceed 0.11. This tolerance accommodates intermediate rounding differences in both absolute quantities, measured in kWh per capita, and percentage-point changes. Because country, year, and unit were fixed explicitly in each question, scoring assessed numerical accuracy alone. The tolerance of 0.11 was specified a priori and served as the sole validation criterion.

The primary outcome was the proportion of correct responses in each condition. Because every item was tested under both conditions, the comparison was strictly paired. Confidence intervals were constructed using a block bootstrap over question families: the 24 country pairs, each containing six related items, were resampled 5,000 times to account for within-cluster dependence. An exact McNemar test was applied to the paired binary outcomes. Data preparation, call orchestration, parsing, and statistical analysis were all performed in R 4.5.3.

RESULTS

Overall Accuracy and the Effect of Providing Data

With data provided, the model answered 140 of 144 items correctly, achieving 97.22% accuracy (exact binomial 95% confidence interval: 93.04–99.24%). Without data, only six responses were correct, yielding 4.17% accuracy (95% confidence interval: 1.54–8.85%). The model produced a valid numerical response in all 288 sessions. Baseline failure therefore reflected substantial discrepancies between generated numbers and the OWID reference data, rather than a failure to respond.

Table 1. Numerical accuracy by experimental condition

Experimental condition	Correct / 144	Accuracy %	95% binomial CI %
No data provided	6 / 144	4.17	1.54–8.85
OWID rows provided	140 / 144	97.22	93.04–99.24

Source: Local experiment with Qwen2.5 14B; validation in R. Confidence intervals were calculated using the Clopper–Pearson exact binomial method.

The paired accuracy difference between conditions is 93.06 percentage points. A cluster bootstrap over country-pair question families with 5,000 replications yields a 95% confidence interval of 88.89–97.22 percentage points. At the item level, 134 answers changed from incorrect without data to correct after the relevant rows were supplied; no changes occurred in the opposite direction. Six items were answered correctly in both conditions, and four were answered incorrectly in both. The exact McNemar test confirms that the change is statistically significant ($p = 9.18 \times 10^{-41}$). The effect size highlights the central role of grounding responses in external data in supporting numerical validity.

The paired design controls for differences in item difficulty because each item serves as its own control. Nevertheless, even at T = 0, neural network inference can exhibit small hardware-level stochastic variations. The results therefore apply strictly to the model weights and Ollama environment evaluated here.

Accuracy by Analytical Task Type

With data provided, the model achieved 24/24 correct responses (100%) in five of the six categories: electricity demand levels and temporal changes, and poverty levels, temporal changes, and cross-country comparisons. Accuracy fell to 20/24 (83.33%) for cross-country differences in electricity consumption. Without data, the model scored 0/24 in all three energy categories. For poverty, it answered one of 24 level questions and five of 24 temporal-change questions correctly, but none of the cross-country difference questions. All six correct responses without data were concentrated around small values or changes in the poverty indicator. This suggests that generated values close to zero happened to fall within the ±0.11 tolerance, rather than demonstrating that the model possessed the relevant information.

Table 2. Correct responses by task type and experimental condition

Analytical task category	No data provided	OWID rows provided
Electricity demand: level	0/24 (0.00%)	24/24 (100.00%)
Electricity demand: temporal change	0/24 (0.00%)	24/24 (100.00%)
Electricity demand: cross-country difference	0/24 (0.00%)	20/24 (83.33%)
Poverty: level	1/24 (4.17%)	24/24 (100.00%)
Poverty: temporal change	5/24 (20.83%)	24/24 (100.00%)
Poverty: cross-country difference	0/24 (0.00%)	24/24 (100.00%)

Note: Each cell is based on 24 items. Percentages were calculated in R from the observed counts.

All four errors in the data-provided condition involved subtracting multi-digit electricity consumption values for two countries. In two cases, the deviation was exactly 10.0 kWh per capita; in the other two, it was 1.0 and 1.1 kWh per capita, respectively. The sign and overall order of magnitude were correct in every case; the errors were confined to elementary multi-digit subtraction. For example, the model returned 2,608.3 for 5,541.4 − 2,943.1, whereas the correct result is 2,598.3. By contrast, extracting supplied level values and calculating small changes were completed without error. Thus, providing context fully resolved data extraction in this experiment, while multi-digit arithmetic remained vulnerable to error.

DISCUSSION AND IMPLICATIONS FOR PUBLIC POLICY

The experiment shows that relying on a model's internal parametric memory is unsuitable for analytical tasks requiring current statistics. Although numbers generated from memory may appear convincing in fluent text, more than 95% were incorrect in this experiment; such values may refer to different years, countries, or invented scales. In national-level automated systems, no numerical claim should enter a final document without a traceable link to verified data tables. If the corresponding database row is unavailable, explicit abstention is more auditable and safer than a plausible numerical fabrication, or confabulation.

At the same time, access to data eliminates factual risk but does not eliminate arithmetic risk. Calculations of temporal and cross-country differences require strict checks on subtraction order, signs, and the distinction between absolute quantities and percentage points. A reasonable approach is to assign mathematical transformations to deterministic analytical tools, such as SQL, R, Python, or spreadsheet formulas, while reserving semantic interpretation and verbal presentation for the language model. If computation is delegated to the neural model,

the raw variables, mathematical operators, and resulting values should be recorded in a common log.

An institutional data-processing pipeline could comprise four stages: (1) structured parsing of the user's request to identify the indicator, unit, jurisdiction, and timestamp; (2) deterministic execution of the required mathematical operations in code; (3) synthesis of an explanatory narrative by the language model using verified numbers and explicit links back to the sources; and (4) automated post-generation checks of the numbers in the text against the database's raw records.

Acceptable error tolerances should be tied closely to the consequences of error. Even a 3% probability of arithmetic failure is unacceptable in applications such as public budgeting, social benefit calculations, or defense planning. Less stringent thresholds may be appropriate for rapid internal analysis, provided that all unverified numbers are explicitly flagged.

METHODOLOGICAL LIMITATIONS

The study draws on a representative sample of 48 countries grouped into statistical clusters to support confidence interval estimation. Several limitations nevertheless remain. First, only one quantized model version at a single parameter scale, 14 billion parameters, was evaluated. Second, the questions follow templates, whereas real analytical reports involve unstructured context, conflicting sources, and causal inference. Third, preselecting the target data rows excludes retrieval errors that arise in practical RAG systems. Fourth, inference was conducted in a single pass, without assessing variability across repeated stochastic generations.

Finally, per capita electricity demand is not identical to electricity generation, because transmission and distribution losses and net cross-border electricity exchanges must be considered. Likewise, the US$3 poverty line is based on 2021 PPP, and poverty estimates may be based on either household income or expenditure. Correctly extracting a number does not establish that the model understands these underlying methodological conventions. The findings are strictly limited to questions about numerical facts.

CONCLUSION

This paired experiment supports the hypothesis that controlled access to structured data substantially improves Qwen2.5 14B's numerical accuracy, from 4.17% without data to 97.22% when the relevant OWID rows are supplied. The effect is statistically robust, with a difference of 93.06 percentage points and a cluster-bootstrap confidence interval of 88.89–97.22 percentage points, accompanied by no changes from correct to incorrect in the paired

comparison. All observed errors in the data-provided condition involved elementary mistakes in multi-digit subtraction.

The principal institutional implication is that providing language models with access to data is necessary but insufficient. A reliable public-sector analytical pipeline should maintain a clear division of functions: structured tables and deterministic code provide the facts and calculations, while the large language model integrates the text and articulates the results within a coherent, auditable framework.

REFERENCES

Autio, C., Schwartz, R., Dunietz, J., Jain, S., Stanley, M., Tabassi, E., Hall, P., and Roberts, K. (2024). Artificial intelligence risk management framework: Generative artificial intelligence profile. NIST AI 600-1. National Institute of Standards and Technology. https://doi.org/10.6028/NIST.AI.600-1

Bender, E. M., Gebru, T., McMillan-Major, A., and Shmitchell, S. (2021). On the dangers of stochastic parrots: Can language models be too big? Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency, 610–623. https://doi.org/10.1145/3442188.3445922

Gao, Y., Xiong, Y., Gao, X., Jia, K., Pan, J., Bi, Y., Dai, Y., Sun, J., Wang, M., and Wang, H. (2023). Retrieval-augmented generation for large language models: A survey. arXiv:2312.10997. https://doi.org/10.48550/arXiv.2312.10997

Ji, Z., Lee, N., Frieske, R., Yu, T., Su, D., Xu, Y., Ishii, E., Bang, Y. J., Madotto, A., and Fung, P. (2023). Survey of hallucination in natural language generation. ACM Computing Surveys, 55(12), 1–38. https://doi.org/10.1145/3571730

Kadavath, S., Conerly, T., Askell, A., Henighan, T., Drain, D., Perez, E. et al. (2022). Language models (mostly) know what they know. arXiv:2207.05221. https://doi.org/10.48550/arXiv.2207.05221

Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N., Küttler, H., Lewis, M., Yih, W., Rocktäschel, T., Riedel, S., and Kiela, D. (2020). Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks. arXiv:2005.11401. https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.11401

Liang, P., Bommasani, R., Lee, T., Tsipras, D., Soylu, D., Yasunaga, M. et al. (2022). Holistic evaluation of language models. arXiv:2211.09110. https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.09110

Lin, S., Hilton, J., and Evans, O. (2022). TruthfulQA: Measuring how models mimic human falsehoods. Proceedings of the 60th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, 3214–3252. https://doi.org/10.18653/v1/2022.acl-long.229

Manakul, P., Liusie, A., and Gales, M. (2023). SelfCheckGPT: Zero-resource black-box hallucination detection for generative large language models. Proceedings of the 2023 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, 9004–9017. https://doi.org/10.18653/v1/2023.emnlp-main.557

Maynez, J., Narayan, S., Bohnet, B., and McDonald, R. (2020). On faithfulness and factuality in abstractive summarization. Proceedings of the 58th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics, 1906–1919. https://doi.org/10.18653/v1/2020.acl-main.173

Min, S., Krishna, K., Lyu, X., Lewis, M., Yih, W., Koh, P., Iyyer, M., Zettlemoyer, L., and Hajishirzi, H. (2023). FActScore: Fine-grained atomic evaluation of factual precision in long form text generation. Proceedings of the 2023 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, 12076–12100. https://doi.org/10.18653/v1/2023.emnlp-main.741

Our World in Data. (2026). Electricity demand per person [Dataset]. https://ourworldindata.org/grapher/electricity-mix?frequency=annual&metric=demand_per_capita&source=total (accessed September 25, 2026)

Qwen et al. (2024). Qwen2.5 technical report. arXiv:2412.15115. https://doi.org/10.48550/arXiv.2412.15115

Shuster, K., Poff, S., Chen, M., Kiela, D., and Weston, J. (2021). Retrieval augmentation reduces hallucination in conversation. Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2021, 3784–3803. https://doi.org/10.18653/v1/2021.findings-emnlp.320

World Bank Poverty and Inequality Platform. (2026). Share of population living in extreme poverty [Dataset], Processed by Our World in Data. https://ourworldindata.org/grapher/share-of-population-in-extreme-poverty (accessed September 25, 2026)

ÖZGÜL ÖĞRENME GÜÇLÜĞÜ TANISI ALAN ÖĞRENCİLERİN RUTİN OLMAYAN SEÇİM PROBLEMİ ÇÖZME SÜRECİNDE ÖĞRENME İÇİN EVRENSEL TASARIM VE YAPAY ZEKA DESTEĞİNİN İNCELENMESİ

Defne MİRİOĞLU
Yıldız Technical University, Faculty of Education, Davutpaşa Campus, 34220 Esenler, Istanbul
ORCID ID: 0009-0001-7284-6254
Prof. Dr. Bahar UYAR DÜLDÜL
Yıldız Technical University, Faculty of Education, Davutpaşa Campus, 34220 Esenler, Istanbul
ORCID ID: 0000-0003-3281-8918

ÖZET

Bu araştırma, Özgül Öğrenme Güçlüğü (ÖÖG) tanısı almış öğrencilerin gerçek hayat matematiksel seçim problemlerini çözme süreçlerinde öğrenme için evrensel tasarım (UDL) ilkeleri ve yapay zekâ (YZ) destekli bilişsel iskelelerin kullanımının, ÖÖG tanılı öğrencilerin fonksiyonel bağımsızlık ve stratejik düşünme becerileri üzerindeki etkilerini incelemeyi, ayrıca geleneksel eğitim ortamlarında akademik sınırlamalarla karşılaşan öğrencilerin, teknoloji destekli kapsayıcı stratejilerle bu engelleri nasıl aştıklarını ve üstbilişsel yetkinliklerini nasıl geliştirdiklerini ortaya koymayı hedeflemektedir.

Araştırmada nitel araştırma desenlerinden çoklu durum çalışması yöntemi benimsenmiştir. Çalışma grubu, farklı öğrenme profillerine sahip 3 ÖÖG'li öğrenciden oluşmaktadır. Veriler, 6 haftalık bir müdahale süreci boyunca gerçekleştirilen etkinlikler kapsamında öğrencilerin çalışma kağıtları, gözlem formları ve sözel düşünme protokolleri aracılığıyla toplanmıştır. Elde edilen veriler tematik analiz yöntemiyle çözümlenmiş; öğrencilerin problem çözme stratejileri, YZ ile etkileşim biçimleri, öz-düzenleme davranışları ve fonksiyonel matematik görevlerini yerine getirirken sergiledikleri bağımsızlık göstergelerindeki değişimler incelenmiştir.

Araştırma sonuçları, UDL 3.0 ile YZ entegrasyonunun ÖÖG'li öğrencilerin matematiksel problem çözme becerileri ve motivasyonları üzerinde dikkate değer bir gelişme sağladığını ortaya koymaktadır. UDL ilkeleri ve YZ'nin bilişsel bir destek aracı olarak kullanılması, öğrencilerin yazım zorluğu ve ardışık işlem güçlükleri gibi akademik engellerin üzerine odaklanmak yerine, doğrudan mantıksal düşünme ve strateji oluşturma süreçlerine yoğunlaşmalarını mümkün kılmıştır.

Çalışmada öğrencilerin hata analizi yapma, öz-düzenleme yeteneklerini kullanma ve gerçek yaşam problemlerine karşı yenilikçi çözümler geliştirme konusunda ilerleme kaydettikleri belirlenmiştir. Bu nedenle, bu araştırma UDL 3.0 ve YZ desteğinin özel öğrenme gereksinimi

olan bireylerin işlevsel bağımsızlıklarını artırdığını ve özel eğitimde teknoloji odaklı kapsayıcı uygulamalar için etkili bir model sağladığını göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Özgül Öğrenme Güçlüğü, UDL 3.0, Yapay Zekâ, Matematiksel Problem Çözme, Stratejik Düşünme.

AN INVESTIGATION INTO UNIVERSAL DESIGN FOR LEARNING AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE SUPPORT IN THE NON-ROUTINE CHOICE PROBLEM-SOLVING PROCESS OF STUDENTS DIAGNOSED WITH SPECIFIC LEARNING DISABILITIES

ABSTRACT

This study aims to examine the effects of using Universal Design for Learning (UDL) principles and AI-supported cognitive scaffolds on the functional independence and strategic thinking skills of students diagnosed with Specific Learning Disabilities (SLD) as they solve real-life mathematical choice problems; furthermore, it seeks to reveal how students facing academic limitations in traditional educational settings overcome these barriers and enhance their metacognitive competencies through technology-supported inclusive strategies.

A multiple-case study design—a form of qualitative research—was adopted for this study. The participant group consisted of three students with SLD, each possessing a distinct learning profile. Data were collected via student worksheets, observation forms, and verbal thinking protocols during activities conducted over a six-week intervention period. The data were analyzed using thematic analysis, focusing on changes in the students' problem-solving strategies, modes of interaction with AI, self-regulation behaviors, and indicators of independence while performing functional mathematics tasks.

The research findings demonstrate that the integration of UDL 3.0 and AI leads to significant improvements in the mathematical problem-solving skills and motivation of students with SLD. The application of UDL principles and the use of AI as a cognitive support tool enabled students to focus directly on logical reasoning and strategy formulation, rather than being hindered by academic obstacles such as writing difficulties or challenges with sequential processing. The study found that students made progress in conducting error analysis, utilizing self-regulation skills, and developing innovative solutions to real-life problems. Therefore, this research demonstrates that UDL 3.0 and AI support enhance the functional independence of individuals with specific learning needs and provide an effective model for technology-oriented inclusive practices in special education.

Keywords: Specific Learning Disability, UDL 3.0, Artificial Intelligence, Mathematical Problem Solving, Strategic Thinking.

ZİHİNSEL YETERSİZLİĞİ BULUNAN BİREYLERİN KENTSEL MEKÂN KULLANIMINA YÖNELİK BİLİŞSEL ERİŞİLEBİLİRLİK KRİTERLERİNİN BELİRLENMESİ: KOGEM PROJESİ ÖRNEĞİ

Mahmut Semih ÇAKMAK
Bursa Technical University, Graduate School, Department of City and Regional Planning, 16310 Yıldırım, Bursa, Türkiye
ORCID ID: 0009-0004-4603-0923

ÖZET

Erişilebilirlik alanyazını ve uygulamaları büyük ölçüde fiziksel/motor engellere odaklanmakta, zihinsel yetersizliği bulunan bireylerin yön bulma, sembol yorumlama ve mekânsal ilişkileri kavrama gibi bilişsel ihtiyaçları büyük ölçüde göz ardı edilmektedir. Bu çalışma, Bursa Teknik Üniversitesi yürütücülüğünde TÜBİTAK 4008 Programı kapsamında yürütülen KOGEM (Kent Okuryazarlığı ve Güvenli Mekân) Projesi'nin özel eğitim alanında geliştirdiği öğretim materyallerini ve saha uygulama deneyimini kentsel tasarım diline aktararak, zihinsel yetersizliği bulunan bireylerin kentsel mekânı bağımsız ve güvenli biçimde kullanabilmesini destekleyecek bilişsel erişilebilirlik kriterlerini belirlemeyi amaçlamaktadır. Araştırma, nitel durum çalışması ile tasarım tabanlı araştırma yaklaşımlarının bir arada kullanıldığı bütüncül bir modelle yürütülmekte; KOGEM'in Bursa/Yıldırım'daki pilot güzergâhı çalışma alanı olarak kullanılmaktadır. Araştırma süreci; sınıfta kavram tanıma, sahada haritalama, uygulamalı gözlem, öğretmen-aile görüşmeleri ve bulguların sentezlenmesi olmak üzere birbirini izleyen beş aşamada ilerlemekte; 140 zihinsel yetersizliği bulunan birey, 40 aile üyesi/vasi ve 10 özel eğitim öğretmeni sürece dâhil edilmektedir. Elde edilecek bulgular, KOGEM'in açıklık, tekrar/öngörülebilirlik, güvenlik, bireyselleştirme ve genelleme ilkeleri temel alınarak, kalıcı fiziksel/mekânsal tasarım kriterleri ile bunları tamamlayan teknoloji destekli çözümlerden oluşan iki katmanlı bir çerçevede sunulacaktır. Hâlen saha çalışması aşamasında olan bu araştırmanın; yerel yönetimler, ulaşım idareleri, kentsel tasarımcılar, özel eğitim öğretmenleri, aileler ve politika yapıcılar için uygulanabilir bir referans oluşturması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Bilişsel erişilebilirlik, zihinsel yetersizlik, kentsel okunabilirlik, evrensel tasarım, KOGEM.

DETERMINATION OF COGNITIVE ACCESSIBILITY CRITERIA FOR URBAN SPACE USE BY INDIVIDUALS WITH INTELLECTUAL DISABILITIES: THE CASE OF THE KOGEM PROJECT

ABSTRACT

Accessibility literature and practice largely focus on physical/motor impairments, overlooking the cognitive needs of individuals with intellectual disabilities such as wayfinding, symbol interpretation, and understanding spatial relations. This study aims to translate the instructional

materials and field experience developed within the KOGEM (Urban Literacy and Safe Space) Project — conducted by Bursa Technical University under the TÜBİTAK 4008 Programme — into the language of urban design, in order to identify cognitive accessibility criteria that support the independent and safe use of urban space by individuals with intellectual disabilities. The research adopts a qualitative approach combining case study and design-based research, using KOGEM's pilot route in Bursa/Yıldırım as the study area. The research process proceeds through five sequential stages: concept recognition in the classroom, field mapping, applied observation, teacher–family interviews, and synthesis of findings; 140 individuals with intellectual disabilities, 40 family members/guardians, and 10 special education teachers are involved. Findings will be presented within a two-layer framework consisting of permanent physical/spatial design criteria and complementary technology-supported solutions, structured around KOGEM's five instructional principles: clarity, repetition/predictability, safety, individualization, and generalization. Currently at the fieldwork stage, this study is expected to provide an applicable reference for local governments, transportation authorities, urban designers, special education teachers, families, and policymakers.

Keywords: Cognitive accessibility, intellectual disability, urban legibility, universal design, KOGEM.

1. GİRİŞ

1.1. Problem Durumu

Birleşmiş Milletler Engelli Hakları Sözleşmesi'nin 9. maddesi, erişilebilirliği engelli bireylerin fiziksel çevreye, ulaşıma, bilgiye ve iletişime diğer bireylerle eşit koşullarda erişimini kapsayan temel bir hak olarak tanımlamaktadır (United Nations, 2006). Türkiye'de 5378 sayılı Engelliler Hakkında Kanun ve buna bağlı Erişilebilirlik İzleme ve Denetleme Yönetmeliği, kamusal alanların erişilebilir hâle getirilmesini yasal bir zorunluluk olarak düzenlemektedir (Türkiye Cumhuriyeti, 2005; Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığı, 2013). Ancak gerek mevzuatta gerekse kentsel tasarım uygulamalarında erişilebilirlik büyük ölçüde fiziksel/motor engellere (rampa, asansör, kaldırım genişliği vb.) odaklanmakta; zihinsel yetersizliği bulunan bireylerin bilişsel, algısal ve duyusal ihtiyaçları büyük ölçüde göz ardı edilmektedir. Engelliliğin sosyal modeline göre engellilik, bireyin özelliklerinden değil, çevrenin bu özellikleri dikkate almayan biçimde düzenlenmesinden kaynaklanmaktadır (Oliver, 1990); dolayısıyla kentsel mekân, tasarım tercihleri yoluyla bireyler için ya bir katılım imkânı ya da bir dışlanma kaynağı üretebilmektedir.

Zihinsel yetersizliği bulunan bireyler; yön bulma, mekânsal ilişkileri kavrama, sembol ve işaretleri anlamlandırma, çok adımlı bir güzergâhı hatırlama ve beklenmedik durumlarla (kalabalık, gürültü, güzergâh değişikliği, arıza vb.) baş etme konusunda güçlükler yaşayabilmektedir. Bu güçlükler, bireyin fiziksel olarak erişilebilir bir mekâna ulaşabilmesinden bağımsız olarak, o mekânı bağımsız biçimde kullanabilme becerisini sınırlandırmaktadır; dolayısıyla erişilebilirlik sorunu, yalnızca fiziksel engellerin kaldırılmasıyla değil, mekânın bilişsel olarak da anlaşılabilir, öngörülebilir ve tutarlı kılınmasıyla çözülebilecek çok boyutlu bir sorundur. Alanyazında bu ihtiyacın nasıl karşılanabileceğine ilişkin kuramsal temeller aşağıda özetlenmektedir.

1.2. Kuramsal Çerçeve

Araştırmanın kuramsal temeli; engellilik ve erişilebilirlik yazınından kentsel okunabilirlik, öz-belirleme, farklı bilişsel profillere yönelik tasarım yaklaşımları ve teknoloji destekli navigasyon araştırmalarına uzanan çok boyutlu bir çerçeveye dayanmaktadır. Bu çerçeve, aşağıda ilgili alt başlıklar altında özetlenmektedir.

1.2.1. Evrensel Tasarım İlkeleri

Evrensel tasarım, North Carolina Eyalet Üniversitesi bünyesindeki The Center for Universal Design'da Ronald Mace önderliğinde bir araya gelen bir çalışma grubu tarafından 1997 yılında formüle edilen yedi ilke etrafında tanımlanmaktadır: eşit kullanım, kullanımda esneklik, basit ve sezgisel kullanım, algılanabilir bilgi, hataya karşı tolerans, düşük fiziksel çaba ve yaklaşım/kullanım için yeterli boyut ve alan (Connell vd., 1997). Bu ilkelerden özellikle "basit ve sezgisel kullanım" ile "algılanabilir bilgi" bilişsel erişilebilirlikle doğrudan ilişkili olmakla birlikte, ilkelerin somut tasarım kriterlerine dönüştürülmesinde bilişsel/zihinsel yetersizliğe özgü rehberlik sınırlı kalmaktadır (Connell vd., 1997).

1.2.2. Öğrenme İçin Evrensel Tasarım (UDL)

Evrensel tasarım ilkelerinin eğitim alanına uyarlanmış biçimi olan Öğrenme İçin Evrensel Tasarım (UDL), öğretim materyallerinin ve ortamlarının; birden fazla temsil, birden fazla eylem/ifade ve birden fazla katılım biçimi sunacak şekilde baştan tasarlanmasını esas almaktadır (CAST, 2011). KOGEM Öğretmen ve Aile El Kitaplarında görülen çoklu temsil biçimleri (yazılı yönerge, piktogram, taktil harita) ve çoklu katılım stratejileri (bireyselleştirilmiş destek düzeyleri, grup çalışması, tekrar-pekiştirme), UDL ilkelerinin özel eğitim materyali geliştirmede nasıl somutlaştığına örnek oluşturmakta ve bu ilkelerin kentsel tasarım diline aktarılabilirliğine ilişkin bir zemin sunmaktadır.

1.2.3. Bilişsel Erişilebilirlik Kavramı

Uluslararası Standardizasyon Örgütü'nün ISO 21801-1:2020 standardına göre bilişsel erişilebilirlik, bir sistemin (ürün, hizmet veya yapılı çevre ya da bunların bileşimi), en geniş kullanıcı ihtiyacı, bilişsel özellik ve kapasite yelpazesindeki kişiler tarafından, belirli bağlamlarda belirli hedeflere ulaşmak üzere kullanılabilme derecesi olarak tanımlanmaktadır (International Organization for Standardization [ISO], 2020). Fiziksel erişilebilirlikten farklı olarak bilişsel erişilebilirlik; bilgi yükünün azaltılması, tutarlı ve basit sembol kullanımı, adım adım yönlendirme, hata toleransı ve öngörülebilir mekânsal düzenlemeler gibi ölçütlerle ilişkilidir ve alanyazında hâlâ standart kriterlere kavuşmamış, gelişmekte olan bir alan olarak nitelendirilmektedir. Bu kavram, KOGEM Projesi'nin öğretim materyallerinde vurgulanan "açıklık", "görsel destek" ve "tekrar" ilkeleriyle örtüşmekte olup, bu örtüşme araştırmanın kuramsal çerçevesiyle uygulama alanı arasındaki bağlantıyı oluşturmaktadır.

1.2.4. Kentsel Okunabilirlik ve Yön Bulma

Kevin Lynch, kentsel okunabilirliği yol, sınır, bölge, düğüm ve işaret olmak üzere beş unsur üzerinden tanımlamakta; bir kentsel çevrenin bu unsurlar açısından tutarlı ve ayırt edici olmasının, kullanıcıların zihinsel harita oluşturmasını ve bağımsız yön bulmasını kolaylaştırdığını ileri sürmektedir (Lynch, 1960). Yön bulma sürecinin; konum belirleme, güzergâh planlama, güzergâhı izleme ve varışı doğrulama olmak üzere birbirini izleyen bilişsel aşamalardan oluştuğu; bu aşamaların her birinin, sembol yoğunluğu ve karar noktası sayısı arttıkça bilişsel yetersizliği bulunan bireyler için güçleşebildiği, bilişsel erişilebilirlik ve engelli erişimi yazınında vurgulanmaktadır.

1.2.5. Öz-Belirleme Kuramı ve Bağımsız Yaşam

Wehmeyer'in geliştirdiği işlevsel öz-belirleme modeline göre öz-belirleme; özerklik, öz-düzenleme, psikolojik güçlenme ve kendini gerçekleştirme olmak üzere dört temel özellikle nitelenen, bireyin kendi yaşamı üzerinde dışsal etkilerden bağımsız biçimde birincil etken (nedensel fail) olarak hareket etmesini ifade etmektedir (Wehmeyer, 1999). Zihinsel yetersizliği bulunan bireylerin de, destek düzeyleri ne olursa olsun, öz-belirleme kapasitesine sahip olduğu ve bu kapasitenin uygun çevresel düzenlemeler ve fırsatlarla geliştirilebileceği vurgulanmaktadır (Wehmeyer, 1999). Bu bakış açısı, araştırmanın kuramsal duruşu açısından önemlidir: kentsel mekânın bilişsel erişilebilirliğinin artırılması, yalnızca güvenliği sağlamayı değil, aynı zamanda bireyin kendi seçimleriyle bağımsız hareket edebilmesini de desteklemektedir. KOGEM modelinde bireyin kademeli olarak ipucundan bağımsızlaştırılması

(sözel ipucu → model olma → görsel ipucu → fiziksel yönlendirme → ipucunun azaltılması) bu kuramsal çerçeveyle doğrudan örtüşmektedir.

1.2.6. Zihinsel Yetersizlik ve Mekânsal Yön Bulma

Zihinsel yetersizlik; zihinsel işlevlerde ve kavramsal, sosyal ve pratik uyumsal becerilerde görülen, gelişim döneminde ortaya çıkan sınırlılıkla nitelenmektedir (Heward, 2013). Orta ve ağır düzeyde zihin yetersizliği bulunan bireylerin, hafif düzeydekilere kıyasla daha yoğun desteğe gereksinim duyduğu belirtilmektedir (Nar ve Cavkaytar, 2019). Down sendromlu bireylerle sanal ortamlar kullanılarak yürütülen bir çalışmada, katılımcıların bilinen bir güzergâhı öğrenebildiği, ancak iki nokta arasında yeni bir kısayol bulma gibi esnek/bütüncül yön bulma becerilerinde tipik gelişim gösteren akranlarına kıyasla belirgin güçlük yaşadığı bulunmuştur (Courbois vd., 2013). Bu bulgu, zihinsel yetersizliği bulunan bireylerin belirli, tekrarlanan güzergâhları öğrenebildiğini; ancak beklenmedik durumlarda (güzergâh değişikliği, engel, arıza) esnek problem çözme gerektiren yön bulma becerilerinde daha fazla desteğe ihtiyaç duyduğunu göstermesi bakımından bu araştırmanın kentsel tasarım kriterleri önerisiyle doğrudan ilişkilidir.

1.2.7. Otizm ve Demans İçin Geliştirilen Tasarım Yaklaşımları

Bilişsel erişilebilirlik alanındaki tasarım kriterlerinin yalnızca zihinsel yetersizliğe özgü olmadığı, farklı bilişsel profillere sahip gruplar için geliştirilen tasarım çerçevelerinin ortak ilkeler paylaştığı görülmektedir. Otizm spektrum bozukluğu bulunan bireyler için geliştirilen Otizm ASPECTSS Tasarım Endeksi; akustik, mekânsal sıralama, kaçış alanları, bölümlendirme, geçiş mekânları, duyusal bölgeleme ve güvenlik olmak üzere yedi tasarım ilkesi önermekte ve bu ilkelerin okul gibi öğrenme ortamlarında davranışsal sonuçları olumlu yönde etkilediğini bildirmektedir (Mostafa, 2014). Benzer biçimde, demans hastalarının bakım evlerinde yön bulma becerilerini destekleyen mimari tasarım ilkelerini derleyen bir alanyazın taramasında; sade kat planı düzeni, tutarlı ve az sayıda karar noktası, güçlü ve ayırt edici görsel işaretler ile tanıdık nesnelerin konumlandırılmasının, bilişsel gerileme yaşayan bireylerin bağımsız yön bulmasını desteklediği belirtilmektedir (Marquardt, 2011). Otizm ve demans için geliştirilen bu tasarım çerçevelerinde tekrarlanan ortak ilkeler -düşük duyusal/bilişsel yük, tutarlılık, güçlü görsel işaretler ve öngörülebilirlik- zihinsel yetersizliği bulunan bireyler için önerilecek kentsel tasarım kriterlerinin de temelini oluşturabilecek nitelikte olup, bilişsel erişilebilirliğin farklı tanı gruplarını kapsayan bütüncül bir tasarım yaklaşımı olarak ele alınabileceğini göstermektedir.

1.2.8. Piktogram ve Görsel Destek Sistemlerinin Tasarım İlkeleri

Piktografik sembollerin etkili biçimde anlam iletebilmesi; sadelik, tutarlılık, standardizasyon ve kültürler arası tanınabilirlik gibi grafiksel ve anlamsal niteliklere bağlıdır (Korpi ve Ahonen-Rainio, 2015). Uluslararası kamu bilgilendirme sembolleri standardı olan ISO 7001, havaalanı, hastane ve toplu taşıma gibi kamusal alanlarda kullanılan sembollerin evrensel olarak tanınabilir, sade ve tutarlı biçimde tasarlanmasını esas almaktadır (ISO, 2007). KOGEM materyallerinde kullanılan piktogram kart seti ve basitleştirilmiş kent haritaları (Şekil 1), bu standardizasyon ilkelerinin özel gereksinimli bireyler için nasıl somutlaştırılabileceğine ilişkin uygulamalı bir örnek teşkil etmektedir.

Şekil 1. KOGEM Öğretmen El Kitabı'nda yer alan materyal seti (Kaynak: KOGEM Projesi, TÜBİTAK 4008)

1.2.9. Güvenli Yaya Altyapısı ve Toplu Taşıma Erişilebilirliği

Toplu taşımanın bağımsız kullanımı, zihinsel yetersizliği bulunan bireyler için harita okuma, zaman çizelgesini anlama, yön bulma, doğru durağı/istasyonu tanıma ve hizmet aksaklıklarıyla baş etme gibi çok sayıda alt beceriyi gerektiren karmaşık bir süreçtir. Bu alanda yürütülen deneysel araştırmalar, bilgisayar temelli video modelleme ile öğretilen toplu otobüs kullanımı becerilerinin zihinsel yetersizliği bulunan öğrenciler tarafından başarıyla edinilebildiğini (Mechling ve O'Brien, 2010) ve toplum temelli navigasyon becerilerinin sistematik öğretimle genç yetişkinlere kazandırılabildiğini (Price vd., 2017) göstermektedir. Bilişsel yetersizliği bulunan yayalara yönelik geliştirilen uyarlanmış bir yön bulma sisteminin, bireylerin güzergâh takibini kolaylaştırdığı da bildirilmektedir (Gomez vd., 2015). Bu bulgular, güvenli yaya geçişleri, tutarlı durak/istasyon tasarımı ve güzergâh bilgisinin sesli/görsel biçimde eş zamanlı

sunulması gibi fiziksel-bilişsel ara yüzlerin, bireylerin bağımsız hareketini doğrudan etkilediğini ortaya koymaktadır.

1.2.10. Alanyazının Değerlendirilmesi

Zihinsel yetersizliği bulunan bireylere yönelik beceri öğretiminde sistematik öğretim yaklaşımı, becerilerin küçük ve ardışık adımlara bölünerek öğretilmesini esas almakta; öğrenilen becerilerin farklı ortam, kişi ve materyallere genellenmesi için açık biçimde planlanması gerektiği alanyazında klasikleşmiş bir bulgu olarak yer almaktadır (Stokes ve Baer, 1977). Toplum temelli öğretimin okul, ev ve toplum ortamları arasında beceri transferini desteklediğine ilişkin güncel bir sistematik gözden geçirmede, bu yaklaşımın zihinsel ve gelişimsel yetersizliği bulunan öğrenciler için etkili bulunduğu, ancak alanda güncel araştırmaların sınırlı kaldığı belirtilmektedir (Anderson vd., 2024). Özetle, yukarıda özetlenen kavramsal çerçeve ve ilgili araştırmalar, erişilebilirlik alanyazınının ağırlıklı olarak fiziksel/motor boyuta odaklandığını, bilişsel erişilebilirliğin ise standart kriterlere henüz kavuşmamış, gelişmekte olan bir alan olduğunu göstermektedir. Otizm ve demans alanlarında geliştirilen tasarım endeksleri, bilişsel erişilebilirliğin tanı grubuna özgü değil, ortak ilkeler etrafında ele alınabilecek bütüncül bir tasarım sorunu olduğuna işaret etmekle birlikte, bu ilkelerin doğrudan kentsel tasarım kriterlerine dönüştürüldüğü çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmektedir; bu durum, mevcut araştırmanın alanyazına katkı sunabileceği temel boşluğu oluşturmaktadır.

1.3. Araştırmanın Amacı ve Araştırma Soruları

KOGEM (Kent Okuryazarlığı ve Güvenli Mekân) Projesi, Bursa Teknik Üniversitesi yürütücülüğünde TÜBİTAK 4008 Bilim Fuarları Destekleme Programı kapsamında yürütülen ve zihinsel yetersizliği bulunan bireylere yönelik sahada test edilmiş, uygulamalı bir özel eğitim modeli sunmaktadır. Projede geliştirilen Öğretmen ve Aile El Kitapları; sade ve tutarlı piktogram sistemleri, basitleştirilmiş taktil/görsel haritalar, kısa ve öngörülebilir yönergeler ile güvenli geçiş noktalarının açık biçimde işaretlenmesi gibi unsurlara duyulan ihtiyacı somut biçimde ortaya koymaktadır. Bu unsurların büyük bölümü, bireyin kişisel becerisinden önce kentsel mekânın kendisinin nasıl tasarlandığıyla doğrudan ilişkilidir. Alanyazında bu bulguların doğrudan kentsel tasarım kriterlerine dönüştürüldüğü çalışmaların sınırlı sayıda olduğu görülmektedir. Bu çalışma, söz konusu boşluktan hareketle, KOGEM Projesi'nin özel eğitim alanındaki uygulamalı bilgi birikimini kentsel tasarım diline aktararak, zihinsel yetersizliği bulunan bireylerin kentsel mekânı bağımsız ve güvenli biçimde kullanabilmesini destekleyecek bilişsel erişilebilirlik kriterlerinin belirlenmesini amaçlamaktadır.

Bu genel amaç doğrultusunda araştırma şu sorulara yanıt aramaktadır: (S1) Zihinsel yetersizliği bulunan bireyler, seçilen pilot alanı nasıl deneyimlemekte ve hangi noktalarda güçlük yaşamaktadır? (S2) Mevcut kentsel işaretleme, yönlendirme ve altyapı unsurları bilişsel erişilebilirlik açısından ne ölçüde yeterlidir? (S3) Öğretmen, aile ve uzmanlara göre, kentsel mekânın bilişsel erişilebilirliğini artırmaya yönelik hangi tasarım müdahaleleri önceliklidir? (S4) KOGEM modelindeki öğretim ilkeleri temel alınarak hangi somut kentsel tasarım kriterleri önerilebilir?

1.4. Araştırmanın Önemi

Araştırma; özel eğitim alanında geliştirilmiş bir müdahale modelini kentsel tasarım ve planlama alanına taşıyarak disiplinlerarası bir bakış açısı sunması ve Türkiye'de erişilebilirlik çalışmalarının ağırlıklı olarak fiziksel/motor engellilik ekseninde yürütüldüğü göz önünde bulundurulduğunda, zihinsel yetersizliği bulunan bireylerin kentsel mekân deneyimini merkeze alan sınırlı sayıdaki çalışmadan biri olması bakımından önem taşımaktadır. Ayrıca araştırmanın, sahada test edilmiş somut bir özel eğitim modelinden hareket etmesi, önerilecek kriterlerin soyut ilkeler düzeyinde kalmayıp uygulanabilir ve sınanabilir nitelikte olmasını sağlaması bakımından da alanyazına özgün bir katkı sunması beklenmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. KOGEM Modeli

KOGEM ("Kent Okuryazarlığı ve Güvenli Mekân"), zihinsel yetersizliği bulunan bireylerin kentsel mekânı bağımsız ve güvenli biçimde kullanabilmesini hedefleyen, sahada test edilmiş bir özel eğitim modelidir. Proje kapsamında Yıldırım Belediyesi Hacı Mehmet Zorlu Özel Eğitim Meslek Okulu'ndan 100 öğrenci (hafif düzeyde zihinsel yetersizliği bulunan) ve Yıldırım Belediyesi Hacı Saide Zorlu Özel Eğitim Uygulama Okulu'ndan 40 öğrenci (orta–ağır düzeyde zihinsel yetersizliği bulunan) öğrenciyle çalışmalar yürütülmektedir. Model, kolayca algılanabilir bir Öğretmen El Kitabı etrafında kurgulanmış olup öğretim; açıklık, tekrar/öngörülebilirlik, güvenlik, bireyselleştirme ve genelleme ilkeleri üzerine kuruludur. Materyal seti; yön ve piktogram kart setleri, sağ-sol bileklikleri, kent sembol kartları, mesafe kartları, basitleştirilmiş kent haritaları ve taktil harita üretim seti, güvenli rota ve toplu taşıma kartları ile acil durum/kişisel yardım kartlarından oluşmaktadır. Model dört saha uygulama modülünden oluşur: mahalle yürüyüşü, yaya geçidi uygulaması, AVM yön bulma ve toplu taşıma uygulaması; bu modüllerin her biri, sınıfta kavram düzeyinde öğretilen bilginin gerçek mekânda bizzat uygulanmasını amaçlamaktadır.

Bu dört modülden Mahalle Yürüyüşü, katılımcıların yakın çevrelerindeki ev, park, okul, durak gibi kent sembollerini gerçek mekânda tanımasını; Yaya Geçidi Uygulaması, güvenli geçiş kurallarının (bekleme, bakınma, geçiş) yerinde uygulanmasını; AVM Yön Bulma, kapalı bir kamusal mekânda tabela ve kat planı okuyarak hedefe ulaşmayı; Toplu Taşıma Uygulaması ise durak tanıma, doğru hattı seçme ve inilecek durağı belirleme becerilerinin sahada denenmesini amaçlamaktadır. Her modül, sınıfta kart ve maket düzeyinde tanıtılan kavramın gerçek mekânsal bağlamda sınanmasını sağlayarak, bu araştırmanın saha gözlemi aşamasına doğrudan zemin oluşturmaktadır.

2.2. Araştırma Modeli

Bu araştırma, nitel araştırma desenlerinden durum çalışması ile tasarım tabanlı araştırma yaklaşımının bir arada kullanıldığı bütüncül bir model üzerine kurgulanmıştır. Durum çalışması, KOGEM'in pilot güzergâhının kendine özgü koşulları içinde derinlemesine incelenmesine olanak tanımakta; alanın fiziksel özellikleri, kullanıcı davranışları ve karşılaşılan güçlükler gözlemlenmektedir. Tasarım tabanlı araştırma yaklaşımı ise gözlemlerden çıkan bulguların, sahada denenebilecek somut tasarım önerilerine dönüştürülmesini hedeflemekte; bu süreç gözlem, analiz ve öneri olmak üzere üç adımdan oluşmaktadır. Durum çalışması alanda neyin olduğunu ortaya koyarken, tasarım tabanlı araştırma bu bulgulardan yola çıkarak ne yapılması gerektiğini belirlemekte; iki yaklaşım birlikte kullanılarak KOGEM pilot alanından elde edilen bulgular somut tasarım kriterlerine dönüştürülmektedir.

2.3. Çalışma Alanı

Araştırmada yeni bir güzergâh belirlemek yerine KOGEM'in pilot güzergâhı kullanılmaktadır; bu tercih, katılımcıların zaten aşina olduğu bir güzergâh üzerinden çalışılmasını ve saha uygulama modülleriyle doğrudan örtüşen noktaların incelenmesini mümkün kılmaktadır. Güzergâhın kesin sınırları saha çalışmasıyla netleşecek olmakla birlikte, çalışma alanının en az bir güvenli yaya geçidi, bir toplu taşıma durağı/hattı, bir aktarma veya kavşak noktası ve bir kamusal/yarı kamusal alanı (örn. alışveriş merkezi) içermesi öngörülmektedir.

2.4. Katılımcılar

Katılımcı sayısı, istatistiksel temsiliyetten çok nitel veri doygunluğu ilkesine göre belirlenmektedir. Araştırma, Tablo 1'de özetlenen üç katılımcı grubunu kapsamaktadır. Bireylerin katılımı için kendilerinden anlayabilecekleri düzeyde bilgilendirme yapılarak onam, veli/vasilerinden ise yazılı bilgilendirilmiş onam alınmaktadır.

Katılımcı Grubu	Sayı	Açıklama
Zihinsel yetersizliği olan bireyler	**140**	100 hafif, 40 orta–ağır düzey; KOGEM saha uygulamalarına katılmış olma
Aileler / vasiler	**40**	Katılımcı bireylerin aile üyeleri / vasileri
Özel eğitim öğretmenleri	**10**	KOGEM Öğretmen El Kitabı'nı uygulayan öğretmenler

Tablo 1. Araştırmanın katılımcı grupları

2.5. Veri Toplama Araçları

Veri toplama sürecinde beş araç kullanılmaktadır: (1) araştırmacı tarafından geliştirilen Saha Gözlem Formu, çalışma alanındaki fiziksel ve mekânsal unsurların sistematik biçimde kaydedilmesini sağlamaktadır; (2) evrensel tasarım ilkeleri, kentsel okunabilirlik unsurları ve KOGEM'in öğretim ilkeleri temel alınarak geliştirilen Kentsel Bilişsel Erişilebilirlik Kontrol Listesi, çalışma alanının bilişsel erişilebilirlik açısından değerlendirilmesinde kullanılmaktadır; (3) GPS/Mobil İpucu Destekli Yön Bulma Probu, katılımcıların kritik noktalarda konum tabanlı dijital ipucuyla desteklenip desteklenmediği durumları karşılaştırmalı biçimde incelemeye olanak tanımaktadır; (4) öğretmen ve ailelerle yürütülecek yarı yapılandırılmış görüşme formları, gözlemlenen güçlüklerin katılımcı bakış açısıyla derinleştirilmesini amaçlamaktadır; (5) saha notları, fotoğraf ve kroki kayıtları ise gözlem verilerini görsel biçimde destekleyen tamamlayıcı belgeler olarak kullanılmaktadır.

2.6. Veri Toplama Süreci

Araştırma süreci, kavramların tanınmasından bulguların sentezlenmesine kadar birbirini izleyen beş aşamada ilerlemektedir: (1) sınıfta yön, mesafe ve kent sembollerinin kartlarla, yaya geçidi ve toplu taşıma adımlarının ise sınıf içi çalışmayla tanıtıldığı kavram tanıma aşaması; (2) güzergâhın yürünerek gözlemlendiği, tabela, geçit, durak ve engellerin not edildiği haritalama aşaması; (3) sınıfta öğrenilenlerin güzergâhta bizzat uygulandığı, yön bulma davranışlarının yerinde gözlemlendiği uygulamalı gözlem aşaması; (4) öğretmen ve aileyle görüşme yapılarak gözlemlenen güçlüklerin katılımcıların kendi ifadeleriyle dinlendiği görüşmeler aşaması; ve (5) sınıf ve saha bulgularının bir araya getirilerek ortak temaların bir kriter taslağına dönüştürüldüğü sentezleme aşaması. İlk aşama sınıfta, kalan dört aşama ise KOGEM'in kendi pilot güzergâhında yürütülmektedir.

Sürecin ilk aşamasında sınıf ortamında yürütülen kavram tanıma çalışmalarından örnekler Şekil 2 ve Şekil 3'te sunulmaktadır. Şekil 2, öğrencilerin yön ve sembol kartlarını kullanarak kavramları pekiştirdiği sınıf içi/salon etkinliğini; Şekil 3 ise öğrencilerin kent sembol kartlarını (ev, park, okul, durak, hastane) kullanarak masa üzerinde oluşturduğu sembolik bir mahalle

düzenini göstermektedir. Bu tür etkinlikler, bireylerin sahaya çıkmadan önce piktogram ve sembol sistemine aşina hâle gelmesini sağlayarak, ikinci aşamada gerçekleştirilecek saha gözlemlerine hazırlık işlevi görmektedir.

Şekil 2. Kavram tanıma aşamasında yürütülen sınıf/salon etkinliğinden bir görünüm (Kaynak: KOGEM Projesi saha uygulamaları)

Şekil 3. Öğrencilerin sembol kartlarıyla oluşturduğu mahalle düzeni (Kaynak: KOGEM Projesi saha uygulamaları)

2.7. Geçerlik ve Güvenirlik

Araştırmanın geçerlik ve güvenirliğini artırmak amacıyla beş strateji uygulanacaktır: veri çeşitlemesi (gözlem, görüşme ve KOGEM el kitapları gibi doküman verilerinin bir arada kullanılması); uzman incelemesi (veri toplama araçlarının özel eğitim ve kentsel tasarım alanından uzmanların görüşüne sunulması); katılımcı teyidi/member checking (analiz sonuçlarının, uygun olan katılımcılarla paylaşılarak doğrulanması); ayrıntılı betimleme (çalışma alanının, katılımcıların ve sürecin ayrıntılı biçimde tanımlanarak aktarılabilirliğin

desteklenmesi); ve tutarlılık incelemesi (kodlama sürecinin bir kısmının ikinci bir araştırmacı/uzman tarafından bağımsız olarak gözden geçirilmesi).

2.8. Etik İlkeler

Araştırmacı, veri toplama sürecinde katılımcı gözlemci rolünü üstlenmekte; saha uygulamalarına doğrudan müdahale etmeksizin gözlem ve görüşme yürütmektedir. Araştırmanın yürütülebilmesi için ilgili üniversite etik kurulundan onay alınması başlangıç koşuludur. Katılımcı verileri kod adlarıyla anonimleştirilecek, toplanan veriler yalnızca bilimsel amaçla ve gizlilik ilkelerine uygun biçimde kullanılacaktır. Katılım gönüllülük esasına dayanmakta olup katılımcılar araştırmanın herhangi bir aşamasında çekilme hakkına sahiptir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu araştırma hâlen saha çalışması aşamasında olup nihai bulgular, veri toplama ve analiz süreci tamamlandıktan sonra raporlanacaktır. Bu bölümde, kuramsal çerçeve ve KOGEM modelinden hareketle geliştirilen önerilen çerçeve, bu çerçevenin nasıl tartışılacağına ilişkin plan ve beklenen katkılar sunulmaktadır.

3.1. İki Katmanlı Çerçevenin Mantığı

Bulgular, KOGEM'in beş öğretim ilkesi (açıklık, tekrar/öngörülebilirlik, güvenlik, bireyselleştirme, genelleme) temel alınarak iki katmanda ele alınmaktadır. Katman 1 (asıl çözüm – fiziksel çözüm), her ilkenin mekânda kalıcı bir fiziksel düzenlemeyle karşılanmasını öngörmektedir; örneğin bir kavşakta yerde renkli yön okları, büyük puntolu tabelalar ve güvenli oturma noktaları oluşturulması, kalıcı olduğu için bakım gerektirmeyen ve bir cihaza bağımlı kalmayan bir çözüm sunmaktadır. Katman 2 (tamamlayıcı çözüm – teknoloji desteği), fiziksel düzenlemenin kısa vadede yapılamadığı durumlarda devreye girmektedir; aynı kavşakta tabela konamıyorsa telefonda sesli yönlendirme verilmesi gibi konum tabanlı çözümler, inşaat gerektirmediği için hızlı uygulanabilmekte ve ihtiyaca göre güncellenebilmektedir.

3.2. Tartışmaya Yönelik Çerçeve

Saha çalışması tamamlandığında elde edilecek bulgular, alanyazınla ilişkilendirilerek tartışılacaktır. Katılımcıların pilot güzergâhta yaşadığı güçlükler, evrensel tasarım ilkeleri (Connell vd., 1997) ve Lynch'in kentsel okunabilirlik unsurları (Lynch, 1960) çerçevesinde; zihinsel yetersizliği bulunan bireylerin yön bulma davranışlarına ilişkin bulgular ise Down sendromu ve genel zihinsel yetersizlik alanyazınıyla (Courbois vd., 2013; Nar ve Cavkaytar, 2019) karşılaştırılarak yorumlanacaktır. Bu karşılaştırmalar, KOGEM modelinden türetilen

kriterlerin genel bilişsel erişilebilirlik alanyazınıyla ne ölçüde örtüştüğünü ve hangi noktalarda özgün bir katkı sunduğunu ortaya koyacaktır.

3.4. Beklenen Katkılar

Geliştirilecek kriterlerin farklı meslek disiplini ve paydaş gruplarına katkı sağlaması beklenmektedir. Şehir plancıları, bu kriterleri imar planlarına ve plan notlarına ekleyebilir, kentsel tasarım rehberleri hazırlayabilir; yerel yönetimler, planlama ve ulaşım tasarımı rehberlerine fiziksel kriterlerin yanı sıra bilişsel erişilebilirlik kriterlerini de ekleyebilir. Ulaşım idareleri, kalıcı fiziksel düzenlemenin kısa vadede uygulanamadığı durumlarda konum tabanlı dijital yönlendirme çözümlerini geçici bir tamamlayıcı önlem olarak değerlendirebilir. Kentsel tasarımcılar ve mimarlar, geliştirilen kriter listesini yaya geçidi, durak ve kamu binası tasarımlarında bir kontrol aracı olarak kullanabilir. Özel eğitim öğretmenleri, KOGEM ilkelerini yalnızca öğrenciye beceri kazandırmak için değil, okul çevresinde somut iyileştirmeler talep etmenin gerekçesi olarak da kullanabilir; aileler ve sivil toplum kuruluşları, geliştirilen kriterleri yerel yönetimden erişilebilirlik iyileştirmesi isterken kullanabilir. Son olarak politika yapıcılar, erişilebilirlik mevzuatını gözden geçirirken bilişsel erişilebilirliği ayrı bir başlık olarak ele alabilir.

4. SONUÇ

Erişilebilirlik, rampanın ötesindedir. Bu araştırma; zihinsel yetersizliği bulunan bireylerin kentsel mekânı bağımsız ve güvenli biçimde kullanabilmesinin, yalnızca fiziksel erişimle değil, mekânın anlaşılabilir, öngörülebilir ve tutarlı olmasıyla da doğrudan ilişkili olduğunu göstermeyi amaçlamaktadır. Sahada test edilmiş bir özel eğitim modelinin bilgisini kentsel tasarım diline aktararak, hem akademik alanyazındaki boşluğa hem de yerel yönetimler ve tasarımcılar için uygulanabilir bir referansa katkı sunmayı hedeflemektedir. Araştırma hâlen saha çalışması aşamasında olup, elde edilecek bulgular iki katmanlı çerçeve içinde somut kriterlere dönüştürülecek ve ilgili paydaşlarla paylaşılacaktır.

Bu araştırmanın ilerisinde, geliştirilecek kriterlerin farklı sosyo-mekânsal özelliklere sahip başka pilot bölgelerde sınanarak genellenebilirliğinin test edilmesi; kriterlerin bir mekânda fiilen uygulanmasının ardından bireylerin bağımsız hareket becerilerindeki değişimin deneysel/tek-denekli araştırma modelleriyle sınanması önerilmektedir. Ayrıca otizm spektrum bozukluğu, işitme veya görme yetersizliği gibi farklı yetersizlik gruplarını kapsayan karşılaştırmalı bilişsel erişilebilirlik araştırmalarının yürütülmesi ve geliştirilen kriter listesinin uzman paneli ile Delphi tekniği gibi yöntemlerle ayrı bir geçerlik-güvenirlik çalışmasına konu edilmesi, alanın gelişimine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığı. (2013). Erişilebilirlik İzleme ve Denetleme Yönetmeliği. Resmî Gazete.
Anderson, A., Rousey, J., Wall, E., Spooner, F., Bross, L. A., & Harris, R. (2024). Using community-based instruction with students with intellectual and developmental disabilities in today's classroom: A systematic review of literature from 2010–2023. Education and Training in Autism and Developmental Disabilities, 59(4), 371–387.
CAST. (2011). Universal Design for Learning guidelines version 2.0. CAST.
Connell, B. R., Jones, M., Mace, R., Mueller, J., Mullick, A., Ostroff, E., Sanford, J., Steinfeld, E., Story, M., & Vanderheiden, G. (1997). The principles of universal design (Version 2.0). The Center for Universal Design, North Carolina State University.
Courbois, Y., Farran, E. K., Lemahieu, A., Blades, M., Mengue-Topio, H., & Sockeel, P. (2013). Wayfinding behaviour in Down syndrome: A study with virtual environments. Research in Developmental Disabilities, 34(5), 1825–1831.
Davies, D. K., Stock, S. E., Holloway, S., & Wehmeyer, M. L. (2010). Evaluating a GPS-based transportation device to support independent bus travel by people with intellectual disability. Intellectual and Developmental Disabilities, 48(6), 454–463.
Gomez, J., Montoro, G., Torrado, J. C., & Plaza, A. (2015). An adapted wayfinding system for pedestrians with cognitive disabilities. Mobile Information Systems, 2015, Article 520572.
Goo, M., Maurer, A. L., & Wehmeyer, M. L. (2019). Systematic review of using portable smart devices to teach functional skills to students with intellectual disability. Education and Training in Autism and Developmental Disabilities, 54(1), 57–68.
Heward, W. L. (2013). Exceptional children: An introduction to special education (10th ed.). Pearson.
International Organization for Standardization. (2007). ISO 7001: Graphical symbols — Public information symbols. ISO.
International Organization for Standardization. (2020). ISO 21801-1:2020 Cognitive accessibility — Part 1: General guidelines. ISO.
Korpi, J., & Ahonen-Rainio, P. (2015). Design guidelines for pictographic symbols: Evidence from symbols designed by students. In G. Gartner & H. Huang (Eds.), Proceedings of the 1st ICA European Symposium on Cartography (pp. 1–19). International Cartographic Association.
Lynch, K. (1960). The image of the city. MIT Press.
Marquardt, G. (2011). Wayfinding for people with dementia: A review of the role of architectural design. HERD: Health Environments Research & Design Journal, 4(2), 75–90.
McMahon, D. D., Smith, C. C., Cihak, D. F., Wright, R., & Gibbons, M. M. (2015). Effects of digital navigation aids on adults with intellectual disabilities: Comparison of paper map, Google maps, and augmented reality. Journal of Special Education Technology, 30(3), 157–165.
Mechling, L. C., & O'Brien, E. (2010). Computer-based video instruction to teach students with intellectual disabilities to use public bus transportation. Education and Training in Autism and Developmental Disabilities, 45(2), 230–241.
Mostafa, M. (2014). Architecture for autism: Autism ASPECTSS™ in school design. Archnet-IJAR: International Journal of Architectural Research, 8(1), 143–158.
Nar, S., & Cavkaytar, A. (2019). Orta ve ağır düzeyde zihin yetersizliği olan bireyler ve eğitime erişimleri. Anadolu Journal of Educational Sciences International, 9(2), 929–953.
Oliver, M. (1990). The politics of disablement. Macmillan.
Price, R., Marsh, A. J., & Fisher, M. H. (2017). Teaching young adults with intellectual and developmental disabilities community-based navigation skills to take public transportation. Behavior Analysis in Practice, 11(1), 46–50.
Stokes, T. F., & Baer, D. M. (1977). An implicit technology of generalization. Journal of Applied Behavior Analysis, 10(2), 349–367.
Türkiye Cumhuriyeti. (2005). 5378 sayılı Engelliler Hakkında Kanun. Resmî Gazete.
United Nations. (2006). Convention on the Rights of Persons with Disabilities.
Wehmeyer, M. L. (1999). A functional model of self-determination. Focus on Autism and Other Developmental Disabilities, 14(1), 53–61.

UZAKTAN MATEMATİK ÖĞRETİMİNE İLİŞKİN ÖĞRETMEN VE ÖĞRETMEN ADAYLARININ GÖRÜŞLERİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALARIN İNCELENMESİ

Betül DİLEK ÖZKAN
Bursa Uludağ University, Institute of Educational Sciences, Mathematics Education, 16285 Nilüfer, Bursa
Prof. Dr. Gül KALELİ YILMAZ
Bursa Uludağ University, Faculty of Education, Department of Mathematics and Science Education, Mathematics Education, 16285 Nilüfer, Bursa
ORCID ID: 0000-0002-8567-3639

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de 2015-2025 yılları arasında uzaktan matematik öğretimine ilişkin öğretmen ve öğretmen adaylarının görüşlerini ele alan makale ve tez çalışmalarını inceleyerek konuya ilişkin genel eğilimleri ortaya koymaktır. Araştırma, nitel araştırma yaklaşımı kapsamında gerçekleştirilmiş ve verilerin analizinde betimsel içerik analizi kullanılmıştır. Belirlenen ölçütler doğrultusunda Scopus, TR Dizin ve Yükseköğretim Kurulu (YÖK) Ulusal Tez Merkezi veri tabanları taranmış ve kriterleri tam olarak karşılayan toplam 26 bilimsel çalışma analize dâhil edilmiştir. Araştırma kapsamında incelenen çalışmalar, öğretmen ve öğretmen adaylarının uzaktan matematik öğretimine ilişkin görüşleri doğrultusunda değerlendirilmiş; benzer ifadeler ortak kodlar altında birleştirilerek kategoriler ve temalar oluşturulmuştur. Araştırma bulgularına göre, uzaktan matematik öğretiminin avantajları; dijital materyal ve kaynaklardan yararlanma, bireysel öğrenmenin desteklenmesi, öğretmenlerin teknoloji kullanım becerilerinin gelişmesi ile zaman ve mekân esnekliği başlıklarında öne çıkmaktadır. Buna karşın uzaktan matematik öğretiminin en önemli dezavantajları; öğrenci katılımı, ilgi ve motivasyon sorunları, etkileşim ve iletişim yetersizlikleri, teknik ve altyapı problemleri ile matematik öğretimine özgü ölçme ve değerlendirme güçlükleri olarak belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, çevrimiçi süreçlerin esneklik ve teknolojik gelişim açısından önemli fırsatlar sunduğunu ancak öğrenci katılımı, etkileşim, ölçme ve değerlendirme ile teknik altyapı açısından çeşitli sorunlar barındırdığını göstermektedir. Bu doğrultuda gelecekteki uygulamalar için uzaktan eğitimde yaşanan altyapısal ve etkileşimsel sorunları en aza indirecek öğretim tasarımlarının geliştirilmesi önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Uzaktan matematik öğretimi, öğretmen görüşleri, öğretmen adayları, uzaktan eğitim

STUDIES ON TEACHERS' AND PRE-SERVICE TEACHERS' VIEWS ON DISTANCE MATHEMATICS TEACHING: A REVIEW

ABSTRACT

The aim of this study is to examine articles and theses addressing the views of teachers and pre-service teachers on distance mathematics education in Türkiye between 2015 and 2025 and to identify the general trends in the field. The study was conducted within the qualitative research approach, and descriptive content analysis was used to analyze the data. In accordance with the predetermined criteria, the Scopus, TR Dizin, and Council of Higher Education (YÖK) National Thesis Center databases were searched, and a total of 26 scientific studies that fully met the inclusion criteria were included in the analysis. The studies examined within the scope of the research were evaluated based on the views of teachers and pre-service teachers regarding distance mathematics education; similar statements were grouped under common codes, and categories and themes were subsequently developed. According to the findings, the advantages of distance mathematics education were primarily associated with the use of digital materials and resources, support for individualized learning, improvement of teachers' technology use skills, and flexibility in terms of time and space. In contrast, the major disadvantages of distance mathematics education were identified as problems related to student participation, interest and motivation; insufficient interaction and communication; technical and infrastructure-related problems; and difficulties in assessment and evaluation specific to mathematics education. The results indicate that online processes provide significant opportunities in terms of flexibility and technological development; however, they also involve various challenges concerning student participation, interaction, assessment and evaluation, and technical infrastructure. Accordingly, it is recommended that instructional designs be developed for future practices to minimize the infrastructural and interactional problems experienced in the distance education process.

Keywords: Distance mathematics education, teachers' views, pre-service teachers, distance education

1. GİRİŞ

Günümüzde eğitim sistemleri, teknolojik gelişmeler ve değişen toplumsal ihtiyaçların etkisiyle sürekli olarak yeniden şekillenmektedir. Bu dönüşüm doğrultusunda dijital öğrenme ortamlarının ve uzaktan eğitim uygulamalarının eğitim süreçlerindeki kullanım alanı giderek genişlemektedir. Uzaktan eğitim; öğretici ve öğrenenin farklı ortamlarda bulunduğu, öğretim faaliyetlerinin iletişim teknolojileri aracılığıyla yürütüldüğü bir eğitim modeli olarak tanımlanmaktadır (İşman, 1998; akt. Arat ve Bakan, 2011). Uzaktan eğitim uygulamaları

tarihsel süreç içerisinde mektupla öğretimden radyo, televizyon ve internet tabanlı öğrenme ortamlarına kadar gelişim göstermiştir (Özer, 1990). Özellikle internet teknolojilerinin gelişmesiyle birlikte çevrimiçi eğitim uygulamaları yaygınlaşmış ve birçok dersin dijital ortamlarda yürütülmesine olanak sağlamıştır.

Uzaktan eğitim uygulamalarının yaygınlaşması, matematik öğretimi gibi soyut kavramlar içeren derslerin dijital ortamlarda yürütülmesini önemli hale getirmiştir. Matematik dersinin yapısı gereği görsellik, etkileşim ve uygulama gerektirmesi, online ortamda yürütülen öğretim süreçlerinde çeşitli imkan ve sınırlılıkları ortaya çıkarmaktadır. Uzaktan eğitimin; bireysel öğrenmeye uygunluk, zaman ve mekân esnekliği, zengin materyal kullanımı ve tekrar edilebilirlik gibi avantajlar sunduğu belirtilmektedir (Kaya vd., 2004). Bununla birlikte iletişim eksikliği, etkileşim yetersizliği ve öğrenci takibinde yaşanan güçlükler gibi sınırlılıklarının da bulunduğu ifade edilmektedir (Kilit ve Güner, 2021). Ayrıca çevrimiçi eğitim ortamlarında öğrenci-öğrenci ve öğrenci-öğretmen iletişiminin etkili bir şekilde sağlanmasının, sürecin verimliliği açısından önemli olduğu belirtilmektedir (Varol ve Türel, 2003).

Covid-19 pandemisi ile birlikte uzaktan eğitim uygulamaları eğitim süreçlerinde hızlı bir şekilde yaygınlaşmıştır. Pandemi sürecinin sona ermesine rağmen uzaktan eğitim uygulamalarının harmanlanmış (hibrit) modellerle kullanılmaya devam etmesi, bu uygulamaların eğitim süreçleri üzerindeki uzun vadeli etkilerinin değerlendirilmesini önemli hale getirmiştir. Alan yazınında öğretmenlerin ve öğretmen adaylarının uzaktan matematik öğretimine ilişkin görüşlerini ele alan bağımsız ve tekil çalışmalar (Kilit ve Güner, 2021; Turğut ve Yenilmez, 2011) yer almaktadır. Bu çalışmaları belirli bir zaman dilimi odağında bütüncül olarak bir araya getiren sentez çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle öğretmen adaylarının görüşlerinin sistematik bir yaklaşımla incelenmesi; uzaktan matematik öğretiminin avantaj ve dezavantajlarının net bir şekilde ortaya konulması, alandaki genel eğilimlerin bütünsel olarak değerlendirilmesi açısından kritik bir önem taşımaktadır. Bu doğrultuda, dağınık halde bulunan uzaktan matematik öğretimine ilişkin çalışmaların tek bir çalışmada incelenmesinin alan yazınındaki bu boşluğu dolduracağı ve gelecek araştırmalara bir rehberlik ederek alan yazınına önemli bir katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de 2015-2025 yılları arasında uzaktan matematik öğretimine ilişkin öğretmen ve öğretmen adaylarının görüşlerini ele alan makale ve tez çalışmalarını inceleyerek konuya ilişkin genel eğilimleri ortaya koymaktır.

Araştırma problemi; "2015–2025 yılları arasında yapılan makale ve tez çalışmalarında, uzaktan matematik öğretimine ilişkin öğretmen ve öğretmen adaylarının görüşleri nelerdir?" şeklinde belirlenmiştir. Bu problem doğrultusunda aşağıdaki alt problemlere cevap aranmıştır:

1. Öğretmen ve öğretmen adaylarının uzaktan matematik öğretiminin avantajlı yönlerine ilişkin görüşleri nelerdir?
2. Öğretmen ve öğretmen adaylarının uzaktan matematik öğretiminin dezavantajlı yönlerine ilişkin görüşleri nelerdir?

2. YÖNTEM

2.1. Desen

Bu araştırma, 2015-2025 yılları arasında uzaktan matematik öğretimine ilişkin öğretmen ve öğretmen adaylarının görüşlerini inceleyen çalışmaların bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmesini amaçlayan nitel bir araştırmadır. Araştırmada betimsel içerik analizi kullanılmıştır. Betimsel içerik analizi, belirli bir konuya ilişkin yapılan çalışmaların belirli ölçütler doğrultusunda sistematik bir biçimde incelenerek çalışmaların genel özelliklerinin, eğilimlerinin ve elde edilen bulguların belirli kategoriler altında düzenlenmesini ve betimlenmesini amaçlayan bir analiz yöntemidir. Bu yöntemin tercih edilmesinin temel nedeni, uzaktan matematik öğretimine ilişkin farklı çalışmalarda ortaya konulan öğretmen ve öğretmen adayı görüşlerinin belirli kod, kategori ve temalar altında sistematik biçimde sınıflandırılarak alandaki genel eğilimlerin ortaya çıkarılmasına olanak sağlamasıdır. Bu doğrultuda, incelenen çalışmalarda uzaktan matematik öğretiminin avantajlı ve dezavantajlı yönlerine ilişkin görüşlerin belirlenmesi ve bu görüşlerin ortak özellikleri doğrultusunda betimlenmesi amaçlanmıştır.

2.2. Veri Toplama Aracı

Bu çalışmada uzaktan matematik öğretimine ilişkin öğretmen ve öğretmen adaylarının görüşlerine ait çalışmalara ulaşmak amacıyla Scopus, TR Dizin ve Yükseköğretim Kurulu Tez Merkezi veri tabanları taranmıştır. Ayrıca DergiPark üzerinden ilgili makalelere erişim sağlanmıştır. Scopus veri tabanı; eğitim bilimleri ve matematik eğitimi alanında geniş kapsama sahip olması, çalışmalara erişim kolaylığı ve sonradan incelenmek üzere kaydedilebilmesine imkan tanıması sebebiyle tercih edilmiştir. TR Dizin ve Yükseköğretim Kurulu Ulusal Tez Merkezi gelişmiş filtreleme seçenekleri sayesinde çalışmalara hızlı ve kolay erişim sağlaması nedeniyle tercih edilmiştir.

2.3. Veri Toplama Süreci

Verilerin toplanması, online matematik öğretiminin öğretmen ve öğretmen adaylarının görüşleri üzerine makale ve tezlerin belirlenmesi ile yapılmıştır. Makale ve tezler belirlenirken anahtar kelime grupları kullanılmıştır. Tarama sürecinde; online matematik öğretimi,öğretmen görüşleri ve öğretmen adayları görüşlerine ilişkin çalışmalara ulaşabilmek amacıyla konuya ilişkin temel terimler birlikte kullanılmıştır. Anahtar kelimeler; konu terimleri, alan terimleri ve katılımcı terimleri olacak şekilde gruplandırılmıştır.

Konu Terimleri

‘Online eğitim’, ‘Uzaktan eğitim’, ‘Çevrimiçi eğitim’ ve ‘ Web tabanlı matematik eğitimi’

Alan Terimleri

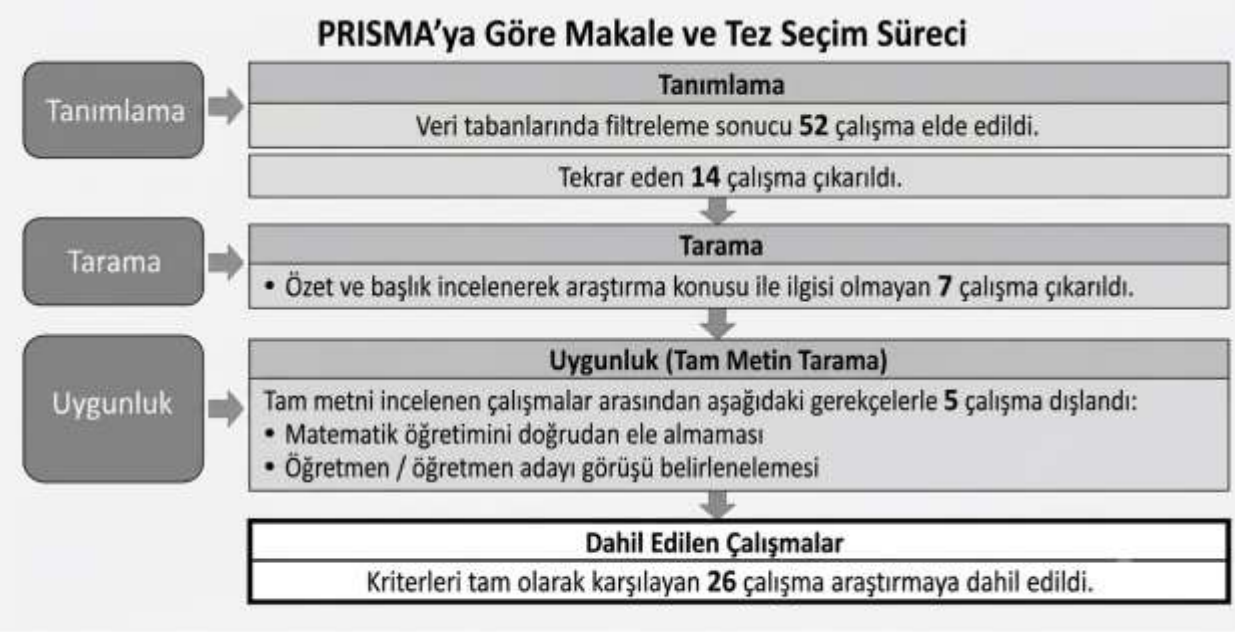
‘Matematik’, ‘Matematik eğitimi’,’ Matematik öğretimi’ ve ‘Matematik dersi’

Katılımcı Terimleri

‘Matematik öğretmeni’ ,’Öğretmen’ ve ‘Öğretmen adayı’

anahtar kelimeler kullanılarak veri tabanlarında tarama yapılmıştır. Veri tabanlarında arama yapılırken anahtar kelimeler “AND” ve “OR” bağlaçları ile birleştirilmiştir. Örnek bir tarama dizgesi; (“online eğitim” OR “uzaktan eğitim” OR “çevrimiçi eğitim”) AND (“öğretmen görüş” OR “öğretmen adayı”) AND (“matematik”) şeklinde oluşturulmuştur. Tarama sürecinde çalışmalar 2015-2025 yılları ile sınırlandırılmış, yayın türü olarak Scopus,TR Dizin ve DergiParkta da yalnızca makaleler seçilmiş ve sadece Türkçe yayımlanan çalışmalar değerlendirmeye alınmıştır. Uygulanan filtreler sonucunda çok sayıda çalışmaya ulaşıldığından, araştırma kapsamı matematik eğitimi alanındaki çalışmalar ile sınırlandırılmıştır.

Bulgular bölümünde rapor edilecek olan 2015-2025 yılları arasında yayınlanmış uzaktan matematik öğretimine ilişkin öğretmen ve öğretmen adaylarının görüşleri ile ilgili çalışmalar, PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) çerçevesi esas alınarak yürütülmüştür. PRISMA, araştırmaların belirlenmesi, seçilmesi, uygunluklarının değerlendirilmesi ve araştırmaya dâhil edilme süreçlerinin sistematik ve şeffaf bir şekilde raporlanmasını sağlayan bir rehberdir. Bu yaklaşım, araştırma sürecinin açık ve izlenebilir bir biçimde yürütülmesine olanak sağlaması nedeniyle tercih edilmiştir.



Şekil 1. Araştırma sürecindeki literatür seçimine dair PRISMA akış diyagramı (Final Çalışma Sayısı: 26)

2.4. Veri Analizi

Bu araştırmada elde edilen verilerin çözümlenmesinde, nitel araştırma yöntemlerinden betimsel içerik analizi kullanılmıştır. Bu yöntem ile incelenen 26 çalışmada farklı başlıklar altında yer alan öğretmen ve öğretmen adayı görüşleri, anlam bütünlüğü taşıyan ortak kavramlar ve temalar etrafında toplanmıştır. Verilerin analiz süreci üç aşamada gerçekleştirilmiştir.

İlk aşamada, araştırma kapsamına alınan 26 çalışma ayrıntılı olarak incelenerek uzaktan matematik eğitimine ilişkin öğretmen ve öğretmen adayı görüşleri doğrultusunda kodlar belirlenmiştir. Bu süreçte farklı araştırmacılar tarafından benzer anlamları ifade etmek amacıyla kullanılan ham kodlar karşılaştırılarak ortaklaştırılmıştır. Örneğin; çalışmalarda yer alan "her yerden katılım", "mekândan bağımsız öğrenme" ve "istediği yerde ders dinleme" gibi ifadeler, anlam bütünlüğü dikkate alınarak "zaman ve mekân esnekliği" ortak kodu altında birleştirilmiştir.

İkinci aşamada, belirlenen ortak kodların literatürdeki yaygınlığını ve eğilimini ortaya koymak amacıyla frekans (f) analizinden yararlanılmıştır. Her bir ortak kodun kaç çalışmada yer aldığı belirlenmiş böylece uzaktan matematik eğitimine ilişkin öne çıkan görüşler sayısallaştırılarak görünür hâle getirilmiştir.

Son aşamada ise benzer özellik gösteren kodlar bir araya getirilerek kategoriler oluşturulmuş, ardından bu kategoriler daha kapsayıcı üst temalar altında toplanmıştır. Bu süreç sonucunda

uzaktan matematik öğretiminin avantajları dört ana tema, dezavantajları ise dört ana tema altında yapılandırılarak bulgular bölümünde sunulmuştur.

3. BULGULAR

Bu bölümde araştırmanın alt problemlerine ait analiz sonuçları ve yorumları yer almaktadır.

3.1. Uzaktan Matematik Öğretiminin Avantajlı Yönlerine İlişkin Bulgular

Araştırma kapsamında incelenen makale ve tez çalışmalarından elde edilen veriler doğrultusunda, öğretmen ve öğretmen adaylarının online matematik öğretiminin avantajlarına yönelik görüşlerine dayalı tema, kod ve frekans (f) dağılımları Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. *Uzaktan Matematik Öğretiminin Avantajlı Yönlerine İlişkin Tema ve Kod Dağılımları*

Tema	Kod	Kod Kaynağı	f
Öğrenme Sürecine Katkı	Bireysel öğrenmenin desteklenmesi	M1, M5, M6, M10, M14, M16, M21, M22, M23, M24, T2	11
	Öğretmen-öğrenci etkileşiminin desteklenmesi	M1, M7, M9, M11, M13, M19, M21, M24, T1, T2	10
	Derslerin tekrar izlenebilmesi	M1, M2, M5, M10, M16, M21, M24, T2	8
	Öğrenci ilgisini artırmak	M5, M6, M8, M13, M15, M19, M22	7
	Öğrenmeye erişim kolaylığı sağlaması	M7, M10, M12, M14, M20, M24	6
Teknolojik ve Pedagojik Gelişim	Dijital materyal ve kaynaklardan yararlanma	M1, M3, M5, M8, M11, M13, M14, M17, M18, M19, M21, M23, T1	13
	Öğretmenin teknoloji kullanım becerisinin gelişmesi	M3, M4, M6, M7 M8, M11, M12, M15, M17, M18, M20	11
	Görsel ve etkileşimli içerik kullanımının artması	M1, M5, M6, M8, M11, M13, M17, M18, M23, T1	10
	Teknolojik farkındalık ve dijital deneyim kazanma	M4, M5, M6, M11, M18, M24	6
	Farklı öğretim yöntem ve tekniklerinin kullanma	M3, M11, M18, M19, M22, T1	5
Esneklik ve Kolaylık Sağlama	Zaman ve mekân esnekliği	M1, M2, M3, M10, M12, M14, M16, M20, M24, T2	10
	Zaman tasarrufu sağlaması	M2, M3, M5, M6, M10, M14, M16, M22, T2	9
	Ekonomik avantajlar	M1, M2, M5, M10, M24, T2	6
	Öğrenciye ulaşmayı kolaylaştırması	M3, M7, M20	3
Eğitimin Sürdürülebirliği	Öğretmenlerin mesleki gelişimine katkı sağlama	M14, M5, M7, M9, M13, M18, M19, M20	8
	Veli desteği / aile katılımının artması	M11, M13, M14, M15, M17, M22	6
	Eğitim-öğretim faaliyetlerinin sürdürülebilmesi	M2, M5, M7, M12, M20, M22	6
	Sağlık ve güvenlik açısından avantaj sağlaması	M2, M6, M10, M18	4
Toplam			139

Tablo 1 incelendiğinde uzaktan matematik öğretiminin avantajlı yönlerine ilişkin bulguların dört ana tema altında toplandığı görülmektedir. Bu temalar; öğrenme sürecine katkıları, teknolojik ve pedagojik gelişim, esneklik ve kolaylık sağlayan unsurlar ile eğitimin sürdürülebilirliği olarak belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalarda en fazla vurgulanan avantajlar; dijital materyal ve kaynaklardan yararlanma (f=13), bireysel öğrenmenin desteklenmesi (f=11), öğretmenin teknoloji kullanım becerisinin gelişmesi (f=11), zaman ve mekân esnekliği sağlaması (f=10) ve öğretmen-öğrenci etkileşiminin desteklenmesidir (f=10). Tematik olarak yapılan değerlendirmede, en fazla görüş bildirilen temanın teknolojik ve pedagojik gelişim olduğu görülmektedir. Bu tema altında dijital materyal ve kaynaklardan yararlanma (f=13), öğretmenin teknoloji kullanım becerisinin gelişmesi (f=11) ve görsel-etkileşimli içerik kullanımının artması (f=10) en sık ifade edilen avantajlar arasında yer almaktadır. Bu durum, uzaktan matematik öğretiminin öğretim sürecinde teknolojinin daha etkin kullanılmasına katkı sağladığını göstermektedir.

3.2. Uzaktan Matematik Öğretiminin Dezavantajlı Yönlerine İlişkin Bulgular

Araştırma kapsamında incelenen makale ve tez çalışmalarından elde edilen veriler doğrultusunda, öğretmen ve öğretmen adaylarının uzaktan matematik öğretiminin dezavantajlarına yönelik görüşlerine dayalı tema, kod ve frekans (f) dağılımları Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Uzaktan *Matematik Öğretiminin Dezavantajlı Yönlerine İlişkin Tema ve Kod Dağılımları*

Tema	Kod	Kod Kaynağı	f
Öğrenci Kaynaklı Sorunlar	Öğrenci katılımı, ilgi ve motivasyon sorunları	M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12, M13, M14, M16, M17, M18, M20, M21, M22, M24, T2	22
	Öğrenme ve akademik başarı sorunları	M3, M6, M8, M9, M11, M12, M14, M18, M21	9
	Sosyalleşme eksikliği	M1, M4, M5, M24	4
Öğretim Sürecine İlişkin Sorunlar	Matematik öğretimine özgü sorunlar	M1, M3, M4, M5, M9, M10, M11, M12, M13, M14, M15, M17, M18, M20, M22, M23, M24, T2	18
	Ölçme ve değerlendirme sorunları	M1, M2, M3, M4, M5, M8, M10, M13, M14, M15, M17, M21, M22, M24, T1, T2	16
	Materyal ve içerik yetersizlikleri	M1, M2, M3, M4, M5, M9, M10, M12, M13, M14, M21, M22, M23, T2	14
	Ders süresi ve zaman yönetimi sorunları	M4, M6, M11, M13, M14, M19	6
Teknolojik ve Erişim Kaynaklı Sorunlar	Teknik ve altyapı sorunları	M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M10, M11, M12, M13, M16, M17, M18, M20, M21, M22, M24, T1, T2	21
	Fırsat eşitsizliği ve erişim sorunları	M2, M4, M5, M6, M8, M9, M11, M14, M16, M18, M20, M21, M24, T1, T2	15
	Etkileşim ve iletişim sorunları	M1, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M10, M11, M14, M15, M16, M17, M18, M20, M21, M22, M24, T1, T2	21
	Sınıf yönetimi ve öğrenci kontrolü sorunları	M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M17, M18, M19, T2	14

Öğretmen, Veli ve Sınıf Yönetimi Kaynaklı Sorunlar	Öğretmen yetersizliği ve hazırlık sorunları	M1, M3, M4, M7, M8, M10, M11, M12, M20, T1, T2	11
	Veli kaynaklı sorunlar	M8, M9, M14, M17, T2	5
	Toplam		176

Tablo 2 incelendiğinde uzaktan matematik öğretiminin dezavantajlı yönlerine ilişkin bulguların dört ana tema altında toplandığı görülmektedir. Bu temalar; öğrenci kaynaklı sorunlar, öğretim sürecine ilişkin sorunlar, teknolojik ve erişim kaynaklı sorunlar ile öğretmen, veli ve sınıf yönetimi kaynaklı sorunlar olarak belirlenmiştir.

Yapılan çalışmalarda en fazla vurgulanan dezavantajlar; öğrenci katılımı, ilgi ve motivasyon sorunları (f=22), etkileşim ve iletişim sorunları (f=21), teknik ve altyapı sorunları (f=21), matematik öğretimine özgü sorunlar (f=18) ve ölçme-değerlendirme sorunlarıdır (f=16). Tematik bazda yapılan değerlendirmede, en fazla görüş bildirilen temanın öğretim sürecine ilişkin sorunlar olduğu görülmektedir. Bu tema altında matematik öğretimine özgü sorunlar (f=18), ölçme ve değerlendirme sorunları (f=16), materyal ve içerik yetersizlikleri (f=14) ile ders süresi ve zaman yönetimi sorunları (f=6) yer almaktadır. Bununla birlikte öğrenci katılımı, ilgi ve motivasyon sorunları (f=22), etkileşim ve iletişim sorunları (f=21) ile teknik ve altyapı sorunları (f=21) en sık vurgulanan dezavantajlar arasında bulunmaktadır. Bu durum, online matematik öğretiminde öğretim sürecinin yürütülmesi, öğrenci katılımının sağlanması ve etkili iletişim kurulması konusunda çeşitli güçlüklerin yaşandığını göstermektedir.

4. TARTIŞMA ve SONUÇ

Bu araştırmada, uzaktan matematik öğretimine ilişkin öğretmen ve öğretmen adayı görüşlerini ele alan 26 çalışma incelenmiştir. Elde edilen bulgular, uzaktan matematik öğretiminin öğretim sürecine önemli katkılar sunmakla birlikte çeşitli sınırlılıkları da beraberinde getirdiğini göstermektedir.

Araştırma sonuçlarına göre uzaktan matematik öğretiminin en önemli avantajları; dijital materyal ve kaynaklardan yararlanma, bireysel öğrenmenin desteklenmesi, öğretmenlerin teknoloji kullanım becerilerinin gelişmesi ve zaman-mekân esnekliği sağlamasıdır. Ayrıca görsel ve etkileşimli içeriklerin kullanımının artması, derslerin tekrar izlenebilmesi ve eğitim-öğretim faaliyetlerinin kesintisiz sürdürülebilmesi de öğretmen ve öğretmen adayları tarafından önemli avantajlar arasında değerlendirilmiştir. Bu bulgu, uzaktan eğitimin öğrenenlere kendi öğrenme hızlarında ilerleme fırsatı sunması ve öğretim sürecinde teknolojinin daha etkin kullanılmasına olanak tanıması bakımından alan yazındaki çalışmalarla paralellik göstermektedir. Benzer şekilde Yiğ (2023), öğretmen adaylarının esnek ders yapısı,

bireysel araştırmaya teşvik edilme ve interaktif matematik etkinliklerinden yararlanabilme fırsatlarını uzaktan matematik öğretiminin önemli avantajları arasında değerlendirdiklerini belirtmiştir. Ayrıca Erşen ve Yumak (2021) derslerin tekrar izlenebilmesi, istenilen zaman ve mekânda takip edilebilmesi ve eğitimin sürekliliğinin sağlanmasını uzaktan eğitimin önemli katkıları arasında göstermiştir.

Bununla birlikte araştırma bulguları, uzaktan matematik öğretiminde çeşitli dezavantajların da bulunduğunu ortaya koymuştur. İncelenen çalışmalarda en sık vurgulanan sorunlar; öğrenci katılımı, ilgi ve motivasyon eksikliği, etkileşim ve iletişim sorunları, teknik ve altyapı problemleri, matematik öğretimine özgü güçlükler ile ölçme ve değerlendirme süreçlerinde yaşanan sorunlar olmuştur. Özellikle matematik dersinin soyut kavramlar içermesi, öğrencilerin problem çözme süreçlerinin anlık olarak takip edilmesini gerektirmesi ve öğretmen-öğrenci etkileşimine duyulan ihtiyaç, uzaktan eğitim sürecinde çeşitli güçlüklerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Ayrıca internet erişimi ve teknolojik araçlara ulaşım konusunda yaşanan farklılıkların fırsat eşitsizliğini arttırdığı görülmüştür. Bu bulgular, Kilit ve Güner (2021), Acar ve Peker (2022) ile Özdemir Baki ve Çelik (2021) tarafından yapılan çalışmalarda belirtilen etkileşim eksikliği, öğrenci katılımında azalma ve teknik sorunlara ilişkin sonuçlarla benzerlik göstermektedir.

Sonuç olarak uzaktan matematik öğretimi; esneklik sağlaması, teknolojik gelişimi desteklemesi ve öğrenme sürecini sürdürülebilir kılması bakımından önemli avantajlar sunmaktadır. Ancak öğrenci motivasyonu, etkileşim, ölçme-değerlendirme ve teknik altyapı alanlarında yaşanan sorunlar, sürecin etkililiğini sınırlandırmaktadır. Bu nedenle gelecekte gerçekleştirilecek uzaktan veya harmanlanmış matematik öğretimi uygulamalarında teknolojik altyapının güçlendirilmesi, etkileşimi artıracak öğretim tasarımlarının geliştirilmesi, ölçme-değerlendirme süreçlerinin yeniden yapılandırılması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

Acar, S., & Peker, B. (2022). Matematik öğretmenlerinin eş zamanlı uzaktan eğitime ilişkin görüşleri. *Yaşadıkça Eğitim*, *36*(2), 453-471. https://doi.org/10.33308/26674874.2022362401

Akıncı, M., & Pişkin Tunç, M. (2021). Uzaktan eğitim uygulamalarında matematik öğretmen adaylarının karşılaştıkları sorunlar ve çözüm önerileri. *EKEV Akademi Dergisi*, (85), 359-376.

Akyol, B. (2023). *Covid 19 sürecinde uzaktan matematik eğitiminin verimlilik ve karşılaşılan sorunlar açısından incelenmesi* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü.

Alkan, N., & Özdemir, S. M. (2023). Uzaktan eğitim sürecinde ilkokul öğrencilerinin matematik dersi öğrenme kayıplarına ilişkin öğretmen görüşleri. *JRES*, *10*(2), 196-223. https://doi.org/10.51725/etad.1397515

Aydoğdu İskenderoğlu, T., & Konyalıhatipoğlu, M. (2021). Matematik öğretmenlerinin bakış açısıyla Covid-19 salgını sürecinde uzaktan canlı dersler. *Dokuz Eylül Üniversitesi Buca Eğitim Fakültesi Dergisi*, (52), 235-262. https://doi.org/10.53444/deubefd.895682

Batdal Karaduman, G., Akşak Ertaş, Z., & Duran Baytar, S. (2021). Uzaktan eğitim yolu ile gerçekleştirilen matematik derslerine ilişkin öğretmen deneyimlerinin incelenmesi. *International Primary Educational Research Journal, 5*(1), 1–17. https://doi.org/10.38089/iperj.2021.42
Berk, G., & Güven Akdeniz, D. (2023). İlköğretim matematik öğretmen adaylarının uzaktan eğitime ilişkin görüşleri. *Siirt Eğitim Dergisi, 3*(1), 79-91. https://doi.org/10.58667/sedder.1269187
Coşkun Şimşek, M., İnam, B., Yebrem Özdamar, S., & Turanlı, N. (2022). Matematik öğretmenlerinin gözünden uzaktan eğitim. *Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 37*(2), 629-653. https://doi.org/10.16966/HUJE.2021073768
Dolaş, C. G. (2023). *Covid-19 pandemi sürecinde ilköğretim matematik öğretmenlerinin online ders işleyiş süreçlerine ilişkin görüşleri* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Marmara Üniversitesi, Eğitim Bilimleri Enstitüsü.
Duman, F., & Kartal, Ş. (2023). Sınıf öğretmenlerinin uzaktan eğitim yoluyla matematik öğretimi sürecine yönelik görüşleri. *Kapadokya Eğitim Dergisi,* 21-39.
Duran, S., Berk, Ş., & Köklü, O. (2023). Matematik öğretmenlerinin görüşlerine Göre ortaokul matematik öğretiminde karşılaşılan sorunların ve çözüm önerilerinin incelenmesi. *Marmara Üniversitesi Atatürk Eğitim Fakültesi Eğitim Bilimleri Dergisi, 57*(57), 128-150. https://doi.org/10.15285/maruaebd.1181564
Durmuş, M. A., & Güneş, G. (2023). Sınıf öğretmenlerinin uzaktan eğitimle yürüttüğü matematik dersleri. *Bayburt Eğitim Fakültesi Dergisi, 18*(39), 864-895. https://doi.org/10.35675/befdergi.1281954
Düzgün, S., & Sulak, S. E. (2020). Öğretmen adaylarının COVID-19 pandemisi sürecinde uzaktan eğitim uygulamalarına ilişkin görüşleri. *Milli Eğitim Dergisi, 49*(1), 619-633. https://doi.org/10.37669/milliegitim.787874
Ergen, Y., Özışık, E., & Bülbül, Y. (2022). Uzaktan eğitim sürecinde sınıf öğretmenlerinin matematik öğretimine ilişkin deneyimleri. *Cumhuriyet International Journal of Education, 11*(2), 288-300. https://doi.org/10.30703/cije.960710
Erşen, Z. B., & Yumak, Y. (2021). Matematik öğretmeni adaylarının covid-19 pandemisi sürecindeki uzaktan eğitim uygulamalarına yönelik görüşleri. *Cumhuriyet International Journal of Education, 10*(4), 1449-1470. https://doi.org/10.30703/cije.853688
Esendemir, O. (2023). Covid-19 pandemi döneminin ilkokul matematik eğitimi sürecine yansımaları: Uygulamalar, yeterlilikler ve karşılaşılan sorunlar. *Eğitim Ve İnsani Bilimler Dergisi: Teori Ve Uygulama, 14*(27), 197-223. https://doi.org/10.58689/eibd.1264229
Kaya, Z., Erden, O., Çakır, H., & Bağırsakçı, N. B. (2004). Uzaktan eğitimin temelleri dersindeki uzaktan eğitim ihtiyacı ünitesinin web tabanlı sunumunun hazırlanması. *The Turkish Online Journal of Educational Technology, 3*(3), Article 20.
Kilit, B., & Güner, P. (2021). Matematik derslerinde web tabanlı uzaktan eğitime ilişkin matematik öğretmenlerinin görüşleri. *Anemon Muş Alparslan Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 9*(1), 85-102. https://doi.org/10.18506/anemon.803167
Korkmaz, E. (2021). Covid-19 pandemi döneminde uzaktan eğitim ve Google Classroom: İlköğretim matematik öğretmen adaylarının tutum ve görüşleri. *Atatürk Üniversitesi Kazım Karabekir Eğitim Fakültesi Dergisi*, (42), 207-228. https://doi.org/10.33418/ataunikkefd.831517
Özçakır Sümen, Ö. (2021). Uzaktan eğitim sürecinde ilkokul matematik dersleri nasıl işleniyor? Bir durum çalışması. *Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 8*(3), 662-674.
Özdemir Baki, G., & Çelik, E. (2021). Ortaokul matematik öğretmenlerinin uzaktan eğitimde matematik öğretim deneyimleri. *Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi, 12*(1), 293-320. https://doi.org/10.51460/baebd.858655
Özer, B. (1990). Uzaktan eğitim sisteminin evrensel yapısı. *Kurgu Anadolu Üniversitesi İletişim Bilimleri Fakültesi Uluslararası Hakemli İletişim Dergisi*, (8), 569–594.
Özyıldırım-Gümüş, F. (2023). Matematik öğretmen adaylarının gözünden uzaktan eğitim sürecinde ortaokullardaki matematik dersleri. *TEBD, 21*(1), 148-166. https://doi.org/10.37217/tebd.1179323
Sabırlar, T., & Dikici, A. (2024). Uzaktan eğitim sürecinde ortaöğretim matematik derslerinin yürütülmesine ilişkin matematik öğretmenlerinin görüşleri. *Erciyes Eğitim Dergisi, 8*(1), 1-30. https://doi.org/10.32433/eje.1330541

Sevimli, E. (2022). Çevrim içi sınıflarda mevcut matematik ders kitaplarının kullanışlılığı: Ortaokul matematik öğretmenlerinin görüşleri. *Çukurova Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, *51*(1), 473–500. https://doi.org/10.14812/cufej.883726

Tican, C., & Toksoy Gökoğlu, S. D. (2021). Ortaokul matematik öğretmenlerinin uzaktan eğitim matematik dersine ilişkin görüşleri. *Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, *8*(2), 767-786. https://doi.org/10.21666/muefd.996395

Varol, A., & Türel, Y. K. (2003). Çevrimiçi uzaktan eğitimde iletişim modülü. *The Turkish Online Journal of Educational Technology (TOJET)*, *2*(1).

Yığ, K. G. (2023). Acil uzaktan eğitim sürecinde matematik eğitimi öğretmen adaylarının süreç deneyimlerinin incelenmesi: Yeni normale ilişkin yansımalar. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, (65), 549-577. https://doi.org/10.21764/maeuefd.1162499

Yurtbakan, E., & Aydoğdu İskenderoğlu, T. (2022). Covid-pandemi döneminde sınıf öğretmenlerinin uzaktan canlı dersle matematik öğretimi deneyimleri. *Milli Eğitim Dergisi*, *51*(234), 1733-1754. https://doi.org/10.37669/milliegitim.822566

MUSİQİNİN TƏDRİSİNDƏ MUSİQİLİ IFADƏ VASİTƏLƏRİNİN TƏRBİYƏVİ İMKANLARI

EDUCATIONAL POSSIBILITIES OF MUSICAL MEANS OF EXPRESSION IN MUSIC TEACHING

Dr. Qəribova Arifə Hacıbaba qızı,
Pedaqogika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Azərbaycan Döblət Pedaqoji Universiteti
"İncəsənət və fiziki tərbiyə" fakültəsi
"Musiqi və onun tədrisi texnologiyası" kafedrası
Azərbaycan, Bakı şəhəri, Üzeyir Hacıbeyli küçəsi, 68
ORCİD.ORQ / 0000-0001-8059-5566

XÜLASƏ

Məqalədə musiqi ifadəlik vasitələrinin insanlara təsiri imkanları araşdırılır və onların böyüməkdə olan gənc nəslin bir şəxsiyyət kimi yetişməsində əhəmiyyəti göstərilir. Məqalədə qeyd olunur ki, musiqi əsərlərinin bədii obrazı yalnız musiqi elementlərinin, yəni bütün ifadəlik vasitələrinin vəhdətdə olması ilə yaradıla bilər. Yalnız bu zaman dinləyicilərə güclü təsir göstərməyə qadir olar. Sonda belə nəticəyə gəlinir ki, musiqi ifadəlik vasitələri məktəblilərin dünyagörüşünün zənginləşməsi, bədii zövqünün formalaşdırılması, gözəlliyi duyma bacarığının əldə olunması, təxəyyül və fantaziyalarının inkişafı, təfəkkür və qavramanın fəallaşdırılması, onlarda insani-mənəvi keyfiyyətlərin tərbiyəsi işində güclü bir vasitə kimi istifadə olunmalıdır.

Açar sözlər: musiqi tərbiyəsi, ifadəlik vasitələri, melodiya, ritm, metr, lad, harmoniya, tembr

ABSTRACT

The article examines the possibilities of the influence of musical expressive means on people and shows their importance in the development of the growing young generation as a personality. The article notes that the artistic image of musical works can be created only with the unity of musical elements, that is, all expressive means. Only then can it have a strong impact on the listeners. In the end, it is concluded that musical expressive means should be used as a powerful tool in enriching the worldview of schoolchildren, forming their artistic taste, acquiring the ability to feel beauty, developing their imagination and fantasies, activating thinking and perception, and educating human and spiritual qualities in them.

Key words: music education, means of expression, melody, rhythm, meter, pitch, harmony, timbre

GİRİŞ

Tərbiyə işinə kompleks yanaşma mürəkkəb bir prosesdir ki, burada elmin əsaslarına maksimal yiyələnmə, biliklərin geniş diapazonu və onların tətbiqi, hər hansı bir sahədə yüksək ixtisaslaşma, şəxsi keyfiyyətlərin inkişafı kimi məsələlərin həlli nəzərdə tutulur. Musiqi təlimi

estetik tərbiyənin ən vacib bir hissəsidir. Bu gün müasir pedaqoji elm inkişafedici təlimin yolunu fəal məqsədyönlü fəaliyyət vasitəsilə şagirdlərin tərbiyələndirilməsi kimi müəyyənləşdirir. «Musiqi tərbiyəsinin nəzəriyyəsi dedikdə, tərbiyə olunanın musiqi inkişafının idarə edilməsində tələb olunan bilik və anlayışlar sistemi, onların musiqi ilə təmasda olduğu prosesdə qazanılan mənəvi-estetik hisslərin tərbiyəsi nəzərdə tutulur» (5; səh.4).

Bədii tərbiyə, o cümlədən də musiqi tərbiyəsi, məktəblinin hərtərəfli inkişafında əvəzsiz rol oynayır. Musiqi tərbiyəsinin əsas məqsədi – öz vətəni üçün hərtərəfli inkişaf etmiş dəyərli vətəndaşın ərsəyə gətirilməsi və gənc nəslin musiqini estetik baxımdan mənimsəyə bilməsidir. Ümumtəhsil məktəblərində kütləvi musiqi tərbiyəsinin əsas məqsədi, təkcə musiqinin öyrənilməsi deyil, onun vasitəsilə dühalana bilməsi və ən başlıcası da mənəviyyata yiyələnməsindən ibarətdir. Bu günkü məktəblini tərbiyələndirməklə biz gələcəyimizi formalaşdırmış oluruq.

ARAŞDIRMA

Hər bir sənət növünün həyatı əks etdirə bilən həmin incəsənətə məxsus ifadə vasitələri vardır. Yazıçı və şairlər bunun üçün sözlərdən, bu sözlərin bu və ya digər ardıcıllıqla müqayisəsindən istifadə edir. Rəssamlar müəyyən bir obrazı əks etdirmək üçün rənglərin çalarlarından istifadə edirlər. Bəstəkarlar isə musiqi əsərlərini yaradarkən səs birləşmələrindən, melodiya, ritm, temp, dinamik nüanslardan, lad və harmoniyadan, müxtəlif registrlərin müqayisəsindən və s. istifadə edirlər.

Musiqinin bütün elementləri – intonasiya və melodiya, ritm, temp və metr, forma, harmoniya və polifoniya, tembr və dinamik çalarlar, ştrixlər və aksentləşmə bir-biri ilə ayrılmaz şəkildə təzahür edirlər.

Musiqi əsərinin mahiyyəti ilk növbədə onun melodiyasında öz əksini tapır. Musiqi əsərinin canı onun melodiyasındadır. Lakin melodiyanı ritm, ölçü və tempdən məhrum vəziyyətdə təsəvvür etmək olmur. Çünki belə olan halda, melodiya yox olur və sadəcə heç bir məna kəsb etməyən səs yığımı ortaya çıxır. Musiqi prosesini yaradan melos, intonasiya ritm, ölçü və temp ilə elə əsaslı şəkildə bir-birinə bağlıdır ki, bunlarsız melodik inkişaf baş verə bilməz.

Melodiyanı lad və harmoniyadan, müəyyən tembr və ştrixlərdən də kənarda təsəvvür etmək mümkün deyil. Hər bir dinləyici musiqinin qəmli və ya şən xarakterini ayırd edə bilir. Bu xarakteri musiqiyə digər bir ifadəlik vasitəsi olan onun ladı – major, minor və yaxud milli ladlar verir. Bəstəkarlar şən əhval-ruhiyyəyə malik olan obrazı yaratmaq istəyirsə majordan, qəmli xarakter üçün isə minordan istifadə edirlər. Lakin minor ladında yazılmış bir melodiya rəqsvari 6/8 ölçüsündə və cəld tempdə olarsa onda həmin əsər şən xarakterli olur. Eyni zamanda major

ladında yazılmış matəm tipli əsərlərə də rast gəlmək mümkündür. Demək ki, musiqi əsərlərinin məzmunu onların metr (ölçü) və tempindən çox asılıdır. Hər bir hərəkət, o cümlədən də musiqinin hərəkəti müəyyən sürətə malıkdir. Musiqidə bu qanun tempin mövcudliğu ilə ifadə olunur. Əsərin tempindən kənara çıxmaq halları onun bədii məzmununa xələl gətirir. Ona görə də bəstəkarlar əsərin tempini özləri əsərin əvvəlində göstərir.

Bəstəkarlar müəyyən bir obrazı yaratmaq üçün ona uyğun gələn tembrlərdən də istifadə edirlər. Məsələn, "Lirik rəqs" pyesi üçün F.Əmirov fortepiano alətinin tembrindən istifadə etmişdir. Sözsüz ki, həmin əsərin orqanda və yaxud trombonda ifa edilməsi bəstəkarın yaratdığı obrazın düzgün əks olunmasına maneəçilik törədə bilər.

Ədəbi janrda olduğu kimi musiqi əsərlərində də hadisələrin sadə inkişafına rast gələ bilərik. Belə əsərlərdə bir surət əks olunur. Bəstəkarlar bunun üçün bir hissəli quruluşlardan istifadə edirlər. Daha çox və mürəkkəb xarakterli surətlər üçün iki, üç hissəli, rondo, variasiya, sonata və s. quruluşlardan istifadə edilir. Deməli, əsərin quruluşu onun məzmununun düzgün əks olunmasında böyük əhəmiyyət kəsb edir. Yalnız forma və muzmunun vəhdəti nəticəsində mükəmməl bədii əsər ortaya çıxa bilər.

Beləliklə, musiqi əsərlərinin bədii obrazı yalnız musiqi elementlərinin, yəni bütün ifadəlik vasitələrinin vəhdətdə olması ilə yaradıla bilər və yalnız bu zaman dinləyicilərə güclü təsir göstərməyə qadir olar.

Şagirdin bədii zövqünün formalaşması məsələsini qarşısına qoyan yaxşı müəllim nəinki incəsənətdəki gözəlliyə reaksiya verir, həmçinin bu gözəlliyin məğzini anlatmağa çalışır. Estetik dəyərləndirmə bu kimi hallarda müəllif tərəfindən istifadə olunan musiqi iifadəlik üsullarının nəzərdən keçirilməsi ilə möhkəmlənir.

Sənət əsərinin dərindən başa düşmək üçün müəyyən hazırlığın olması çox vacib məsələdir. Məktəbli Nizaminin "Sirrlər xəzinəsi" və yaxud "İskəndərnamə" əsərini ilk dəfə oxuyanda onun dərin mənasını dərhal başa düşə bilməz. Çünki məktəblinin həyat təcrübəsi və inkişaf etmiş zövqü olmadığından həmin əsərlərin dərin mənasını başa düşmür və onun keyfiyyətini dəyərləndirə bilmir. Lakin məktəbli böyüdükcə və onun həyat təcrübəsi artdıqca, o daha diqqətli olur bədii əsərlərin əhəmiyyətini dərk etmək, gözəlliyini duymaq qabiliyyətinə malik olur.

Eləcədə musiqi də öz sirrlərini dərhal dinləyiciyə açmır. Musiqi zövgü, musiqini başa düşmək qabiliyyəti yavaş-yavaş, daha doğrusu, tədricən formalaşır. Musiqi əsərinin məzmununu başa düşmək üçün dinləyicinin ümumi mədəniyyəti və xüsusi hazırlığı olmalıdır. Bu məsələdə dinləyicinin musiqini dinləyərkən əhval-ruhiyyəsinin əsərin məzmununa uyğun gəlməsindən

və dinləyicinin diqqətinin fəallığından çox şey asılıdır. Bəstəkarın yaratdığı əsərdə onun hissləri öz əksini tapır. Dinləyici isə həmin musiqi əsərinidinlədikdə bəstəkarın əks etdirdiyi hissləri keçirməyə başlayır. Bu isə o vaxt baş tutur ki, dinləyici bəstəkar əsərini başa düşməyə hazır olsun.

Qeyd etdiyimiz kimi, hər bir musiqi əsərinin tərbiyəvi təsiri onda istifadə olunan bütün ifadəlik vasitələrinin – intonasiya-melodik quruluş, ritm, metr, temp, lad, tembr, dinamika və kompozisiya quruluşunun (formasının) vəhdətdə olması ilə yaradıla bilər. Məsələn, "Qaçaq Nəbi" xalq mahnısında 6/8 ölçüsü, rəqs xarakteri, yüksək tessitura xalq qəhrəmanının obrazının açılmasında böyük əhəmiyyətə malıkdir. Göstərdiyimiz ifadə vasitələrinin biri dəyişərsə, onda istənilən obraz alına bilməz. Bütün bu ifadə vasitələri lazımi əhval-ruhiyyə yaradaraq uşaqlarda qəhrəmanlıq, cəsurluq, vətənə sevgi hisslərini tərbiyə edir.

Yuxarıda dediyimiz kimi, formasız məzmun, məzmunsuz formanın mövcudluğu mümkün deyildir. Ona görə də uşaqlar musiqi əsərlərini başa düşmək üçün musiqi quruluşları haqqında bilikləri qavramalıdırlar. Sonata, simfoniya, konsert və digər mürəkkəb musiqi janrları başa düşmək üçün proqramlı, yəni məzmunu əvvəlcədən dinləyiciyə məlum olan əsərlərin uşaqlara dinlədilməsinin böyük əhəmiyyəti vardır. Məsələn, Ü.Hacıbəylinin "Cəngi", "Aşıq sayağı"; Q.Qarayevin "Uşaq pyesləri"; F.Əmirovun "12 miniatür" fortepiano pyesləri, "Nizami" simfoniyası; S.Hacıbəyovun "Sülh uğrunda" simfonik poeması və s. proqramlı musiqi nümunələri dərsin musiqini dinləmə hissəsində istifadə edilə bilər. Bütün bu əsərlər yüksək bədii ilə fərqlənərəq, uşaqların zövqünü formalaşdırmaqla bərabər onlarda müxtəlif insani keyfiyyətlərin tərbiyəsi üçün də faydalıdır.

Proqramlı musiqi çox zaman müəyyən bir ədəbi süjetlə əlaqədar olur. Məsələn, Rimski-Korsakovun "Şəhrzad" simfonik süitası "1001 gecə" ərəb nağılları əsasında yaranmışdır. Təsviri sənət nümunələrinin təsiri altında yaranmış proqramlı musiqi əsərlərinə də rast olunur. Məsələn, Musorqskinin "Sərgidən şəkillər" fortepiano pyesləri rəssam Qartmanın rəsm sərgisi salonundakı əsərlərin əsasında yaradılmışdır.

Proqramlı musiqi yaradan bəstəkarlar çox zaman koloristik priyomlardan, səslərin təsviri imkanlarından istifadə edir. Paroqramlı musiqi əsərlərin qavranılması uşaqları proqramsız (yəni qeyri-müəyyən süjetə malik olan) əsərlərin mənimsənilməsi prosesinə hazırlayır. Uşaqlar proqramsız musiqidə də müəyyən bir proqramlılıq axtarmağa başlayır və təxəyyüllərində müəyyən bir süjet canlandırırlar ki, bu da fərdi yaradıcılığın başlanğıcı ola bilər.

Uşaqlarda musiqinin qavrama proseslərini fəallaşdırmaq üçün onlara musiqini dinlədikdən sonra bir sıra suallar verilməlidir: Əsəri yazmaqla bəstəkar nə demək istəmişdir? Dinlədiyiniz

musiqi əsərindəki məzmun sizin təsəvvürünüzdə yaranan surətə uyğun gəlirmi? Dinlədiyiniz musiqi əsərində sizin hələ dərk etmədiyiniz problem varmı? Bəstəkar nə üçün bu əsəri yazmış və dövrünün hansı cəhətləri onun gözləri önündə canlanmışdır? və s. buna oxşar suallar. İlk baxışdan o qədər də çətin görünməyən bu suallara cavab vermək üçün musiqi əsərini təkrar-təkrar dinləmək, musiqi haqqında müəyyən biliklərə malik olmaq lazımdır. Məhz bu halda musiqi janrları uşaqlar tərəfindən qavranıla bilər.

Musiqi heç bir söz istifadə etmədən, yalnız musiqi ifadəlik vasitələrilə dinləyicidə istənilən hissləri yarada bilir və bununla da onu tərbiyə edir. Lakin qəlbin dili olan musiqi çox şeyi deyə bilsə də, o, konkret deyildir və onun məzmununu başa düşmək üçün çox zaman fantaziyanın köməyindən istifadə etmək lazım gəlir. Musiqiyə ən yaxın olan incəsənət növü poeziyadır. Söz əvvəl əqlə, ondan sonra isə hisslərə təsir edir. Musiqidə isə bunun tam əksi baş verir. Vokal əsərlərində, mahnılarda musiqi və söz vəhdət təşkil edərək əsərlərin təsir qüvvəsini daha da artırır. Buradan da belə nəticəyə gəlmək olar ki, hər bir incəsənət növünün sərbəstliyi nisbi xarakter daşıyır və müxtəlif incəsənət növlərinin qarşılıqlı əlaqəsi ilə daha da möhkəmlənir. Buna görə də mahnılar vasitəsi ilə uşaqların tərbiyələndirilməsi prosesi daha tez və asan olur. Bu iş musiqi dərsinin mahnı oxuma bölməsində həyata keçirilir.

NƏTİCƏ

Beləliklə, musiqi ifadəlik vasitələri bir-birilə vəhdətdə dinləyicilərə təsir göstərərək, məktəblilərin dünyagörüşünün zənginləşməsi, bədii zövqünün formalaşdırılması, gözəlliyi duyma bacarığının əldə olunması, təxəyyül və fantaziyalarının inkişafı, təfəkkür və qavramanın fəallaşdırılması, onlarda insani-mənəvi keyfiyyətlərin tərbiyəsi işində güclü bir vasitə kimi istifadə olunmalıdır.

ƏDƏBİYYAT:

1. F.Hidəyətova. Musiqi və vətəndaşlıq tərbiyəsi. Bakı: “Şirvannəşr”, 2009, 188 səh.
2.. J.Qədimova. Musiqinin tədrisi metodikası. Bakı: ADPU mətbəəsi, 2007, 323 səh.
3. J.Qədimova. Musiqi pedaqogikası: tarixilik və müasirlik. Bakı:“MMC” nəşriyyatı, 2012, 224 səh.
4. A.H. Qəribova. Musiqinin tədrisi metodikası. Bakı: ADPU mətbəəsi, 2021, 163 səh.
5. O.Rəcəbov.G.Məmmədova. «Pedaqoji təmayüllü orta ixtisas və ali məktəblərdə musiqi tədrisinin metodikası».Bakı : “Şirvannəşr”, 2009, 204 səh.

ŞAGİRDLƏRDƏ MUSİQİLİ-ESTETİK ZÖVQÜN FORMALAŞDIRILMASI PROBLEMLƏRİ

PROBLEMS OF FORMING MUSICAL-AESTHETIC TASTE IN STUDENTS

Qəribova Arifə Hacıbaba qızı,
Pedaqogika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Azərbaycan Döblət Pedaqoji Universiteti
"İncəsənət və fiziki tərbiyə" fakültəsi
"Musiqi və onun tədrisi texnologiyası" kafedrası
Azərbaycan, Bakı şəhəri, Üzeyir Hacıbeyli küçəsi, 68
ORCİD.ORQ / 0000-0001-8059-5566

XÜLASƏ

Məqalə "estetik zövq" və "musiqi zövqü" anlayışlarının təhlilinə və bunların şagirdlərdə formalaşdırılması probleminə həsr edilmişdir. Burada qeyd olunur ki, məktəblilərin musiqili-estetik zövqü özündə rasional və emosional cəhətləri birləşdirən toplanmış musiqili-estetik təcrübə, eşidərək qavrama və fəaliiyət təcrübəsi ilə, həmçinin musiqili-estetik idealları barəsində "gözəllik etalonu" kimi formalaşmış təsəvvürlər və anlayışlar ilə və musiqi sənətinə qarşı fəal dəyərləndirici münasibət (adekvat təhlil, obyektiv müqayisə, estetik mülahizə) ilə xarakterizə olunur. Uşaqların musiqi zövqlərinin formalaşmasına düzgün seçilmiş repertuar və musiqini qavrama prosesinin pedaqoji cəhətdən düzgün qurulması əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir.

Açar sözlər: musiqi tərbiyəsi, estetik zövq, dəyərləndirici münasibət

ABSTRACT

The article is devoted to the analysis of the concepts of "aesthetic taste" and "musical taste" and the problem of their formation in students. It is noted here that the musical-aesthetic taste of schoolchildren is characterized by the accumulated musical-aesthetic experience, combining rational and emotional aspects, the experience of auditory perception and activity, as well as by the formed ideas and concepts about musical-aesthetic ideals as a "standard of beauty" and an active evaluative attitude towards musical art (adequate analysis, objective comparison, aesthetic judgment). The formation of children's musical tastes is significantly influenced by the correctly selected repertoire and the pedagogically correct construction of the process of perception of music.

Key words: musical education, aesthetic taste, evaluative attitude

GİRİŞ

Estetik tərbiyə insanın onu əhatə edən dünyanın duyğu-obrazlı formada qavramasını inkişaf etdirir. Estetik tərbiyə ən başlıca emosional sahəyə təsir göstərir, lakin bununla yanaşı o qaçılmaz surətdə həm də insanın təfəkkürünə, əqidəsinə, anlayışlarına da təsir edir. Gənc nəslin formalaşmasında, onun nəcib mənəvi keyfiyyətlərinin inkişafında estetik tərbiyənin rolu

xüsusilə qeyd olunmalıdır. Bildiyimiz kimi, uşaqların estetik tərbiyəsi ədəbiyyat, musiqi və təsviri sənət vasitəsilə həyata keçirilir. Lakin məhz musiqi bilavasitə emosiya sahəsiilə bağlı olduğu üçün estetik tərbiyənin ən geniş təsirə malik qüvvəsidir.

Musiqi insanların qəhrəmanlıq, vətəndaşlıq ideyalarını, onların təntənə, bayram və sevinclərini, eləcə də kədər, qüssə və nifrətlərini əks etdirə bilir. Musiqi daim məna daşımaqla, həm ümumilikdə cəmiyyətin, həm də ayrıca fərdin şəxsi həyatından bəhs edə bilir. Musiqinin vasitəsilə gerçəklik həqiqi, realistik şəkildə verildikdə, onda belə musiqi dinləyiciyə estetik zövq aşılamış olur.

Müasir dövrdə məktəblilərin mənəvi tərbiyəsində musiqinin oynadığı rol aydın şəkildə hiss olunur. Musiqi uşaqların şüuruna dərindən nüfuz edərək, onların fəaliyyətinin xarakter və xüsusiyyətlərinə təsir etmək imkanına malikdir. Buna görə də uşaqların musiqi zövqünü korlamamaq üçün onları bayağı musiqidən qorumaq lazımdır. Gözəl, mənalı musiqi uşaqları həyacanlandırmaq və şənləndirməklə bərabər onların qarşısında həyat hadisələrinin sosial mahiyyətini açmalı, onları ətraf aləmi ciddi şəkildə müşahidə etməyə vadar etməlidir.

ARAŞDIRMA

Musiqi tərbiyəsinin qarşıya qoyduğu əsas məsələlərdən biri gənc nəsildə yüksək bədii musiqili-estetik zövqün aşılanmasıdır. Bəs musiqili-estetik zövq nə deməkdir?

Estetika elminə dair lüğətlərdə biz “estetik zövq” kateqoriyasının tərifini görürük: estetik zövq – insanın həzz almaq və ya almamaq qabiliyyətidir (“xoşlanıram” və ya “xoşlanmıram”), müxtəlif estetik obyektləri differensial qavramaq, gerçəklikdə və sənətdə “gözəlliyi” eybəcərlikdən fərqləndirmək, estetik və qeyri-estetik məhfumları ayırd etmək, hadisələrdə faciəvi və komik cəhətləri aşkar etmək bacarığıdır. Estetik zövq bizim simpatiyaların və antipatiyaların, meylliklərimizin və rədd etdiklərimizin sistemi olaraq bizim dünyagörüşümüzü, mədəniyyət səviyyəmizi, dünyaya estetik yanaşmamızı əks etdirir. Buna görə də şəxsiyyətin zövqlərində onun şüurunun ideoloji istiqaməti və etiqadı aşkar görünür.

Qeyd etməliyik ki, həmçinin “musiqi zövqü” anlayışı da mövcuddur. Müasir elmi ədəbiyatda “musiqili-estetik zövq” kateqoriyasına fəlsəfi-sosioloji aspektdən ümuminın və fərdinin, obyektivliyin və subyektivliyin, rasionallığın və emosionallığın vəhdəti kimi baxılır. Pedaqoji və psixoloji baxımdan isə – dinləyicinin musiqi mədəniyyətinin əksi olduğu, formalaşdırıla bilən musiqinin gözəlliyini anlamaq, dəyərləndirmək və həzz almaq qabiliyyəti kimi.

Y.Əliyevin fikrincə “musiqi zövqü altında musiqinin gözəlliyindən həzz alma, onun məzmunundan həyacanlanma, musiqi sənətinin nümunələrini qiymətləndirmə, ən dəyərlilərə

üstünlük vermə və eybəcərlərindən imtina etmə bacarığı başa düşülür.” (6; səh. 12). Başqa sözlə desək, musiqi zövqü estetik zövqün xüsusi bir komponentidir.

Estetik zövqün strukturunda üç başlanğıc mövcuddur: birincisi – estetik zövq öz mahiyyətinə görə estetik fəaliyyətin və dünyanın estetik şəkildə insan tərəfindən qavranılmasının özünəməxsus bir tənzimləyicisi kimi çıxış edir; ikincisi – zövq kamilliyin və qeyri-mükəmməlliyin kriterisi kimi çıxış edir; üçüncüsü – zövq estetik simpatiyalarının, meylliklərin və antipatiyaların sistemi olaraq estetik tələbatları konkretləşdirir və müəyyənləşdirir. Lakin musiqili-estetik zövq eyni tərkibli anlayış deyil. Çünki müsiqi zövqünün emosional və məntiqi tərəfləri bir-birilə sıx bağlı və qarşılıqlı əlaqəlidir. Buna görə musiqi-estetik zövq – varlığın Gözəllik və yaxud Eybəcərlilik prizmasından qiymətləndirilməsi meyarıdır.

Musiqili-estetik zövqü xalq musiqisinin, musiqi klassikasının və müasir musiqinin ən yaxşı əsərlərinə qarşı fəal marağ, musiqi sənəti əsərlərindən həzz almaq bacarığı ilə xarakterizə olunur. Musiqi zövqü həmçinin musiqi əsərlərinə qarşı öz fikirlərini, münasibətini izah etmək bacarığı ilə də müəyyənləşdirilməlidir ki, bu münasibət musiqinin interpretasiyasında (yorumunda) öz nöqteyi nəzərinin təhlili və əsaslandırılması, musiqi sənətinin estetik dəyəri barəsində mühakimə aparma bacarığını nəzərdə tutur.

Məktəblilərdə musiqili-estetik zövqünün formalaşdırılması şüurlu şəkildə musiqi əsərinin dəyərli tərəfləri və çatışmazlıqları barəsində öz qiymətləndirici fikirlərini əsaslandırmaqdan başlanmalıdır. Şagirdlərin musiqi əsərlərinə qarşı dəyərləndirici mövqeyi onların maraq səviyyələrindən, musiqini dinləmək istəyi və tələbatlarından çox asılıdır. Öz dəyərləndirici mövqeyində uşaq “qiymətləndirmə etalonları”na söykənə bilər: intonasiya təcrübəsindən irəli gələn etalon, emosionallıqla bağlı etalon, estetik mülahizələr etalonu, maddi etalon və s. Özü də musiqininin dəyərləndirməsinin mövqeyi öz musiqi təəssüratlarının dərk edilməsi prosesində dəyişə bilər. Buna görə də musiqi dərslərində şagirdləri yüksək bədii səviyyəli əsərlərlə tanış etmək lazımdır ki, bunula onlarda yüksək bədii və musiqi zövqünü formalaşdırmış və inkişaf etdirmiş oluruq.

Kiçik, orta və yuxarı sinif məktəblilərində musiqi zövqünün əsasını dəyərləndirici qavrama, musiqi bilikləri və intonasiya təcrübəsi, həmçinin musiqili-qiymətləndirici fəaliyyət təşkil edir. Həm kiçik, həm orta, həm də yuxarı sinif şagirdlərində musiqi zövqünün strukturunun əsasını aşağıda adları çəkilən komponentlər təşkil edir:

- emosional və intellektual qavramada özünü göstərən maraq;
- dinləmə təcrübəsindən irəli gələn və musiqi-estetik ideala istiqamətlənən bədii cəhətdən əsaslandırılmış seçim;

- zövq meylliklərini müşayiət edən və həyacan təcrübəsinin mövcudluğundan xəbər verən musiqi-estetik həzz;
- düşünülmüş mənəvi mövqe və estetik dəyərlərlə xarakterizə olunan zövq meylliklərin mənəvi istiqamətləndirilməsi.

Zövq təzahürünün əsasını uşağın musiqi meylliklərinin emosional-estetik və bədii cəhətdən doğruldulmuş ifadəsi təşkil edir. Şagirdlərdə musiqi-estetik idealları barəsində möhkəm və dayanıqlı təsəvvürlərin yaradılması böyüməkdə olan şəxsiyyətin mənəvi, bədii və mədəni inkişafına imkan verir. İnkişaf etmiş musiqi zövqü insanın mədəniyyət səviyyəsinin göstəricisi kimi çıxış edərək, gələcəkdə insanın "həyat stilini" (yaşam tərzini), onun mənəvi qiymətləndirici istiqaməti sistemini formalaşdırır. Musiqili-zövqlü meylliklərin məzmunu kimi emosional-müsbət qavramanın və musiqi klassik nümunələrinin adekvat qiymətləndirilməsinin nəticələri çıxış edir ki, bunlar əsaslandırılmış estetik mülahizələrdə ifadə olunur.

Uşaqlarda hələ nə həyat təcrübəsi, nə də estetik zövq mövcud deyildir. Onlar yaşlı nəslə nisbətən incəsənətin həyatla əlaqəsini daha bəsit, daha primitiv şəkildə qəbul edir. Məhz buna görə də onların düzgün şəkildə istiqamətləndiriməsi, yüksək ideallara yiyələnə bilməsi işi olduqca vacib sayılır. Musiqi tərbiyəsinin uğurla həyata keçirilməsi üçün onu hərtərəfli, çoxşaxəli aparmaq lazımdır. Şagirdlərin musiqi zövqü – formalaşdırıla bilən şəxsiyyət keyfiyyətidir ki, o, uşağın musiqiyə qarşı fərdi dəyərləndirici münasibətinə əsaslanır.

Sözsüz ki, klassik repertuar qanuni olaraq uşaqların musiqi-estetik zövqünün tərbiyəsinin əsasını təşkil edir. Lakin yalnız belə musiqi üzərində tərbiyə olunmuş şagird digər üslublarda musiqini dərk edə, qavraya bilmir, məsələn xalq və ya müasir musiqini onun özünəməxsus lad və ritm yozumuyla. Buna görə də musiqi təlim-tərbiyə prosesində uşaq caz musiqisi, kino musiqisi, uşaqlar üçün müasir musiqi kimi janr və istiqamətlərə də xüsusi yer ayrılmalıdır.

Musiqi dərslərində zövqün inkişafı üçün lazımı, düzgün mühütün yaradılması mühüm rol oynayır. Musiqi-estetik zövqün formalaşdırılması – çox çətin və mürəkkəb bir prosesdir və musiqi müəllimini özündən obyektivliyi və geniş dünya görüşünü tələb edir. Əsl musiqi-estetik zövqünə yalnız dinləmə və qavramağa çox böyük diqqət yetirdikdə nail olmaq mümkündür.

Sosioloji tədqiqatlar göstərir ki, musiqi müasir gənclərin maraq dairəsində əsas yerlərdən birini tutur. Lakin problem bundadır ki, aşağı səviyyəli xarici və yerli musiqi repertuarına üstünlük verilir. Xalq musiqisinin yüksək bədii nümunələri və klassik musiqisinin şedevrləri gənclərin maraq dairəsindən kənarda qalır ki, bu əsərlər yüksək mənəvi potensiala, tərbiyəvi və inkişafedici imkanlara malikdir. Yeniyetmə mühitində geniş yer almış müasir musiqinin estrada mahnısı, "pop" kimi sırf əyləndirici istiqamətləri o qədər də estetik deyil, nə qədər

kommunikativ funksiyaları yerinə yetirir. Bununla yanaşı klassik, xalq və müasir akademik musiqi, habelə caz və rok musiqi əsərləri yeniyetmələrin diqqətindən kənar qalmışdır.

Şagirdlərin zövqünün tərbiyəsini onların yaş xüsusiyyətlərini nəzərə alaraq, yüksək bədii səviyyəsi olan əsərlər üzərində həyata keçirmək lazımdır. Uşaqlar əsl musiqini dinləməyi adət etsələr, yalnız bu zaman onlarda tədricən əsl bədii əsərləri dəyərləndirmə, onları bayağı, keyfiyyətsiz musiqidən fərqləndirmə bacarığı əldə olunar. Musiqi dərslərində müəllim репертуары тяртиб едяркян еля ясярляри сечмялідір ки, онлар ушагларда müəyyən vərdiş və bacarıqları inkişaf etdirərək eyni zamanda onların zövqünü və ideya etiqadını formalaşdırsın.

Musiqi zövqünün formalaşdırılması – musiqinin dinlənilməsi və onun qavranılmasından sonra musiqi barəsində emosional-duyğulu obrazların şüurda yaranması prosesidir. Musiqini qavrama və dinləmə zamanı müşahidə etmə, şübhəsiz, bədii dəyərləndirmə bacarığını inkişaf etdirir və zövqün yüksəlməsinə gətirib çıxarır. Estetik qavrama – insanın ətrafdakı əşyaların və hadisələrin gözəlliyini hiss etməsi, həmçinin gözəlliyi və eybəcərliyi, faciəvi və komikliyi, yüksək, ülvi və alçaq hissləri fərqləndirmək kimi xüsusi qabiliyyətdir. Musiqini qavrama estetik qavramanın xüsusi bir hissəsidir. Musiqini qavrayarkən insan onun gözəlliyini və digər tərəflərini (ritm, ölçü, temp, xarakterini və s.) hiss etməlidir, yəni sadəcə dinləmə hələ musiqili-estetik qavrama deyil.

Musiqini qavrama prosesinin inkişafını şagirdlərdə hissiyat aspektindən, yəni emosiyaların oyanışından başlamaq lazımdır. Şagirdlər tədricən müxtəlif janr və üslub, musiqidə təsvirçilik və ifadəlilik ilə tanış olmalı, bəstəkarların yaradıcılığını öyrənməli, xalq musiqisinin ifaçılıq xüsusiyyətləri və üslubları barəsində bilikləri toplamalıdırlar. Müəllim sistemli olaraq şagirdlərin bilik dairəsini genişləndirərək, lazımi musiqili-estetik təsəvvürləri və anlayışları verir, bunula da o, estetik cəhətdən inkişaf etmiş dinləyicini tərbiyə edir. Müəllim şagirdi düşünməyə, axtarmağa, məsələlərin həllini tapmağa vadar etməlidir.

NƏTİCƏ

Beləliklə, yuxarıda dediklərimizdən aşağıdakı nəticələrə gələ bilərik:

– Məktəblilərin musiqili-estetik zövqü özündə rasional və emosional cəhətləri birləşdirən toplanmış musiqili-estetik təcrübə, eşidərək qavrama və fəaliiyət təcrübəsi ilə, həmçinin musiqili-estetik idealları barəsində “gözəllik etalonu” kimi formalaşmış təsəvvürlər və anlayışlar ilə və musiqi sənətinə qarşı fəal dəyərləndirici münasibət (adekvat təhlil, obyektiv müqayisə, estetik mülahizə) ilə xarakterizə olunur.

– Uşaqların musiqi zövqlərinin formalaşmasına düzgün seçilmiş repertuar və musiqini qavrama prosesinin pedaqoji cəhətdən düzgün qurulması əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir.

– Şagirdlərin zövqünün formalaşmasının ilkin mərhələsi musiqi əsərinin mənası barəsində düşüncələrdə, müxtəlif dövrlərin və üslubların musiqi əsərlərinin qiymətləndirmək və müqayisə etmək bacarığında, musiqi nümulərinə dair şəxsi seçimlərin və meylliklərin arqumentə edilməsində təzahür edir.

– Musiqi təlim-tərbiyənin medodlar sistemi hələ qurulmalıdır ki, uşaqların dəyərləndirici fəaliyyətində onların müstəqilliyi və təşəbbüskarlığı tədricən artsın. Bu ilk növbədə uşaqların musiqi əsərlərinə qarşı şəxsi münasibətinin formalaşmasında və bu münasibəti mülahizələri irəli sürüməklə nümayiş etdirməkdə öz əksini tapmalıdır.

ƏDƏBİYYAT:

1. Ю.Б.Алиев. Настольная книга учителя-музыканта. Москва: «Владос», 2000, 189 с.
2. Багирова Т.А. Синкретизм искусств в воспитании индивида и социума. Bakı: “Elm”, 2007, 265 с.
3. Borçalı G. Məktəblilərin estetik mədəniyyətinin formalaşdırılması yolları. Bakı: ADPU mətbəəsi, 2013, 30 səh.
4. M.T. Əliyeva. Yaradıcı qabiliyyətlərinin inkişafı problemləri. Bakı: ADPU, 2022, 189 səh.
5. J.Qədimova. Musiqi pedaqogikası: tarixilik və müasirlik. Bakı:“MMC” nəşriyyatı, 2012, 224 səh.
6. Mehrabov, A.O. Azərbaycan təhsilinin müasir problemləri. Bakı: “Mütərcim”, 2007, 449 s.
7. V.C. Xəlilov. Məktəblilərə musiqi haqqında. Bakı: “Nərgiz” nəşriyyatı, 2002, 63 səh.

OSMANLI TOPLUMUNUN SİYER KİTAPLARINA RAĞBETİ

Doç. Dr. Esra YILDIZ
Yalova Üniversitesi, İlahiyat Fakültesi, İslam Tarihi ve Sanatları, Yalova, Türkiye
ORCID: 0000-0002-1236-7446

ÖZET

Osmanlı ilmiye teşkilatı, devletin dinî, hukukî ve eğitim kurumlarının işleyişinde merkezî bir konuma sahip olduğu gibi Osmanlı toplumunun ilmî ve kültürel hayatının şekillenmesinde de belirleyici bir rol üstlenmiştir. Müderris, kadı, kazasker, şeyhülislâm, müftü ve diğer ilmiye mensuplarının ilmî dünyalarının anlaşılması ise yalnızca kaleme aldıkları eserler veya resmî görevleri üzerinden değil, sahip oldukları şahsî kitap koleksiyonları üzerinden de mümkündür. Bu bağlamda tereke ve muhallefât kayıtları, ulemanın ölümünden sonra geride bıraktığı kitapları tespit etmeye ve böylece onların ilmî ilgileri, okuma çevreleri ve entelektüel yönelimleri hakkında değerlendirmelerde bulunmaya imkân veren önemli kaynaklardır.

Bu çalışma, Osmanlı ilmiye mensuplarının tereke kayıtlarında bulunan Hz. Muhammed'in hayatı, şahsiyeti, nübüvveti, şemâili, mucizeleri ve örnekliğini konu edinen eserleri merkeze almaktadır. Çalışmanın temel amacı, siyer literatürünün Osmanlı ulemasının şahsî kitap dünyasındaki yerini belirlemek ve terekelerdeki siyer eserlerinden hareketle ulemanın Hz. Peygamber'le kurduğu ilmî, dinî ve kültürel ilişkinin mahiyetini tartışmaktır. Bu kapsamda yalnızca klasik anlamda "siyer" veya "megāzî" başlığı altında değerlendirilen eserler değil; şemâil, hasâis, delâilü'n-nübüvve, mevlid, hilye ve Hz. Peygamber merkezli dinî-edebî eserler de geniş anlamda siyer kültürünün unsurları olarak dikkate alınmaktadır.

Çalışmada tereke kayıtları içerik analizi yöntemiyle ele alınmakta; eserlerin müellifleri, türleri, tekrar sıklıkları, nüsha değerleri ve tereke sahiplerinin ilmiye hiyerarşisindeki konumları karşılaştırılmaktadır. Böylece siyer kitaplarının yalnızca birer biyografik kaynak olmadığı; Osmanlı ulemasının peygamber tasavvurunu, dinî duyarlılığını, ilmî geleneğini ve kitap kültürünü yansıtan çok katmanlı nesneler olduğu ileri sürülmektedir. Çalışma aynı zamanda tereke kayıtlarının düşünce, zihniyet ve okuma tarihi çalışmalarında kullanılmasının imkân ve sınırlarını tartışmaktadır.

Anahtar Kelimeler: İslam Tarihi, Osmanlı İlmiye Teşkilatı, Ulema, Tereke, Muhallefât, Siyer, Hz. Muhammed, Kitap Kültürü.

THE OTTOMAN SOCİETY'S ENGAGEMENT WİTH SĪRA LİTERATURE

ABSTRACT

The Ottoman learned establishment (ʿilmiyye) occupied a central position in the functioning of the Empire's religious, legal, and educational institutions and played a decisive role in shaping the intellectual and cultural life of Ottoman society. The scholarly world of professors (mudarris), judges (qāḍīs), chief military judges (qāḍī ʿaskars), shaykh al-Islāms, muftis, and other members of the ʿilmiyye, however, can be understood not only through the works they authored or the official positions they held, but also through their personal book collections. In this respect, probate inventories (tereke) and estate records (muhallefāt) constitute valuable sources for identifying the books left behind by members of the learned establishment after their deaths and, consequently, for assessing their scholarly interests, reading environments, and intellectual orientations.

This study focuses on works found in the probate inventories of members of the Ottoman ʿilmiyye that deal with the life, personality, prophethood, physical and moral characteristics (shamāʾil), miracles, and exemplary conduct of the Prophet Muhammad. Its primary aim is to determine the place of sīra literature within the personal libraries of Ottoman scholars and, on the basis of the sīra works recorded in their estates, to examine the nature of the scholarly, religious, and cultural relationship that the Ottoman learned elite established with the Prophet. Accordingly, the study considers not only works conventionally classified under the categories of "sīra" or "maghāzī," but also works on shamāʾil, khaṣāʾiṣ, dalāʾil al-nubuwwa, mawlid, and hilya, as well as other religious and literary works centred on the Prophet Muhammad, as constituent elements of sīra culture in a broader sense.

Employing content analysis, the study examines probate inventories by comparing the authorship, genres, frequency of occurrence, manuscript values, and the positions occupied by estate owners within the hierarchy of the ʿilmiyye. In doing so, it argues that sīra books should not be regarded merely as biographical sources; rather, they constitute multilayered cultural objects that reflect Ottoman scholars' conceptions of the Prophet, religious sensibilities, scholarly traditions, and book culture. The study also discusses both the potential and the limitations of using probate inventories as sources for the history of thought, intellectual history, and the history of reading.

Keywords: Islamic History, Ottoman Learned Establishment, ʿUlamāʾ, Probate Inventories, Muhallefāt, Sīra, Prophet Muhammad, Book Culture.

GİRİŞ

Osmanlı tarih yazıcılığında ilmiye teşkilatı uzun süre daha çok kurumsal yapısı, medrese sistemi, müderrislik, kadılık, kazaskerlik ve şeyhülislâmlık gibi makamları, tayin ve terfi usulleri ile devlet teşkilatı içerisindeki konumu bakımından incelenmiştir. Bununla birlikte son yıllarda gelişen sosyal ve kültürel tarih araştırmaları, ilmiye mensuplarının yalnızca devlet görevlileri olarak değil, gündelik hayatları, ekonomik durumları, aileleri, evleri, eşyaları, kitapları ve şahsî ilgileri bulunan tarihsel aktörler olarak ele alınmasına imkân sağlamıştır. Bu yaklaşımın en önemli kaynak gruplarından birini tereke ve muhallefât kayıtları oluşturmaktadır.

Tereke kayıtları, vefat eden kişinin geride bıraktığı mal varlığının miras hukuku çerçevesinde tespit edilmesi ve mirasçılar arasında paylaştırılması amacıyla düzenlenmiştir. Bu kayıtların temel işlevi hukukî ve malî olmakla birlikte ihtiva ettikleri ayrıntılar onların tarih araştırmaları bakımından çok daha geniş bir kaynak değerine sahip olmasını sağlamaktadır. Bir kişinin evinden kıyafetlerine, mutfak eşyalarından silahlarına, gayrimenkullerinden alacak ve borçlarına kadar uzanan mal varlığının kaydedilmesi, terekeyi adeta kişinin ölüm anında çekilmiş maddî bir fotoğrafına dönüştürmektedir. İlmiye mensuplarının terekelerinde ise bu fotoğrafın en dikkat çekici unsurlarından birini kitaplar meydana getirmektedir.

Ulemanın kitapları, onların meslekî kimliğinin tabii bir parçasıdır. Bir müderrisin, kadının, kazaskerin veya şeyhülislâmın sahip olduğu kitaplar, hayatı boyunca temas ettiği ilmî geleneklerin ve bilgi alanlarının en somut göstergelerinden biridir. Bununla birlikte kitap sahipliği ile okuma eylemi arasında doğrudan ve zorunlu bir özdeşlik kurulamayacağı açıktır. Bir kitabın terekede bulunması, sahibinin onu baştan sona okuduğunu veya içeriğini benimsediğini kesin biçimde göstermez. Kitap miras yoluyla edinilmiş, hediye edilmiş, meslekî zorunluluk nedeniyle bulundurulmuş veya henüz okunmamış olabilir. Buna rağmen çok sayıda ilmiye mensubuna ait terekenin karşılaştırmalı biçimde incelenmesi, münferit sahiplik ilişkisinin ötesine geçerek belirli eserlerin ve ilim dallarının ulema çevrelerindeki dolaşımını göstermektedir.

Bu noktada özellikle siyer eserleri dikkat çekmektedir. Hz. Muhammed'in hayatını konu edinen siyer, İslam tarih yazıcılığının en erken ve en köklü sahalarından biridir. İlk dönemlerden itibaren megāzî ve siyer literatürü etrafında oluşan birikim zaman içerisinde yalnızca Hz. Peygamber'in doğumu, nesebi, tebliğ faaliyeti, hicreti, savaşları ve vefatını anlatan kronolojik biyografilerle sınırlı kalmamış; onun fizikî ve ahlâkî özelliklerini anlatan şemâil, peygamberliğinin delillerini ele alan delâilü'n-nübüvve, kendisine mahsus hükümleri

konu edinen hasâis, mucizelerini aktaran eserler, mevlid metinleri, hilyeler ve salavat mecmualarıyla geniş bir Hz. Peygamber literatürüne dönüşmüştür.

Osmanlı dünyasında bu literatürün medreselerde, sarayda, tekkelerde, camilerde ve halk arasında farklı biçimlerde dolaşıma girdiği bilinmektedir. Ancak siyer kültürünün Osmanlı ulemasının şahsî kitap dünyasındaki karşılığının ne olduğu ayrıca incelenmesi gereken bir meseledir. Bir şeyhülislâmın veya kazaskerin kitapları arasında siyer eserlerinin bulunması ne ifade etmektedir? Siyer kitapları ulemanın meslekî kütüphanesinin bir parçası mıdır, yoksa şahsî dinî ilgisinin göstergesi midir? Ulemanın hangi tür Hz. Peygamber literatürüne daha fazla rağbet ettiği tespit edilebilir mi? Kronolojik siyerler mi, şemâil ve hasâis eserleri mi, yoksa Hz. Peygamber sevgisini merkeze alan dinî-edebî metinler mi daha yaygındır? İlmiye hiyerarşisindeki makam yükseldikçe siyer kitabı sayısı veya çeşitliliği artmakta mıdır? Bir siyer kitabının terekedeki maddî değeri diğer dinî ve ilmî eserlerle karşılaştırıldığında nasıl bir konumdadır?

Bu sorular, tereke kayıtlarını yalnızca kitap isimlerinin tespit edildiği kataloglar olmaktan çıkararak Osmanlı zihniyet ve okuma tarihinin kaynaklarına dönüştürmektedir.

Bu çalışmanın temel problemi de tam olarak burada ortaya çıkmaktadır: Osmanlı ilmiye mensuplarının terekelerinde hangi siyer ve Hz. Peygamber merkezli eserler bulunmakta ve bu eserlerin varlığı ulemanın ilmî, dinî ve kültürel dünyası hakkında ne söylemektedir?

Çalışmanın temel varsayımı, terekelerdeki siyer eserlerinin tesadüfî bir kitap sahipliğinden daha geniş bir kültürel bağlam içerisinde değerlendirilmesi gerektiğidir. Siyer eserleri, bir taraftan ulemanın İslam tarihi ve Hz. Peygamber'in hayatına ilişkin bilgi dünyasını temsil ederken diğer taraftan nübüvvet, sünnet, peygamber sevgisi ve dinî otorite anlayışının maddî kültürdeki izlerini taşımaktadır.

Bu nedenle çalışmada "siyer eseri" kavramı dar ve geniş olmak üzere iki düzeyde ele alınmıştır. Dar anlamıyla siyer, Hz. Muhammed'in hayatını kronolojik veya tarihsel bir bütünlük içerisinde anlatan eserleri ifade etmektedir. Geniş anlamda ise Hz. Peygamber'in şahsiyeti, fizikî ve ahlâkî özellikleri, mucizeleri, nübüvvetinin delilleri, faziletleri, doğumu ve ona yönelik sevgi ve bağlılığı konu edinen eserler de siyer kültürü içerisinde değerlendirilmiştir. Böyle bir tasnif, Osmanlı dünyasında Hz. Peygamber'e ilişkin bilgi ve tasavvurun yalnızca klasik siyer kitapları üzerinden kurulmadığını göstermesi bakımından önemlidir.

1. Tereke Kayıtları ve Osmanlı İlmiye Tarihi Açısından Kaynak Değeri

1.1. Tereke ve Muhallefât Kavramları

Şer‘iyye sicilleri, Osmanlı toplumunun hukukî işlemlerini kaydetmekle birlikte gündelik hayatın maddî unsurlarını da görünür kılan geniş bir belge evrenidir. Bu sicillerdeki tereke kayıtları, ölen kişinin mal varlığını miras hukuku çerçevesinde tespit ederken kitapları da diğer taşınır mallarla birlikte kaydeder. Kitabın adı, nüsha sayısı, cilt veya hacim bilgisi ve kimi zaman takdir edilen parasal değer, bireysel kitap mülkiyetinin tarihini kurmak için doğrudan veri sağlar. Bununla birlikte terekede bulunmak ile satın alınmış olmak aynı şey değildir; eser miras, hediye, hibe veya meslekî intikal yoluyla edinilmiş olabilir. Bu nedenle çalışmada ‘satın alınma oranı’ yerine ‘edinilme ve sahiplik oranı’ ile ‘terekelerde görülme sıklığı’ kavramları kullanılmaktadır (Aydın, 2003, s. 341; Işık, 2019, s. 234; Işık, 2019, s. 43; Özdemir, 1986).

Osmanlı hukuk sisteminde vefat eden kişinin geride bıraktığı mal varlığı için tereke, terike, metrukât ve muhallefât gibi kavramlar kullanılmıştır. Bununla birlikte tereke ve muhallefât kavramlarının arşiv pratiğinde her zaman aynı hukukî süreci ifade etmediği dikkate alınmalıdır. Tereke daha ziyade İslam miras hukukunun esasları doğrultusunda kişinin mallarının tespit edilerek hak sahiplerine paylaştırılmasıyla ilgili kayıtları ifade ederken muhallefât özellikle devlet görevlilerinin mallarının idarî tasarruflar çerçevesinde tespitiyle ilişkili daha geniş bir kullanım alanına sahip olabilmektedir (Işık, 2026; Akgündüz, 2009, s. 13-48; Işık, 2021, s. 385-410).

Tereke kaydı çoğunlukla kişinin kimliği, mesleği veya unvanı, ikamet yeri ve mirasçılarının belirtilmesiyle başlar. Ardından vefat edenin taşınır ve taşınmaz malları kaydedilir. Eşyaların yalnızca isimleri değil, çoğu zaman miktarları ve tahmini maddî değerleri de gösterilir. Borçların, alacakların ve tereke masraflarının düşülmesinden sonra kalan meblağın mirasçılara dağılımı kaydedilir (Barkan, 1966, s. 1-479; Işık, 2021, s. 904-947).

İlmiye mensuplarının terekeleri açısından bu kayıtların özel bir önemi bulunmaktadır. Zira ilmî ve askerî zümreye mensup kişilerin miraslarının kaydedilmesinde askerî kassamlık önemli rol oynamış, bu durum ulemanın terekelerinin belirli seriler içerisinde yoğunlaşmasını sağlamıştır. Dolayısıyla ilmiye mensuplarının kitap dünyasını sistematik biçimde takip edebilmek için Kısmet-i Askeriye Mahkemesi gibi sicil grupları son derece elverişli kaynaklardır (Yıldız, 2023, s. 147-150).

1.2. Terekelerin Kitap Tarihi Açısından Önemi

Tereke kayıtlarının kültür tarihi bakımından en dikkat çekici taraflarından biri kitap listeleridir. Özellikle ulema terekelerinde birkaç kitaptan yüzlerce ciltlik koleksiyonlara uzanan farklı büyüklüklerde şahsî kütüphanelerle karşılaşılabilmektedir. Bu listeler birkaç farklı sorunun cevaplandırılmasına imkân tanır. Öncelikle hangi ilim dallarına ait eserlerin daha yoğun olduğu tespit edilebilir. Tefsir, hadis, fıkıh, kelâm, Arap dili, mantık, tasavvuf, tarih, edebiyat ve siyer gibi alanların bir kütüphane içerisindeki oranları, kitap sahibinin ilmî dünyasının genel çerçevesini göstermektedir (Gülşen, 2024, s. 144-160).

İkinci olarak belirli eserlerin farklı ulema terekelerinde tekrarlanma oranları incelenebilir. Bir kitabın onlarca farklı âlimin kütüphanesinde bulunması, söz konusu metnin Osmanlı ilmî çevrelerinde güçlü bir dolaşıma sahip olduğuna işaret eder. Bu yöntem siyer eserlerine uygulandığında hangi Hz. Peygamber anlatılarının Osmanlı uleması arasında daha yaygın olduğu belirlenebilir. Üçüncü olarak kitapların maddî değerleri analiz edilebilir. Aynı eserin farklı nüshalarının fiyatları arasındaki farklar; nüshanın hattı, cildi, tezhibi, hacmi, yaşı veya fiziksel niteliğiyle ilişkili olabilir. Dolayısıyla tereke kayıtları kitapların yalnızca zihinsel değil, maddî kültür nesnesi olarak da değerlendirilmesini sağlar (Barkan, 1966, s. 25-56).

Fakat burada önemli bir metodolojik sınır bulunmaktadır. Kitap sahipliği, zorunlu olarak kitap okuma anlamına gelmez. Bu nedenle “falanca âlim bu eseri okumuştur” şeklindeki kesin ifadeler yerine “kütüphanesinde bulundurmuştur”, “esere sahip olduğu görülmektedir”, “söz konusu metnin ilmî çevresinde dolaşımda bulunduğuna işaret etmektedir” gibi daha ihtiyatlı ifadeler kullanılmalıdır.

2. Osmanlı Dünyasında Siyer Literatürünün Kapsamı

Siyer, Hz. Muhammed’in doğumundan vefatına kadar hayatını konu edinen İslam tarih yazıcılığının en eski türlerinden biridir. İlk dönem megāzî rivayetlerinden zaman içerisinde kapsamlı siyer eserleri ortaya çıkmış; Hz. Peygamber’in hayatının anlatımı farklı ilmî ve edebî türlere ayrılmıştır. Bu nedenle Osmanlı terekelerinde siyer kültürünün izleri araştırılırken yalnızca başlığında “siyer” kelimesi bulunan eserlerin dikkate alınması eksik bir tablo ortaya çıkaracaktır (Fayda, 2009, s. 319-324).

2.1. Genel Siyer ve Megāzî Eserleri

Bu kategori, Hz. Peygamber’in hayatını kronolojik bir anlatı içerisinde ele alan metinleri kapsamaktadır. Doğumu, çocukluğu, nübüvveti, Mekke dönemi, hicret, Medine dönemi, gazveler, diplomatik faaliyetler ve vefatı bu eserlerin ana çerçevesini oluşturur. Böyle

eserlerin ulema terekelerindeki mevcudiyeti, Hz. Peygamber'in hayatının tarihsel bir anlatı olarak ilmî hafızada korunmasına işaret etmektedir (Fayda, 1990, s. 45-56).

2.2. Şemâil Literatürü

Şemâil eserleri, Hz. Peygamber'in fizikî görünüşü, giyim tarzı, konuşması, yürüyüşü, yemek alışkanlıkları, ibadeti, ahlâkı ve gündelik davranışlarını konu edinmektedir. Şemâil literatürü bu yönüyle tarih ile ahlâk arasında özel bir yerde durmaktadır. Hz. Peygamber yalnızca geçmişte yaşamış tarihsel bir şahsiyet olarak anlatılmamakta, Müslümanın hayatında örnek alınabilecek canlı bir model hâline getirilmektedir. Dolayısıyla ulema terekelerinde şemâil eserlerinin bulunması, peygamber bilgisinin biyografik bilgiden davranışsal örnekliğe doğru genişlediğinin göstergelerinden biri olarak okunabilir (Kandemir, 2010, s. 497).

2.3. Hasâis Literatürü

Hasâis eserleri, Hz. Peygamber'e mahsus özellik ve hükümleri ele almaktadır. Bu literatürün varlığı, Osmanlı ulemasının peygamber tasavvurunun yalnızca tarihsel biyografiye değil, nübüvvetin özgün ve ayrıcalıklı mahiyetine ilişkin teolojik ve hukukî tartışmalara da uzandığını göstermektedir (Ahatlı, 1997, s. 277-280).

2.4. Delâilü'n-Nübüvve ve Mucizât

Hz. Peygamber'in peygamberliğini ispatlayan deliller ve mucizelerini konu edinen eserler, siyer ile kelâm arasında bir köprü oluşturmaktadır. Bu eserlerin ulema kütüphanelerindeki varlığı özellikle önemlidir. Çünkü burada Hz. Muhammed'in hayatı yalnızca "ne oldu?" sorusu üzerinden değil, "onun peygamberliğinin hakikati nasıl anlaşılır?" sorusu üzerinden ele alınmaktadır. Böylece siyer, tarih bilgisinden nübüvvet düşüncesine doğru genişlemektedir (Yavuz, 1994, s. 115).

2.5. Mevlid ve Dinî-Edebî Siyer

Osmanlı toplumunda Hz. Peygamber'e ilişkin hafızanın en etkili taşıyıcılarından biri mevlid geleneğidir. Mevlid metinleri tarihsel bilgi, dinî duygu, estetik anlatım ve toplumsal ritüelin kesiştiği bir noktada bulunmaktadır. Bir mevlid nüshasının ulema terekesinde bulunması, ilk bakışta klasik bir ilmî kitabın varlığından farklı görünebilir. Ancak tam da bu farklılık önemlidir. Çünkü bu durum ulemanın Hz. Peygamber'le ilişkisinin yalnızca akademik veya meslekî olmadığını; sevgi, bağlılık ve dinî tecrübe boyutlarının da bulunduğunu göstermektedir (Durmuş, 2004, s. 480).

3. Terekelerden Ulemanın Tarihsel Hafızasına

Terekelerdeki siyer ve tarih kitapları birlikte okunduğunda, Osmanlı ulemasının tarihsel hafızasının üç ana eksende şekillendiği görülmektedir. Birinci eksen, Hz. Peygamber'in hayatı

ve nebevî örneklik etrafındaki siyer-şemâil dünyasıdır. İkinci eksen, yaratılış ve peygamberlerden İslâm devletlerine uzanan klasik umumi tarih geleneğidir. Üçüncü eksen ise Osmanlı hanedan tarihi ve vak‘anüvislik yoluyla oluşan devlet hafızasıdır. XIX. yüzyılda bunlara Avrupa, Endülüs ve güncel basın gibi yeni bilgi alanlarının eklendiği anlaşılmaktadır (Şeriyye Sicilleri Arşivi, Kısmet-i Askeriye Mahkemesi, No. 2053, 71).

Terekeler incelendiğinde ulemanın yalnız fıkıh, kelâm, tefsir ve hadis gibi normatif dinî ilimlerin taşıyıcısı olmadığını; geçmişi anlamlandıran, devlet hafızasını takip eden ve farklı tarih coğrafyalarına ilgi duyan bir okuyucu kitlesi olduğunu görülmektedir. Özellikle Veysî-Nâbî-Nazmîzâde hattı ile Naîmâ-Râşid-Vâsıf-Cevdet hattının belirginleşmesi, siyer ve tarih alanlarında iki ayrı fakat birbiriyle ilişkili 'fiilî kanon' ihtimalini ortaya çıkarmaktadır (Şeriyye Sicilleri Arşivi, Kısmet-i Askeriye Mahkemesi, No. 1664, 34-38).

Bununla birlikte tereke verisinin sınırları korunmalıdır. Kitabın terekede bulunması onun mutlaka okunduğunu, benimsendiğini veya yoğun biçimde kullanıldığını kanıtlamaz; müellifi belirtilmeyen genel başlıklar da zorunlu olarak en meşhur esere nispet edilmemelidir. Çalışmanın en güvenilir yolu, bibliyografik teşhis derecesini açıkça göstermek, tekrarları sayısallaştırmak ve sahiplik verisini meslek/rütbe, dönem, dil, cilt sayısı ve maddî değer gibi değişkenlerle birlikte değerlendirmektir. Bu yöntem izlendiğinde terekeler, Osmanlı ulemasının yalnız neye sahip olduğunu değil, hangi tarihsel ve nebevî metinlerin onların entelektüel çevresinde dolaşımda bulunduğunu göstermesi bakımından güçlü bir zihniyet tarihi kaynağına dönüşmektedir.

4. Terekelerde Kaydedilen Siyer ve Tarih Kitapları

Tereke kaydı	Müellif	Ana kategori
Siyer-i Şâmî	Şemseddin es-Sâlihî eş-Şâmî	Nebevî siyer
Siyer-i Kebîr	Muhammed b. Hasan eş-Şeybânî	Fıkıh / devletler hukuku
Siyer-i Veysî	Veysî	Türkçe edebî siyer
Zeyl-i Siyer-i Nâbî	Nâbî	Siyer zeyli
Şemâil	Muhtemelen Tirmizî	Şemâil
Târîh-i Vâsıf	Ahmed Vâsıf	Vak‘anüvis tarihi
Târîh-i Râşid	Râşid Mehmed	Vak‘anüvis tarihi
Naîmâ	Mustafa Naîmâ	Vak‘anüvis tarihi
Târîh-i Cevdet	Ahmed Cevdet Paşa	Geç Osmanlı tarihi
Târîh-i Taberî	Taberî	Umumi İslâm tarihi
Târîh-i İbn Kemal Paşa	Kemalpaşazâde	Osmanlı hanedan tarihi
Hoca Târîhi	Hoca Sâdeddin	Osmanlı hanedan tarihi

Künhü'l-Ahbâr	Gelibolulu Mustafa Âlî	Umumi/Osmanlı tarihi
Târîh-i Müneccimbaşı	Müneccimbaşı Ahmed Dede	Umumi tarih
Târîh-i Hamîs	Diyârbekrî	Umumi tarih + siyer
Tabakâtü'l-Ümem	Sâid el-Endelüsî	Bilim/medeniyet tarihi
Târîh-i Âl-i Osmân	Belirsiz	Osmanlı hanedan tarihi
Târîh-i Mekke-i Mükerreme	Belirsiz	Şehir/kutsal coğrafya tarihi
Târîh-i Mısır	Belirsiz	Bölgesel tarih
Târîh-i Fâtih	Belirsiz	Hükümdar dönemi tarihi
Endülüs Târîhi	Muhtemelen Ziya Paşa	İslâm/Endülüs tarihi

SONUÇ

Osmanlı ilmiye teşkilatı mensuplarının tereke kayıtlarında bulunan siyer ve Hz. Peygamber merkezli eserlerin incelenmesi, Osmanlı ilim ve kültür tarihinin şimdiye kadar yeterince üzerinde durulmayan bir cephesini görünür hâle getirmektedir. Tereke kayıtları, ölüm sonrasında mirasın tespiti ve taksimi amacıyla hazırlanmış hukukî belgeler olmakla birlikte ihtiva ettikleri kitap listeleri sayesinde ulemanın entelektüel dünyasına açılan önemli pencereler niteliğindedir.

Bu kayıtların sunduğu imkânın en önemli tarafı, teorik veya normatif bir kitap listesinden farklı olarak ulemanın fiilen sahip olduğu kitapları göstermesidir. Bir medrese müfredatı hangi eserlerin okutulması gerektiğini, bir bibliyografya hangi eserlerin mevcut olduğunu gösterirken tereke kaydı belirli bir tarihsel şahsiyetin ölüm anında hangi kitaplara sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bu özellik terekeleri kitap ve okuma tarihinin vazgeçilmez kaynaklarından biri hâline getirmektedir.

Siyer literatürü açısından bakıldığında ise mesele daha özel bir anlam kazanmaktadır. Hz. Peygamber'in hayatı, şahsiyeti, nübüvveti, ahlâkı, mucizeleri ve faziletleri etrafında oluşan geniş literatür, Osmanlı ulemasının hem ilmî hem dinî dünyasının temel bileşenlerinden biridir. Bu nedenle araştırmada siyer kavramının yalnızca kronolojik Hz. Muhammed biyografileriyle sınırlandırılmaması; megāzî, şemâil, hasâis, delâilü'n-nübüvve, mucizât, mevlid ve hilye gibi metinlerin de geniş anlamda nebevî literatür içerisinde değerlendirilmesi daha sağlıklı görünmektedir.

Tereke verilerinin karşılaştırılması, Osmanlı ulemasının Hz. Peygamber'i hangi metinler aracılığıyla tanıdığı sorusuna yeni cevaplar üretme potansiyeline sahiptir. Genel siyer kitapları tarihsel peygamber bilgisini; şemâil metinleri davranışsal ve ahlâkî örnekliği; delâil ve mucizât literatürü nübüvvetin teolojik boyutunu; mevlid ve benzeri eserler ise Hz.

Peygamber sevgisinin duygusal ve estetik boyutunu temsil etmektedir. Bunların aynı ulema kütüphanelerinde bir arada bulunması durumunda Osmanlı peygamber tasavvurunun tarih, teoloji, ahlâk ve maneviyatın kesiştiği bütüncül bir yapı gösterdiği söylenebilir.

Bununla birlikte tereke kayıtlarından zihniyet tarihine ilişkin sonuçlar çıkarılırken metodolojik ihtiyatın korunması zorunludur. Bir kitabın tereke içerisinde bulunması, sahibinin o kitabı okuduğunu veya muhtevasının tamamını benimsediğini kanıtlamaz. Aynı şekilde belirli bir siyer kitabının terekede bulunmaması da tereke sahibinin söz konusu eseri okumadığı veya siyerle ilgilenmediği anlamına gelmez. Kitaplar miras, hediye, vakıf, ödünç verme ve farklı mekânlarda muhafaza edilme gibi süreçlere tâbi olabilmektedir. Üstelik tereke kayıtlarının tamamı günümüze ulaşmadığı gibi mevcut kayıtlarda kitap isimlerinin kısaltılmış veya genel ifadelerle yazılmış olması da mümkündür. Bu nedenle terekeler doğrudan "okuma kayıtları" değil, daha ziyade kitap sahipliği, metin dolaşımı ve entelektüel erişimin maddî izleri olarak değerlendirilmelidir.

Çalışmanın ortaya çıkarabileceği önemli sonuçlardan biri, Osmanlı ulemasına ait bir "fiilî siyer kanonu"nun tespit edilmesidir. Farklı yüzyıllardan ve farklı ilmiye derecelerinden kişilerin terekelerinde sürekli tekrar eden eserlerin belirlenmesi, hangi siyer metinlerinin Osmanlı ilmî çevrelerinde kalıcı dolaşıma sahip olduğunu gösterebilir. Böyle bir kanonun medrese müfredatıyla karşılaştırılması ise resmî eğitim programı ile şahsî kitap kültürü arasındaki ilişkiyi ortaya koyacaktır.

İlmiye makamları arasında yapılacak karşılaştırmalar da önemli sonuçlara ulaşılmasını sağlayacaktır. Şeyhülislâm, kazasker, kadı, müderris ve müftülerin sahip oldukları siyer eserlerinin sayısı, çeşitliliği ve maddî değerleri arasında farklılık bulunup bulunmadığının tespit edilmesi, ilmî statü ile kitap kültürü arasındaki ilişkiyi değerlendirmeye imkân verecektir. Benzer biçimde eserlerin Arapça, Türkçe ve Farsça dağılımı, ulemanın çok dilli okuma dünyasını; yazma ve matbu nüshaların kronolojik dağılımı ise Osmanlı kitap kültürünün dönüşümünü göstermesi bakımından önem taşımaktadır.

Tereke kayıtlarının maddî değer bilgileri de siyer araştırmalarına yeni bir boyut kazandırmaktadır. Siyer kitaplarının fiyatlarının diğer ilmî eserlerle karşılaştırılması, nüshaların Osmanlı kitap piyasasındaki konumuna ilişkin ipuçları sağlayabilir. Bununla birlikte kitabın fiyatının doğrudan ilmî veya dinî önemle özdeşleştirilemeyeceği; hat, cilt, tezhip, kâğıt, hacim, yaş ve nadirlik gibi fiziksel unsurların fiyat üzerinde belirleyici olabileceği unutulmamalıdır.

Bütün bu veriler bir arada değerlendirildiğinde Osmanlı ulemasının siyerle ilişkisinin yalnızca bir tarih disipliniyle sınırlı olmadığı anlaşılmaktadır. Hz. Peygamber'in hayatına ilişkin eserler ulema açısından tarihsel bilgi, sünnetin bağlamı, ahlâkî örneklik, nübüvvet düşüncesi ve dinî bağlılık gibi farklı anlam alanlarını aynı anda bünyesinde taşımaktadır. Dolayısıyla ulema terekelerindeki siyer kitapları, ilmî bilgi ile dinî hafıza arasındaki maddî bağın en somut göstergelerinden biri olarak değerlendirilebilir.

Sonuç olarak Osmanlı ilmiye mensuplarının terekelerindeki siyer eserlerinin incelenmesi, yalnızca "hangi âlim hangi kitaba sahipti?" sorusunun cevabını vermemektedir. Bu kayıtlar üzerinden hangi metinlerin dolaşımda olduğu, hangi Hz. Peygamber anlatılarının ulema arasında yaygınlaştığı, ilmî statü ile kitap sahipliği arasında nasıl bir ilişki bulunduğu, klasik ve yerel siyer literatürünün birbirleriyle nasıl kesiştiği ve Osmanlı ulemasının Hz. Peygamber'i hangi bilgi ve duygu dünyası içerisinde konumlandırdığı tartışılabilir.

Bu açıdan tereke kayıtlarındaki her bir siyer kitabı iki farklı tarihi aynı anda anlatmaktadır. Kitabın metni Hz. Muhammed'in hayatını anlatırken, o kitabın bir Osmanlı âliminin terekesinde yer alması Osmanlı ulemasının Hz. Peygamber'i nasıl hatırladığının, okuduğunun, temsil ettiğinin ve ilmî-dinî dünyasında nereye yerleştirdiğinin tarihini anlatmaktadır. Bu sebeple ulema terekelerindeki siyer eserleri, Osmanlı siyer yazıcılığı tarihinin yanı sıra kitap tarihi, okuma tarihi, zihniyet tarihi ve Osmanlı dinî kültürü araştırmaları bakımından da özgün ve çok yönlü bir kaynak grubu olarak değerlendirilmelidir.

KAYNAKÇA

Ahatlı, E. (1997), "Hasâisü'n-nebî", *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi*. 16/277-281. Ankara: TDV Yayınları.

Akgündüz, Ahmet. "İslam Hukukunun Osmanlı Devleti'nde Tatbiki: Şer'iyye Mahkemeleri ve Şer'iyye Sicilleri". *İslam Hukuku Araştırmaları Dergisi* 14 (2009), 13-48.

Akkoyun Özlü, Gülşen. "18. Yüzyılda Diyarbakır'da Kitaplar ve Kitap Sahipliği". *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 63 (2024), 144-160.

Aydın, M. A. (2003). "Mahkeme". *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi*. 27/341-344. İstanbul: TDV Yayınları.

Barkan, Ömer Lütfi. "Edirne Askerî Kassamı'na Âit Tereke Defterleri (1545-1659)". *Belgeler* 3/5-6 (1966), 1-479.

Durmuş, İ. (2004), "Mevlid". *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi*. 29/480-482. Ankara: TDV Yayınları.

Fayda, M. (2009). "Siyer ve Megāzî". *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi*. 37/319-324. Ankara: TDV Yayınları.

Fayda, M. (1990). "Siyer ve Megāzî Yazıcılığı". *İslâmî Araştırmalar* 4 (1), 45–56.

Işık, A. (2019). "Şeyhülislâmlık Binalarının Yapımı Şeyhülislâmlığın Dinî ve Hukukî Bir Kompleks Haline Dönüşmesi". *Ağa Kapısından Şeyhülislamlığa İstanbul Müftülüğü*. Ed. Ayhan Işık-Kamil Büyüker. Ankara: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları, 43-53.

Işık, A. (2019). "Şer'iyye Sicilleri Arşivi", *Ağa Kapısından Şeyhülislamlığa İstanbul Müftülüğü,* Ed. Ayhan Işık-Kamil Büyüker. Ankara: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları, 233-243.

Işık, A. (2021). "Kızılbaşlıkla İtham Edilen Bir Nakîbü'l-Eşrâf Seyyid Mahmut Efendi'nin Hayatı Ve Şeceresi". *BEÜ İlahiyat Fakültesi Dergisi* 8/2, 385-410.

Işık, A. (2021). "Maktül Şeyhülislâm Feyzullah Efendi'nin Torunu Nakîbü'l-Eşrâf Abdullah Efendi'nin Hayatı ve Terekesi". *e-Makalat Mezhep Araştırmaları Dergisi* 14/2, 904-947.

Işık, A. "Tereke Kayıtları Işığında Osmanlı İlmiyesinde Kelâm Literatürü: Esadzâde Seyyid Şeyh Mehmed Efendi (ö. 1698) Örneği", *Şırnak Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi* 2026, 40/286-237.

Kandemir, M. Y. (2010). "Şemâil". *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi*. 38/497. İstanbul: TDV Yayınları.

Özdemir, R. (1986). "Şer'iyye Sicillerinin Sosyo-Ekonomik Tarih ve Halk Kültürü Açısından Önemi", *I. Battalgazi ve Malatya Çevresi Halk Kültürü Sempozyumu Tebliğler*, (Malatya, 1986), 179-187.

Yavuz, Y. Ş. (1994). "Delâilü'n-Nübüvve". *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi*. 9/115. İstanbul: TDV Yayınları.

Yıldız, E. (2023). Xıx. Yüzyılda Bir Osmanlı Şeyhülislâmı: Mehmet Cemaleddin Efendi'nin Nesebi Ve İlmi Mirası. *Dicle Akademi Dergisi* 3 (2) , 147-175.

OSMANLI ULEMASININ ŞECERELERİ

Doç. Dr. Esra YILDIZ
Yalova Üniversitesi, İlahiyat Fakültesi, İslam Tarihi ve Sanatları, Yalova, Türkiye
ORCID: 0000-0002-1236-7446

ÖZET

Bu çalışma, Osmanlı ulemasının şecerelerini yalnızca aile kökenini gösteren soy listeleri olarak değil, ilmiye sınıfının kurumsal hafızasını, toplumsal meşruiyetini, meslekî devamlılığını ve aile ağlarını görünür kılan tarihsel belgeler olarak incelemektedir. Araştırmanın temel kaynak grubunu Şeyhülislâmlık (Bâb-ı Fetvâ) bünyesinde oluşan Sicill-i Ahvâl dosyaları ile Nakîbü'l-eşrâflık kayıtları teşkil etmektedir. Sicill-i Ahvâl İdaresi'nin ulemanın kimlik, eğitim ve memuriyet bilgilerinin yanında nesep verilerini de muhafaza ettiği; Nakîbü'l-eşrâflığın ise seyyid ve şeriflerin soylarını kayda bağlayan daha özel bir kurumsal işlev üstlendiği tespit edilmiştir. Makalede ensâb ilminin İslam tarihindeki yeri, Osmanlı'da soy bilgisinin kurumsallaşması, şecerenin belge türü olarak diplomatik özellikleri, ulema ailelerinde meslekî aktarım, seyyidlik ve ilmiyenin kesişimi, şecerelerin sosyal sermaye ve meşruiyet üretimindeki rolü, arşiv kaynaklarının imkân ve sınırlılıkları ile örnek şecereler birlikte değerlendirilmiştir. Çalışmanın temel iddiası, ulema şecerelerinin biyografi yazımını tamamlayan tali belgeler değil; ilmiye tarihinin aile, mekân, statü, aidiyet ve kurumsal süreklilik boyutlarını birlikte çözümlemeye imkân veren birincil kaynaklar olduğudur.

Anahtar Kelimler: İslam Tarihi, Şeyhülislamlık, Ulema, Şecere, Soybilim.

THE GENEALOGİES OF OTTOMAN ʿULAMĀʾ

ABSTRACT

This article examines the genealogies of the Ottoman learned class not merely as lists of ancestry but as historical records that reveal institutional memory, social legitimacy, professional continuity and family networks. Its principal sources are the personnel files of the Sicill-i Ahvâl administration and the records of the Nakîbü'l-eşrâf within the office of the Shaykh al-Islam. By combining genealogical, biographical and diplomatic analysis, the study argues that genealogical documents constitute primary evidence for reconstructing the social texture of the Ottoman learned establishment. The article further discusses professional transmission within learned families, the intersection of sayyid status and scholarly office, and the methodological limitations created by archival loss and self-reported biographical information.

Keywords: Islamic History, The Office of the Shaykh al-Islam, the Ulamâ', Genealogical Records, Genealogy.

GİRİŞ

Osmanlı ilmiye sınıfı üzerine yapılan çalışmalar uzun süre medrese teşkilatı, mülâzemet, kadılık, müderrislik, kazaskerlik ve şeyhülislâmlık gibi kurumsal başlıklar etrafında gelişmiştir. Bu yaklaşım ilmiye hiyerarşisinin işleyişini açıklamak bakımından vazgeçilmez olmakla birlikte, ulemanın aile çevresini, nesep iddiasını, akrabalık ağlarını ve kuşaklar arası meslek aktarımını aynı ölçüde görünür kılmamaktadır. Oysa bir âlimin hangi medresede okuduğu ve hangi görevlerde bulunduğu kadar, hangi aileye mensup olduğu, babasının ve dedelerinin meslekleri, seyyidlik veya belirli bir tarihî şahsiyete intisap iddiası, evlilik ve hısımlık ilişkileri de onun Osmanlı toplumundaki yerini anlamlandıran unsurlardır. Şecere bu nedenle yalnızca "kim kimin oğludur?" sorusuna cevap veren bir cetvel değil, sosyal ve kurumsal tarihin çok katmanlı bir kaynağıdır.

Soyun kayda geçirilmesi insan topluluklarında hafıza, statü ve aidiyet ihtiyacıyla yakından ilişkilidir. İslam tarih yazıcılığında ensâb bilgisinin erken dönemlerden itibaren gelişmesi; kabile aidiyetlerinin, sahabe nesillerinin ve Hz. Peygamber'in ailesiyle irtibatın siyasî, hukukî ve toplumsal anlam taşımasıyla bağlantılıdır. Zamanla nesep kayıtları salt soy sıralamasını aşmış; göçler, evlilikler, görevler, yerleşim alanları ve ailelerin itibarı hakkında veri taşıyan tarihî metinlere dönüşmüştür. Osmanlılar bu mirası devralmış, fakat onu kendi bürokratik yapıları içinde yeniden düzenlemiştir. Özellikle seyyid ve şeriflerin nesebinin Nakîbü'l-eşrâflık tarafından takip edilmesi, soy bilgisinin devletçe tanınan bir statüyle birleştiğinin en belirgin örneğidir. Buna karşılık XIX. yüzyılın sicill-i ahvâl uygulamaları, nesep ve aile bilgisini daha geniş bir memuriyet ve özlük dosyası mantığı içinde kayıt altına almıştır.

Çalışmanın temel soruları şunlardır: Osmanlı ulemasının soy bilgileri hangi kurumlar tarafından, hangi amaçlarla ve hangi belge biçimleri içinde kaydedilmiştir? Şecereler ilmiye mensubunun statüsünü nasıl temsil etmiş ve doğrulamıştır? Seyyidlik ile ilmiyeye mensubiyet aynı belgede nasıl kesişmiştir? Ulema ailelerinde kuşaklar arası meslekî süreklilik şecere verileri üzerinden ne ölçüde izlenebilir? Bir şecerenin devlet veya yerel otorite tarafından tasdiki ne tür bir meşruiyet üretmektedir? Bu soruların cevabı, Osmanlı ulemasını bireysel biyografiler toplamı olmaktan çıkarıp aileler, haneler ve kurumsal ağlar içinde düşünmeye imkân vermektedir.

1. Ensâb İlmi ve Şecere Kavramının Tarihsel Çerçevesi

Arapça "neseb" kelimesinin çoğulu olan ensâb, kişinin atalarıyla kurduğu soy bağını ve bu bağın bilgisini ifade etmektedir (Fayda, 1995, s. 244). İslam tarihçiliğinin erken döneminde ensâb bilgisi, kabile toplumunun hafızasını koruyan bir alan olarak önem kazanmış; zamanla

râvilerin, sahabenin, hanedanların, şehir eşrafının ve seçkin ailelerin kökenlerinin tespitinde kullanılan sistematik bir bilgi türüne dönüşmüştür. Modern terminolojide soybilim veya jeneoloji denilen alan, Osmanlı Türkçesinde şecere, silsile, nesepnâme, ensâb cetveli ve soy kütüğü gibi karşılıklarla ifade edilmiştir. Bu terimler bütünüyle eş anlamlı değildir. "Şecere" ağaç metaforunu çağrıştırarak dallanan aile ilişkilerini; "silsile" zincir halinde devamlılığı; "nesepnâme" ise soy bilgisinin yazılı belgeye dönüşmüş şeklini vurgulamaktadır (Işık, 2021).

Şecerenin tarihî değeri iki ayrı düzlemde ortaya çıkmaktadır. Birincisi, belgenin açıkça söylediği soy sıralamasıdır. İkincisi ise soyun hangi bağlamda kaydedildiği, hangi makamlarca onaylandığı, hangi unvanlarla birlikte sunulduğu ve hangi şahsiyetlerin özellikle öne çıkarıldığıdır. Örneğin bir nesep zincirinin Hz. Peygamber'e, Hz. Hasan veya Hz. Hüseyin'e, Abdülkadir Geylânî'ye yahut Hâlid b. Velîd'e bağlanması, yalnızca biyolojik köken iddiası değildir; aynı zamanda dinî, manevî veya tarihî prestijin aile kimliğine eklemlenmesidir. Bu nedenle tarihçi, şecereyi "doğru veya yanlış soy listesi" ikiliğine indirgemek yerine, belgenin üretildiği toplumsal bağlamı da incelemelidir (Yıldız, 2017, s. 77-78).

Ensâb bilgisinin siyasî ve hukukî sonuçları da vardır. Belirli bir soya mensubiyet, bazı toplumlarda vergi muafiyeti, saygınlık, görev önceliği veya sembolik ayrıcalıklar doğurabilmiştir. Osmanlı bağlamında seyyidlik iddiasının resmî kayda geçirilmesi ve Nakîbü'l-eşrâflık Müessesesi tarafından denetlenmesi, nesebin özel bir hukukî-idarî önem taşıdığını göstermektedir. Böylece soy, aile içinde aktarılan özel bir hatıra olmaktan çıkıp kamusal ve kurumsal bir kayda dönüşmektedir. Bu dönüşüm aynı zamanda sahte nesep iddialarının önlenmesi, mevcut kayıtların karşılaştırılması ve yeni kuşakların statülerinin tanınması ihtiyacını doğurmuştur (Işık, 2014, s. 213-214; Işık, 2015, s. 187; Işık, 2016, s. 132; Işık, 2021; Işık, 2021; s. 389; Işık, 2021, s. 925-926).

Ulema açısından mesele daha farklı bir konumdadır. İlmiye mensubunun statüsü teorik olarak eğitim, icazet, mülâzemet ve tayin mekanizmalarıyla şekillenir. Bununla birlikte ilmiye ailelerinin uzun süreli varlığı, çocukların erken yaşta eğitim çevrelerine erişmesi, aile kütüphaneleri, hoca-akraba ilişkileri ve evlilik ağları, soyun meslekî sermayeye dönüşebildiğini göstermektedir. Şecere bu sermayenin doğrudan kanıtı değildir; fakat hangi ailelerin ilmiye içinde süreklilik gösterdiğini, hangi unvanların kuşaklar boyunca tekrarlandığını ve hangi coğrafî merkezlerin aile hafızasında yer tuttuğunu saptamak için önemli bir başlangıç noktasıdır (Sarıyıldız, 2004, s. 4-6).

Burada "ulema şeceresi" kavramı dar anlamda yalnızca bir âlimin soy ağacını gösteren müstakil belgeyi değil, onun nesebini yeniden kurmaya yarayan bütün kurumsal kayıtları

kapsayacak biçimde kullanılmaktadır. Sicill-i Ahvâl dosyalarındaki baba adı, doğum yeri, aile unvanı, seyyidlik kaydı ve ekli şecere; Nakîbü'l-eşrâf defterlerindeki silsile; mahkeme tasdikleri; yerel ulemanın şahitlikleri ve bazen nazım biçimindeki soy metinleri aynı araştırma evreninin parçalarıdır. Böyle bir geniş tanım, soybilimi yalnızca çizilmiş aile ağaçlarına bağımlı olmaktan kurtarmakta ve parçalı arşiv verilerinin birlikte okunmasını mümkün kılmaktadır (Meşihat Arşivi, Sicill-i Ahval Defterleri, no. 57-63).

2. Osmanlı'da Soy Bilgisinin Kurumsallaşması

Osmanlı bürokrasisinin ayırt edici özelliklerinden biri, toplumsal statüleri kayıt düzeni içine yerleştirme eğilimidir. Tahrir, şer'iyye sicili, vakfiye, ruûs, mühimme, nüfus, temettuat ve sicill-i ahvâl gibi farklı defter serileri, devletin kişi, hane, görev, vergi ve mülkiyet ilişkilerini farklı amaçlarla görünür kılmasını sağlamıştır. Soy bilgisi de bu kayıt evreninin içinde, ihtiyaca göre farklı yoğunluklarda yer almıştır. Ulema bakımından Şeyhülislâmlık, özellikle XIX. yüzyılda genişleyen bürokratik fonksiyonları sayesinde bu hafızanın merkezlerinden biri hâline gelmiştir (Ögke, 2015, s. 119; Derin, 1959, s. 104).

Şeyhülislâmlık klasik dönemde fetva makamı olarak temayüz etmiş, fakat zaman içinde ilmiye teşkilatının merkezî idaresiyle daha güçlü biçimde bütünleşmiştir. 1826 sonrasındaki kurumsal yeniden yapılanmalar, Bâb-ı Fetvâ'nın personel, eğitim, yargı ve çeşitli idarî süreçlerde daha düzenli bir kayıt üretmesine yol açmıştır. Bu bağlamda ulemanın biyografi bilgilerini ihtiva eden sicil dosyaları, modern personel dosyasına yaklaşan bir belge mantığını temsil etmektedir. Bahse konu sicil dosyalarında ulemanın kimlik, eğitim ve memuriyet bilgilerinin yanı sıra aile kökenine ilişkin ensâb verileri de bulunmaktadır (Yurdakul-Aydın, 2017, s. 380).

Bu kayıt sisteminin tarihçi açısından önemi, tek bir kişinin hayatının farklı aşamalarını aynı dosya çevresinde bir araya getirebilmesidir. Bir ulema mensubunun doğum tarihi ve yeri, babasının adı ve mesleği, eğitim gördüğü kurumlar, bildiği diller, aldığı icazetler, tayin ve terfileri, bazen ailesine veya nesebine ilişkin ek belgelerle birlikte görülebilir. Böylece şecere, biyografiden kopuk bir soy metni olmaktan çıkmakta; kişinin kariyer anlatısı içine yerleşmektedir. Özellikle aile unvanlarının görev kayıtlarıyla birlikte izlenmesi, belirli hanelerin ilmiye içindeki devamlılığını incelemek için elverişlidir (Çetin, 2005, s. 89-100).

Bununla birlikte Sicill-i Ahvâl kayıtları, Nakîbü'l-eşrâflık defterleriyle aynı amaca sahip değildir. Sicill-i Ahvâl'in temel mantığı personel ve özlük bilgisidir; nesep, bu biyografik bütünün bir parçasıdır. Nakîbü'l-eşrâflığın ise merkezî işlevi seyyid ve şeriflerin nesebini korumak, tanımak ve gerektiğinde tasdik etmektir. Bu farklılık, iki kaynak grubunun birlikte

kullanımını daha değerli kılmaktadır. Aynı kişi hem ilmiye mensubu hem seyyid ise, onun meslekî kariyeri ile nesep statüsü iki ayrı kurumsal kayıt sistemi üzerinden karşılaştırılabilir. Böylece bir kaynaktaki eksiklik diğer kaynakla tamamlanabilir; çelişkiler ise yeni araştırma soruları üretmektedir (Işık, 2023, s. 2889-2890; Işık, 2025, s. 314-315).

Kurumsallaşmanın bir başka boyutu tasdik mekanizmasıdır. Bir şecerenin aile tarafından muhafaza edilmesi ile kadı, müftü, nakîbü'l-eşrâf veya yerel ulema tarafından onaylanması aynı şey değildir. Tasdik, belgenin kamusal dolaşıma girebilmesini ve belirli bir iddianın resmî muamelede dikkate alınmasını kolaylaştırır. Örneğin Gazze mahkemesinden onaylı bir şecerenin ve Şam nakîbü'l-eşrâf kaymakamı, müftü ve ulemasının tasdikini taşıyan bir neseb-i şerifin bulunması, soy bilgisinin yerel ve merkezî otoriteler arasında dolaşan bir belge niteliği taşıdığını göstermektedir (MŞH, SAİD, 225/20, 3734/B; MŞH, SAİD, 224/24, 3720/B).

Dolayısıyla Osmanlı'da soy bilgisinin kurumsallaşması tek merkezli bir süreç değildir. Aile hafızası, yerel mahkeme, müftülük, nakîbü'l-eşrâflık ve Bâb-ı Fetvâ gibi farklı aktörler aynı soy iddiasının oluşumuna ve doğrulanmasına katkıda bulunabilir. Bu çok katmanlı yapı, şecere araştırmalarında "belgenin kim tarafından üretildiği" sorusunu zorunlu kılar. Belgenin fiziksel biçimi kadar, hangi makamın mührünü veya tasdik cümlesini taşıdığı da tarihsel anlamın parçasıdır.

4. Ulema Şecerelerinin Belge Tipolojisi

Osmanlı ulema şecerelerinin tek biçimli olmadığını açık biçimde görülmektedir. Seyyid İbrahim Nuri Efendi'nin şeceresinin sureti, Seyyid Mehmed Hanefi Efendi'nin nazım şeklindeki şeceresi ve Gazze mahkemesinden onaylı şeceresi, Seyyid Mehmed Maruf Efendi'nin silsilenâmesi, Hâlid b. Velîd soyuna mensup olduğu kaydedilen Musa Şefik Efendi'nin şeceresi ve Abdülkadir Geylânî soyuna mensup Hatibzâde Mehmed Ebunnasr Efendi'nin neseb-i şerifi farklı belge türlerini temsil etmektedir. Bu çeşitlilik, "şecere" teriminin arşivde tek bir formu ifade etmediğini ortaya koymaktadır (Yıldız, 2023).

Birinci tip, suret veya kopya şeceredir. Asıl belgenin aile elinde bulunması, resmî işlem için suretinin çıkarılması ve bu suretin tasdik edilmesi mümkündür. Suret, belge dolaşımının önemli bir aracıdır; zira aile açısından kıymetli olan asıl nüshanın korunmasını, bürokratik işlemde ise doğrulanmış bir kopyanın kullanılmasını sağlamaktadır (Yıldız, 2021).

İkinci tip, nazım biçimindeki şeceredir. Seyyid Mehmed Hanefi Efendi'ye ait nazım şeklindeki şecere, soy bilgisinin yalnızca bürokratik bir liste olarak değil, edebî bir form içinde de aktarılabildiğini gösterir. Nazım, ezberlenebilirlik ve temsil gücü sağlar; aile hafızasının sözlü-yazılı sınırında işlev görebilir. Böyle bir metinde kafiye veya vezin kaygısı, isimlerin ve

unvanların sunuluş biçimini etkileyebilir. Bu nedenle nazım şecereler, hem tarih hem edebiyat araştırmasının konusu olabilecek hibrit belgelerdir (MŞH, SAİD, 225/20, 3734/B).

Üçüncü tip, mahkeme tasdikli şeceredir. Mehmed Hanefi Efendi'nin Gazze mahkemesinden onaylı şeceresi, yerel hukuk kurumunun soy iddiasını belgelendirme sürecine dâhil olduğunu göstermektedir. Mahkeme tasdiki, şecerenin yalnızca aile içi kullanım için değil, resmî bir ihtiyaca cevap vermek üzere dolaşıma girdiğini düşündürmektedir. (MŞH, SAİD, 225/20, 3734/B).

Dördüncü tip, silsilenâmedir. Seyyid Mehmed Maruf Efendi'nin Hz. Peygamber soyuna mensubiyetini gösteren silsilenâmesi, zincir fikrini öne çıkarır. Silsilenâme biçimi tasavvufî gelenekte şeyhten şeyhe manevî intikali ifade etmek için de kullanıldığından, nesep silsilesi ile tarikat silsilesi arasında biçimsel benzerlikler bulunabilir. Ancak ikisi aynı şey değildir: biri biyolojik/ailesel nesebi, diğeri manevî ve öğretisel intikali temsil etmektedir. Belgeyi doğru sınıflandırmak, bu iki silsile türünü birbirine karıştırmamak bakımından önemlidir (MŞH, SAİD, 224/24, 3720/B).

Beşinci tip, tarihî veya manevî itibarı yüksek bir şahsiyete bağlanan şeceredir. Musa Şefik Efendi'nin Hâlid b. Velîd soyuna; Hatibzâde Mehmed Ebunnasr Efendi'nin ise Abdülkadir Geylânî soyuna mensubiyetini gösteren kayıtlar, ulema ailelerinin meşruiyet repertuarının seyyidlikle sınırlı olmadığını ortaya koymaktadır. Bu belgeler, Osmanlı toplumunda "asil soy" veya "itibarlı nesep" kavramının farklı dinî-tarihî referanslarla kurulabildiğini göstermektedir. Bir aile için sahabe nesline, bir diğeri için büyük bir sûfîye intisap, aile kimliğinin kurucu unsuru olabilmektedir (MŞH, SAİD, 225/14, 3730).

8. Örnek Şecerelerin Ayrıntılı Değerlendirilmesi

İlk örnek olarak Seyyid İbrahim Nuri Efendi'nin şecere suretini verebiliriz. MŞH, SAİD, 69/3, 611/A künyesiyle verilen belge, bir ulema dosyasında soy belgesinin nasıl muhafaza edildiğini göstermesi bakımından önemlidir. "Suret" niteliği, asıl şecerenin başka bir yerde veya aile elinde bulunmuş olabileceğini düşündürmektedir. Burada araştırılması gereken yalnızca zincirin içeriği değil, suretin dosyaya giriş sebebi ve tasdik mekanizmasıdır. Sicill-i Ahvâl dosyasına eklenen şecere, kişinin özlük kaydı ile nesep iddiasının aynı kurumsal hafıza içinde buluştuğunu gösterir (MŞH, SAİD, 69/3, 611/A).

İkinci örnek Seyyid Mehmed Hanefi Efendi'ye aittir. Aynı dosya çevresinde hem nazım şeklinde bir şecerenin hem de Gazze mahkemesinden onaylı bir şecerenin bulunması son derece dikkat çekicidir. Bu çift belge, aynı soy bilgisinin farklı temsil biçimlerine sahip olabileceğini ortaya koymaktadır. Nazım metin aile hafızası, edebî temsil veya kolay

ezberlenebilirlik işlevi taşırken, mahkeme onaylı nüsha resmî doğrulama ihtiyacına cevap vermiş olabilir. İki metnin isim zincirleri karşılaştırıldığında farklılıklar bulunması hâlinde, bu farklar kopyalama, yerel kullanım veya metnin düzenlenme tarihi hakkında ipucu sağlayabilir (MŞH, SAİD, 225/20, 3734/B).

Gazze mahkemesi tasdiki ayrıca merkez-taşra ilişkisi bakımından önemlidir. Şecerenin yerel mahkemede onaylanması, soy bilgisinin yalnızca İstanbul'daki merkezî kurumlar tarafından üretilmediğini göstermektedir. Yerel kadı ve şahitlik mekanizması, aile kimliğinin hukukî-bürokratik doğrulanmasına katkıda bulunabilir. Daha sonra bu belgenin Bâb-ı Fetvâ dosyasına girmesi, yerelde üretilen doğrulamanın merkezî arşiv hafızasına eklemlendiği bir belge dolaşımını düşündürür (Işık, 2026, s. 975-977; Işık, 2024, s. 816-618).

Üçüncü örnek, Hz. Peygamber soyuna mensup Seyyid Mehmed Maruf Efendi'nin MŞH, SAİD, 15/6, 117/A numaralı silsilenâmesidir. Belgenin "silsilenâme" olarak tanımlanması, zincirin devamlılığına vurgu yapmaktadır. Bu tür belgelerde isimlerin sıralanışı kadar, kullanılan saygı ifadeleri ve tasarım da önemlidir. Görsel düzen, soy zincirini okunabilir ve otoriter bir forma koymaktadır. Şecerenin maddî kültür boyutu burada devreye girer: kâğıt, mühür, hat, çizgiler, cetveller ve eklemeler belgenin kullanım tarihini gösterebilir (MŞH, SAİD, 15/6, 117/A).

Dördüncü örnek Musa Şefik Efendi'nin Hâlid b. Velîd soyuna mensubiyetini gösteren şeceresidir. MŞH, SAİD, 225/14, 3730 künyeli bu belge, ulema şecerelerinin yalnızca Ehl-i beyt nesebine odaklanmadığını kanıtlar. Hâlid b. Velîd gibi İslam tarihinin askerî ve sahabî hafızasında güçlü bir yere sahip şahsiyete bağlanmak, farklı türde bir tarihî prestij üretir. Bu örnek, Osmanlı soybilim çalışmalarının seyyidlik kayıtlarıyla sınırlanmaması gerektiğini açıkça gösterir (MŞH, SAİD, 225/14, 3730).

Beşinci ve en ayrıntılı örnek Hatibzâde Mehmed Ebunnasr Efendi'nin MŞH, SAİD, 224/24, 3720/B numaralı neseb-i şerifidir. Belge, soy zincirini Hatibzâde ailesi üzerinden Abdülkadir Geylânî'ye ve oradan Hz. Hasan'a bağlamaktadır. Zincirde Ebu Salih Musa, Davud, Muhammed, Yahya ez-Zâhid, Ebu Salih Mehmed Çenki Dost ve Muhyiddin Abdülkadir el-Ceylânî gibi isimler sıralanmakta; sonraki kuşaklarda "el-Hatîb", "eş-Şeyh", "el-Allâme" ve benzeri unvanlar görülmektedir (MŞH, SAİD, 224/24, 3720/B). Belgenin sonunda yer alan tasdik cümlesi, metodolojik açıdan en kıymetli kısımlardan biridir. Metin, Ebunnasr Efendi'nin elinde mahfuz bulunan ve Şam-ı Şerif Eşrâf Nakîbi ile müftü ve ulema tarafından tasdik edilmiş neseb-i şerifle karşılaştırıldığını ve uygun bulunduğunu bildirir. Tarih 23 Temmuz 1313, yani 4 Ağustos 1897 olarak verilmiştir. Bu ifade, en az iki belge katmanına

işaret etmektedir. Kişinin elindeki asıl/önceki nesep belgesi ve bununla karşılaştırılarak düzenlenen veya doğrulanan surettir. Dolayısıyla arşivdeki tek belge, arkasında daha geniş bir belge ailesinin varlığını haber vermektedir.

Bu örneklerin ortak sonucu, ulema şeceresinin sabit bir form değil, ihtiyaca göre yeniden üretilen ve tasdik edilen hareketli bir belge olduğudur. Şecere aile içinde korunabilir, nazma çekilebilir, mahkemede onaylanabilir, nakîb ve müftü tarafından tasdik edilebilir, ardından Sicill-i Ahvâl dosyasına eklenebilir. Her aşama belgenin anlamına yeni bir katman ekler. Bu nedenle araştırmacı için "şecerenin metni" kadar "şecerenin dolaşım tarihi" de önemlidir (Işık, 2026, s. 975-977; Işık, 2024, s. 816-618).

Osmanlı Ulemasının Şecerelerinin Düzenlenmesi ve Şecerelerde Yer Alan Bilgiler

Osmanlı ulemasına ait şecereler, bir ilmiye mensubunun yalnızca biyolojik soyunu gösteren belgeler olarak değerlendirilmemelidir. Bu tür şecereler, kişinin mensup olduğu aileyi ve nesep zincirini ortaya koymanın yanı sıra ulema ailelerinde ilmî ve meslekî sürekliliğin takip edilmesine de imkân vermektedir. Özellikle birden fazla kuşakta müderris, kadı, kazasker, müftü veya şeyhülislâm yetiştiren ailelerde şecere, aile tarihi ile ilmiye tarihinin kesiştiği önemli bir kaynak niteliği kazanmaktadır. Bununla birlikte ulema şecerelerinde nesep zinciri ile meslek veya makam silsilesinin birbirinden ayrılması gerekir. Bir şahsın başka bir âlimin öğrencisi, mülâzımı veya halefi olması biyolojik akrabalık anlamına gelmediğinden şecerenin temelini öncelikle baba-oğul ve diğer akrabalık ilişkileri oluşturmaktadır (Yıldız, 2021).

Bir ulema şeceresinin hazırlanmasında öncelikle şecerenin merkezindeki şahıs belirlenerek bu kişinin baba, dede ve daha önceki ataları kuşaklar halinde geriye doğru tespit edilir. Ardından aynı atadan gelen kardeşler ve bunların çocukları belirlenerek ailenin farklı kolları oluşturulur. Şecerenin güvenilirliği bakımından her kuşağın mümkün olduğu ölçüde bağımsız kaynaklarla doğrulanması gerekir. Bu amaçla ilmiye mensuplarına ait ruûs ve mülâzemet kayıtları, tarîk defterleri, kadı ve müderris kayıtları, şer'iyye sicilleri, tereke defterleri, vakfiyeler, mezar kitabeleri, biyografi ve tabakat eserleri ile aile evrakı birlikte kullanılabilir. Böylece şecere, yalnız aile içinde aktarılan sözlü bilgiye değil, farklı tarihî kayıtların karşılaştırılmasına dayanan bir nesep ağına dönüştürülebilir (Sarıyıldız, 2009, s. 134-135).

Ulema şeceresinde her şahıs için mümkün olduğu ölçüde adı ve künyesi, baba adı, lakabı, nisbesi, mahlası, doğum ve ölüm tarihleri, doğum veya ikamet yeri, ilmî unvanı ve ilmiye mesleğindeki görevleri kaydedilmelidir. Müderrislik yaptığı medrese, kadılık yaptığı kaza, kazaskerlik, müftülük veya şeyhülislâmlık gibi görevleri varsa bunların tarihleri de ismin

altında kısa bilgiler halinde gösterilebilir. Ayrıca kişinin hocaları, icazet aldığı âlimler, mülâzemete giriş şekli ve önemli öğrencileri şecerenin açıklama kısmında belirtilebilir. Ancak bu bilgiler biyolojik nesep çizgisine dâhil edilmemeli; ilmî silsileyi gösteren tamamlayıcı bilgiler olarak ayrıca kaydedilmelidir (Yıldız, 2023).

Bu bakımdan ulema şecerelerinin incelenmesi, Osmanlı ilmiye teşkilâtının yalnız kurumsal yapısını değil, bu yapıyı kuşaklar boyunca taşıyan ailelerin sürekliliğini de ortaya çıkarabilir. Şecerede aynı aileden kaç kişinin ilmiye mesleğine girdiği, hangi görevlerde yoğunlaştıkları, hangi ulema aileleriyle evlilik bağı kurdukları ve belirli makamların aile içinde kuşaklar boyunca devam edip etmediği tespit edilebilir. Böylece şecere, Osmanlı ulemasının aile, akrabalık, eğitim ve kariyer ilişkilerinin birlikte analiz edilmesine imkân veren özgün bir tarih kaynağı hâline gelir.

Sonuç

Osmanlı ulemasının şecereleri, ilmiye tarihinin aile, statü, hafıza ve kurumsal kayıt boyutlarını aynı anda görünür kılan özgün kaynaklardır. Şeyhülislâmlık bünyesindeki Sicill-i Ahvâl İdaresi ile Nakîbü'l-eşrâflık kayıtları birlikte değerlendirildiğinde, Osmanlı bürokrasisinin soy bilgisini farklı amaçlarla fakat birbirini tamamlayacak biçimde kayda geçirdiği görülmektedir. Sicill-i Ahvâl dosyaları ulemanın kimlik, eğitim ve memuriyet serüvenini aile bilgileriyle birleştirirken, Nakîbü'l-eşrâflık özellikle seyyid ve şerif nesebinin tanınması ve korunmasında uzmanlaşmış bir kurumsal hafıza üretmiştir.

Ulema dosyalarında tespit edilen örnekler, şecerenin tek bir belge biçimine indirgenemeyeceğini göstermektedir. Seyyid İbrahim Nuri Efendi'nin şecere sureti, Seyyid Mehmed Hanefi Efendi'nin nazım şeceresi ve Gazze mahkemesi onaylı nüshası, Seyyid Mehmed Maruf Efendi'nin silsilenâmesi, Musa Şefik Efendi'nin Hâlid b. Velîd soyuna bağlanan şeceresi ve Hatibzâde Mehmed Ebunnasr Efendi'nin Abdülkadir Geylânî'ye uzanan neseb-i şerifi, soy bilgisinin edebî, hukukî, bürokratik ve dinî temsil biçimlerinin bir arada bulunduğunu ortaya koymaktadır.

Bu belgelerin en önemli katkısı, ulema biyografisini aile tarihine bağlamasıdır. Bir âlimin kariyeri yalnızca medrese ve makam sıralamasıyla değil, içinde yetiştiği hane, aile unvanı, nesep iddiası, akrabalık çevresi ve coğrafî hareketliliğiyle birlikte okunabilir. Böylece ilmiye sınıfı, bireylerden oluşan soyut bir meslek grubu olmaktan çıkar; kuşaklar boyunca devam eden, birbirleriyle evlilik ve eğitim ilişkileri kuran, farklı şehirlerarasında hareket eden aile ağları hâlinde görünür olur.

Bununla birlikte şecereler eleştirel kaynak okuması gerektirir. Arşiv kayıpları, öz-beyan niteliği, uzun zincirlerin kronolojik sorunları, isim tekrarları, kadınların görünmezliği ve statü üretme amacı, her belgeyi bağlam içinde değerlendirmeyi zorunlu kılar. Şecerenin verdiği bilgi "belgenin iddiası" ile "tarihçinin doğrulayabildiği olgu" ayrımı korunarak kullanılmalıdır. Özellikle erken dönemlere uzanan soy zincirlerinde bu ihtiyat, akademik güvenilirliğin temel şartıdır.

Sonuç olarak Osmanlı ulemasının şecereleri, yalnızca soybilim merakına cevap veren belgeler değildir. Bunlar, Osmanlı devletinin insanları ve statüleri nasıl kaydettiğini, ulema ailelerinin geçmişlerini nasıl temsil ettiğini, dinî ve meslekî meşruiyetin hangi kaynaklardan beslendiğini ve aile hafızasının bürokratik hafızayla nasıl birleştiğini gösteren birincil kaynaklardır. Şecerelerin Sicill-i Ahvâl dosyaları, Nakîbü'l-eşrâf defter ve belgeleri, şer'iyye sicilleri, vakfiyeler, terekeler, icazetler ve biyografi eserleriyle çapraz okunması, Osmanlı ilmiye tarihini daha ilişkisel ve çok boyutlu biçimde yeniden kurma potansiyeline sahiptir. Bu nedenle gelecekte geniş ölçekli bir "Osmanlı Uleması Jeneoloji Veri Tabanı"nın hazırlanması, hem klasik tarihçiliğe hem de dijital beşerî bilimlere kalıcı bir altyapı sağlayacaktır.

Kaynakça

Çetin, A. (2005). "Sicill-i Ahvâl Defterleri ve Dosyaları Hakkında Bir Araştırma". Vakıflar Dergisi 29/87-104.Fayda, Mustafa. "Ensâb." Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi. 11/244-249. İstanbul: TDV Yayınları, 1995.
Işık, A. (2014). "Osmanlı Devleti'nde Nakîbü'l-eşrâflık Müessesesi ve Meşîhat Arşivindeki Nakîbü'l-eşrâf Defterleri", Alevilik Araştırmaları Dergisi 8, 213-285.
Işık, A. (2015). "Osmanlı Devleti'nde Nakîbü'l-eşrâflık Müessesesi ve Nakîbü'l-eşrâf Kaymakamları", Alevilik Araştırmaları Dergisi 10, 185-228.
Işık, A. (2016). "Siyâdet Hüccetleri ve İrşâd İcâzetnâmelerinin Semantik ve Sembolik Tahlili", Alevilik Araştırmaları Dergisi 11, 129-179.
Işık, A. (2021). Meşîhat Arşivi Belgeleri Işığında Seyyidler ve Nakîbü'l-eşrâflık Müessesesi, Ankara: İlahiyat Yayınları.
Işık, A. (2021). "Kızılbaşlıkla İtham Edilen Bir Nakîbü'l-Eşrâf Seyyid Mahmut Efendi'nin Hayatı Ve Şeceresi". BEÜ İlahiyat Fakültesi Dergisi 8/2, 385-410.
Işık, A. (2021). "Maktül Şeyhülislâm Feyzullah Efendi'nin Torunu Nakîbü'l-Eşrâf Abdullah Efendi'nin Hayatı ve Terekesi". e-Makalat Mezhep Araştırmaları Dergisi 14/2, 904-947.
Işık, A. (2023). Bektaşiliğin Yasaklanmasının Önemli Aktörlerinden Şeyhülislam Yâsincizâde Abdülvehhap Efendi'nin İlmî ve Siyasi Etkinliği. İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi, 12(5), 2887-2908. https://doi.org/10.15869/itobiad.1381260
Işık, A. (2024). Şeyhülislam Sadullah Sadi Çelebi'nin Hayatı ve Kızılbaşlarla İlgili Fetvası. İnsan ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi, 13(2), 815-838. https://doi.org/10.15869/itobiad.1462594
Işık, A. (2025). Osmanlı Son Dönem Âlimlerinden Seyyid Ali Haydar Zühtü Efendi (Hayatı, Ailesi ve Ḥadîḳatü'l-ʿUḳalâʾ Adlı Kelâm Eseri). Kader, 23(1), 313-334. https://izlik.org/JA44LD68DC
Işık, A. (2026). The Institutional Representation and Legitimacy of the Ahl al-Bayt in the Ottoman Balkans: Sayyids and the Deputies of Naqib al-Ashraf. Dinbilimleri Akademik Araştırma Dergisi, 26(2), 973-1001. https://doi.org/10.33415/daad.1911305
İstanbul Müftülüğü Meşihat Arşivi. Sicill-i Ahvâl Defterleri. No. 57-64.

İstanbul Müftülüğü Meşihat Arşivi (MŞH), Sicill-i Ahvâl İdaresi (SAİD), nr. 57-63; MŞH, SAİD, 69/3, 611/A; MŞH, SAİD, 225/20, 3734/B; MŞH, SAİD, 15/6, 117/A; MŞH, SAİD, 225/14, 3730; MŞH, SAİD, 224/24, 3720/B.
Sarıyıldız, G. (2004). Sicill-i Ahvâl Komisyonu'nun Kuruluşu ve İşlevi (1879-1909). İstanbul: Der Yayınları.
Sarıyıldız, G.. "Sicill-i Ahvâl Defterleri". Türkiye Diyanet Vakfı İslam Ansiklopedisi. 37/134-136. İstanbul: Diyanet Vakfı Yayınları, 2009.
Yıldız, E. (2023). Xıx. Yüzyılda Bir Osmanlı Şeyhülislâmı: Mehmet Cemaleddin Efendi'nin Nesebi Ve İlmi Mirası. Dicle Akademi Dergisi, 3 (2) , 147-175.
Yıldız, E. (2023). Hz. Halid B. Velid Neslinden Musa Şefik Efendi'nin Şeceresi Ve İcâzetnâmesinin Tahlili. Avrasya Sosyal ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi, 10(4), 320-343. https://izlik.org/JA94XT27CE
Yıldız, E. (2021). Bâb-ı Fetvâ Sicill-i Ahvâl İdaresi Belgelerinin Ensâb İlmi Açısından Önemi. Akademik Platform İslami Araştırmalar Dergisi, 5(2), 270-302. https://doi.org/10.52115/apjir.969238
Yurdakul, İ., & Aydın, B. (2017). Şeyhülisamlık Kurumu'nun Tarihçesi, Kaynaklar ve İlgili Literatür. Türkiye Araştırmaları Literatür Dergisi, 12(23), 379-417. https://izlik.org/JA48GJ75FH

MEKÂNDAN SÖYLEME: RİCHARD SERRA'NIN TİLTED ARC VE FRED WİLSON'IN MİNİNG THE MUSEUM YAPITLARINDA MEKÂNA ÖZGÜLÜĞÜN DÖNÜŞÜMÜ

Dr. Öğr. Üyesi / Asst. Prof. Zafer Ali Akşit
Yeditepe University, Faculty of Art and Design, 34755 Ataşehir, İstanbul
ORCID ID: 0000-0002-5876-7242

ÖZET

1960'lar ve 1970'lerde mekâna özgü sanatın ortaya çıkışı, sanat nesnesi ile onu çevreleyen mekân, izleyici ve bu ilişkiler aracılığıyla ortaya çıkan bağlamsal anlamlar arasındaki ilişkiyi yeniden kurmuştur. Modern sanatın bilinçli olarak koparmaya çalıştığı bu ilişkinin postmodern sanat üretim stratejilerinin odak noktalarından biri hâline gelmesiyle birlikte sanatçılar, mekâna özgü sanatın bağlamını ve işlevini, hatta "mekân" kavramının kendisini genişletmeye başlamışlardır. Bu çalışma, sanatçılar, sanat yapıtları ve sanatçıların üretim gerçekleştirdikleri mekânlar arasındaki ilişkiye yönelik farklı yaklaşımları, iki mekâna özgü sanat yapıtının karşılaştırılması üzerinden daha somut hâle getirmeyi amaçlamaktadır. Richard Serra'nın Tilted Arc adlı yapıtı ile Fred Wilson'ın Mining the Museum adlı çalışmasının karşılaştırılması, mekâna özgülük anlayışının bir yerin fiziksel ve fenomenolojik koşullarından, o yerin anlamını üreten kurumsal, tarihsel ve söylemsel yapılara doğru genişlediğini ortaya koymaktadır. Serra'nın yapıtında "mekân"ın politik boyutunun kesinlikle göz ardı edildiği söylenemez; ancak yapıt anlamını beden, nesne, mimari ve hareket arasındaki ilişkiler aracılığıyla üretirken, Wilson'ın müdahaleleri kurumsal otorite, sınıflandırma, temsil ve bastırılmış tarihler üzerinden şekillenen iktidar yapılarını görünür kılar. Bu karşılaştırma, mekâna özgülüğün birbiriyle kesişen ancak birbirinden farklı biçimlerini, bunlardan birinin diğerinden üstün olduğunu öne sürmeden ele almaktadır. Tilted Arc, sanatçı tarafından tasarlanmış ve üretilmiş bir nesnedir; ölçeği, yönelimi ve mekânsal geçişi engelleyen yapısı aracılığıyla çevresindeki mimariye fiziksel ve boyutsal olarak bağlıdır. Buna karşılık Mining the Museum, bir müze koleksiyonunda yer alan nesnelerin yeniden konumlandırılması yoluyla gerçekleştirilen bir müdahale eylemidir. Bu müdahale, nesneler arasında yeni ilişkiler kurarken, bu ilişkiler üzerinden yeni kavramsal ve toplumsal anlamların ortaya çıkmasını sağlar. Bu iki yapıt birlikte değerlendirildiğinde, "mekân"ın hem sanat yapıtının fiziksel olarak bağlı olduğu somut bir koşul hem de sanatsal müdahale yoluyla yeniden yapılandırılan mevcut nesneler, anlatılar ve kurumsal ilişkiler ağı olarak işlev gördüğü söylenebilir.

Anahtar kelimeler: Mekâna Özgü Sanat, Richard Serra, Fred Wilson, Mekânsal Bağlam

EXPANDING BOUNDARIES OF SITE SPECIFICITY: A COMPARATIVE ANALYSIS OF RICHARD SERRA'S TILTED ARC AND FRED WILSON'S MINING THE MUSEUM

ABSTRACT

The emergence of site-specific art in the 1960s and 1970s re-established the relationship between the art object and its surroundings, its audience, and the contextual meanings that emerge through these relationships. As this relationship, which modern art deliberately sought to sever, became a focal point in postmodern artmaking strategies, artists began to expand the context and function of site-specific art, and even the meaning of 'site' itself. This study aims to render the differing understandings of the relationship between artists, their work, and the sites in which they operate more tangible through a comparison of two site-specific artworks. Comparing Richard Serra's Tilted Arc and Fred Wilson's Mining the Museum reveals an expansion of site specificity from the physical and phenomenological conditions of a location toward the institutional, historical, and discursive structures that produce its meaning. Although Serra's work most certainly does not lack a political understanding of 'site', it generates meaning through the relationship between body, object, architecture, and movement, whereas Wilson's interventions reveal power structures emerging through institutional authority, classification, representation, and suppressed histories.

The comparison examines overlapping yet distinct forms of site specificity without suggesting that one is superior to the other. Tilted Arc is an object designed and created by the artist, physically and dimensionally tethered to its surrounding architecture through its scale, orientation, and obstruction. By contrast, Mining the Museum is an act of intervention created by relocating objects from a museum collection, generating new relations between objects and through them, new conceptual and social implications. It can be said that, together, the works show how "site" can function both as a physical condition to which an artwork is bound and as a network of existing objects, narratives, and institutional relations reconfigured through artistic intervention.

Keywords: Site-Specific Art, Richard Serra, Fred Wilson, Spatial Context

ASSESSMENT OF DAMAGE AND COLLAPSE MECHANISMS IN HISTORIC MASONRY BRIDGES UNDER SEISMIC EFFECTS

Öğr. Gör. Dr. Özgül DEMİRAĞ
Gumushane University, Gumushane Vocational School, Depart. of Architecture and Urban Planning, 29100 Gumushane
ORCID ID: 0000-0002-4605-1378

ABSTRACT

Historic masonry bridges are significant elements of cultural heritage that convey the engineering philosophies and construction technologies of past eras to the present day. However, in regions prone to seismic activity, the inherent characteristics of their structural systems—combined with material aging and interventions over time—pose various risks to structural safety. The interaction between the arch, pier, fill, and superstructure distinguishes the seismic behavior of these structures from that of other masonry buildings. This study assesses the structural behavior of ancient masonry bridges under seismic action, as well as the related damage and collapse causes, based on the current literature. This scope examines phenomena related to bridge geometry, span characteristics, pier stiffness, fill behavior, connection conditions, and soil effects, including stress and deformation concentrations in arches and piers, sliding and separation between stone units and mortar joints, mechanisms dictated by arch geometry, pier rotation and loss of stability, out-of-plane movements of bridge elements, and partial or progressive collapse mechanisms. Furthermore, the study discusses the fundamental mechanisms affecting the seismic safety of historic bridges, drawing on current seismic research and structural damage observed in historic masonry structures following major earthquakes in Turkey.

The study's ultimate goal is to offer a conceptual framework that focuses on a comprehensive assessment of the underlying structural processes and possible collapse mechanisms rather than only recognizing apparent damage.

Keywords: Collapse mechanisms, damage mechanisms, historic masonry bridges, seismic effects

TARİHİ YIĞMA KÖPRÜLERDE DEPREM ETKİSİ ALTINDA HASAR VE GÖÇME MEKANİZMALARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Tarihi yığma köprüler, geçmiş dönemlerin mühendislik anlayışını ve yapım teknolojilerini günümüze taşıyan önemli kültürel miras unsurlarıdır. Bununla birlikte, deprem tehlikesinin bulunduğu bölgelerde bu yapıların özgün taşıyıcı sistem özellikleri, malzeme yaşlanması ve zaman içinde gerçekleştirilen müdahaleler, yapısal güvenlik açısından çeşitli riskler ortaya çıkarmaktadır. Kemer, ayak, dolgu ve üstyapı arasındaki etkileşim, bu yapıların deprem etkisi altındaki davranışını diğer yığma yapılardan farklılaştırmaktadır. Bu çalışmada, tarihi yığma köprülerin deprem etkisi altında sergilediği yapısal davranış ile buna bağlı hasar ve göçme mekanizmalarının literatür temelinde değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda kemer ve ayaklarda oluşan gerilme ve deformasyon yoğunlaşmaları, taş birimler ve derzler arasındaki kayma ve ayrılmalar, kemer geometrisine bağlı mekanizmalar, ayaklarda dönme ve stabilite kaybı, köprü elemanlarının düzlem dışı hareketleri ve kısmi ya da ilerleyici göçme mekanizmaları; köprü geometrisi, açıklık özellikleri, ayak rijitliği, dolgu davranışı, bağlantı koşulları ve zemin etkileriyle ilişkili olarak ele alınmaktadır. Ayrıca güncel deprem araştırmaları ve Türkiye'deki büyük depremler sonrasında tarihi yığma yapılarda gözlenen yapısal hasarlar dikkate alınarak, tarihi köprülerin deprem güvenliğini etkileyen temel mekanizmalar tartışılmaktadır. Çalışma sonucunda, gözlenen hasarların yalnızca tanımlanması yerine, hasar oluşumunun altında yatan yapısal süreçlerin ve olası göçme mekanizmalarının birlikte değerlendirilmesine yönelik kavramsal bir çerçeve sunulması hedeflenmektedir.

Anahtar kelimeler: Göçme mekanizmaları, hasar mekanizmaları, tarihi yığma köprüler, deprem etkisi

THE EFFECT OF DOME–WALL INTERACTION ON THE SEISMIC BEHAVIOR OF HISTORIC MASONRY TOMBS: A STRUCTURAL ASSESSMENT

Öğr. Gör. Dr. Özgül DEMİRAĞ
Gumushane University, Gumushane Vocational School, Depart. of Architecture and Urban Planning, 29100 Gumushane
ORCID ID: 0000-0002-4605-1378

ABSTRACT

Historic masonry tombs exhibit distinctive structural behavior under seismic effects due to their original geometries, structural configurations, and domed roofing systems. In assessing the seismic performance of these structures, it is important to consider not only the load-bearing capacity of the masonry walls but also the interaction between the mass, stiffness, and seismic response of the dome and the supporting walls. This study aims to structurally assess the role of dome–wall interaction in the seismic behavior of historic masonry tombs based on a comprehensive review of the relevant literature. In this context, the effects of dome geometry, dome and wall stiffness, dome mass, transition zones, drum characteristics, and dome–wall connection conditions on seismic load transfer and internal force distribution are examined. Furthermore, the relationships among tensile stresses, radial and circumferential cracking, deformation concentrations, in-plane and out-of-plane wall responses, rotational behavior, local stability loss, and potential collapse mechanisms are discussed. Recent studies indicate that dome geometry and support conditions can play a critical role in earthquake-induced damage development and collapse behavior. Accordingly, rather than treating the seismic response of historic tombs solely as a general performance assessment problem, this study focuses on the interaction and load-transfer mechanisms of the dome–wall structural system. The study aims to provide a conceptual framework highlighting the role of dome–wall interaction in seismic safety assessment and conservation decisions for historic masonry tombs.

Keywords: Dome–wall interaction, historic masonry tombs, seismic behavior, structural assessment

TARİHİ YIĞMA TÜRBELERDE KUBBE–DUVAR ETKİLEŞİMİNİN DEPREM DAVRANIŞINA ETKİSİ: YAPISAL BİR DEĞERLENDİRME

ÖZET

Tarihi yığma türbeler, sahip oldukları özgün geometrileri, taşıyıcı sistem kurguları ve kubbeli üst örtüleri nedeniyle deprem etkisi altında kendine özgü bir yapısal davranış sergilemektedir. Bu yapıların deprem performansının değerlendirilmesinde yalnızca duvarların taşıyıcılık özelliklerinin değil, kubbenin kütlesi, rijitliği ve yatay yükler altındaki davranışının duvarlarla

olan etkileşimiyle birlikte ele alınması önem taşımaktadır. Bu çalışmada, tarihi yığma türbelerde kubbe–duvar etkileşiminin deprem davranışındaki rolünün literatür temelinde yapısal açıdan değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Bu kapsamda kubbe geometrisi, kubbe ve duvar rijitlikleri, kubbe kütlesi, geçiş bölgesi, tambur özellikleri ve kubbe–duvar birleşim koşullarının deprem sırasında yük aktarımı ve iç kuvvet dağılımı üzerindeki etkileri incelenmektedir. Ayrıca kubbelerde oluşabilecek çekme gerilmeleri, radyal ve çevresel çatlaklar, deformasyon yoğunlaşmaları, duvarlarda düzlem içi ve düzlem dışı davranış, dönme ve yerel stabilite kayıpları ile olası göçme mekanizmaları arasındaki ilişkiler değerlendirilmektedir. Güncel araştırmalar, özellikle kubbe geometrisi ve destek koşullarının deprem kaynaklı hasar ve göçme davranışında belirleyici olabileceğini göstermektedir. Bu doğrultuda çalışma, tarihi yığma türbelerin deprem davranışını yalnızca genel bir performans problemi olarak ele almak yerine, kubbe–duvar sisteminin birlikte çalışma biçimine odaklanmaktadır. Sonuç olarak, kubbe–duvar etkileşiminin tarihi türbelerin deprem güvenliği ve koruma kararları üzerindeki belirleyici rolünü ortaya koyan kavramsal bir değerlendirme çerçevesi sunulması hedeflenmektedir.

Anahtar kelimeler: Kubbe–duvar etkileşimi, tarihi yığma türbeler, deprem davranışı, yapısal değerlendirme

YENİ BİR SİVİL ANAYASA PERSPEKTİFİNDEN KAMU DENETÇİLİĞİ KURUMUNUN ANAYASAL KONUMUNUN GÜÇLENDİRİLMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Ayşe YAMAN KAPLAN
Süleyman Demirel Üniversitesi, Hukuk Fakültesi,32200 Merkez, Isparta
ORCID ID: 0000-0002-4111-0420
Beyza İŞBİLİCİ ERDOĞAN
Süleyman Demirel Üniversitesi, Hukuk Fakültesi, 32200 Merkez, Isparta
ORCID ID: 0009-0003-2211-5490

ÖZET

Türkiye'de yeni bir sivil anayasa ihtiyacı; mevcut Anayasanın askeri darbe sonrası hazırlanmış olduğu, toplumsal katılım ve meşruiyetine ilişkin ciddi eleştiriler sebebiyle hem hukuki hem siyasi olarak tartışmalara konu olmaktadır. Bu bildiride, Türkiye'de yeni bir sivil anayasanın oluşturulması bağlamında; Kamu Denetçiliği Kurumunun, özellikle temel hak ve hürriyetlerin korunmasına katkı sağlamak amacıyla, bireysel başvuru ve ilgili normlara ilişkin anayasal denetim başvurusunda bulunma yetkileriyle donatılması önerilmektedir.

Bu yönüyle özgün bir nitelik taşıyan kamu denetçiliğinin, yalnızca idareye karşı tavsiye vermekle kalmayarak yeni anayasal denetim sistemimizin içerisinde etkin bir organ haline getirilmesi önerilmektedir.

Bildiride, kamu denetçisinin anayasal konumunun güçlendirilmesine yönelik öneriler tartışılarak; bu bağlamda bazı dünya ülkelerinde de kamu denetçisine tanınan yetkiler örnek olarak ele alınmıştır. Yeni ve sivil bir anayasa perspektifinde, kamu denetçiliği kurumunun sadece idari denetim değil, anayasal denetim fonksiyonları da üstlenmesi; bireysel başvuru ve iptal davası açma yetkisiyle donatılması önerilmektedir. Anayasamızda da kamu denetçisine benzer yetkiler tanınması, özellikle temel hak ve özgürlüklerin korunması açısından alternatif ve tamamlayıcı bir rol oynayabilecektir.

Anahtar Kelimeler: Kamu Denetçiliği, Sivil Anayasa, Ombudsman, Anayasal Denetim, Bireysel Başvuru, Soyut Norm Denetimi

STRENGTHENING THE CONSTITUTIONAL POSITION OF THE OMBUDSMAN INSTITUTION FROM THE PERSPECTIVE OF A NEW CIVILIAN CONSTITUTION

ABSTRACT

The need for a new civilian constitution in Türkiye has become a subject of both legal and political debate, particularly due to the fact that the current Constitution was drafted in the aftermath of a military coup and has been subject to serious criticism regarding its societal participation and legitimacy. This paper proposes that, within the framework of establishing a new civilian constitution in Türkiye, the Ombudsman Institution should be vested with powers

to submit individual applications and applications for constitutional review concerning relevant legal norms, particularly with a view to contributing to the protection of fundamental rights and freedoms.

The Ombudsman Institution was incorporated into the Turkish constitutional system through the 2010 constitutional amendments and became operational in 2012 following its institutional establishment. However, in its current form, its constitutional status remains limited, while its decisions are advisory in nature. Historically, however, the concept of the "right to petition for redress" has deep roots in the Turkish-Islamic tradition of statecraft. As a modern extension of this tradition, the institution of the ombudsman was present within the Divan-ı Hümayun (Imperial Council) of the Ottoman Empire and evolved into an effective oversight mechanism through which individuals could directly convey their grievances concerning the administration. In this respect, the Ombudsman Institution, which possesses a distinctive historical and institutional character, should not be confined merely to issuing recommendations to the administration but should become an effective body within the new system of constitutional review.

This paper discusses proposals aimed at strengthening the constitutional status of the Ombudsman and examines, by way of example, the powers granted to ombudsmen in certain countries around the world. From the perspective of a new and civilian constitution, it is proposed that the Ombudsman Institution should assume not only administrative oversight functions but also functions of constitutional review, and should be vested with the authority to submit individual applications and bring actions for annulment. Granting similar powers to the Ombudsman under the Turkish Constitution could provide an alternative and complementary mechanism, particularly for the protection of fundamental rights and freedoms.

Keywords: Ombudsman Institution, Civilian Constitution, Ombudsman, Constitutional Review, Individual Application, Abstract Norm Review

1.GİRİŞ

Türkiye'de yeni bir sivil anayasa ihtiyacı; mevcut Anayasa'nın askeri darbe sonrasında ondan etkilenerek hazırlanmış olduğu, çok kez değişikliğe uğramış olduğu, toplumsal katılım ve meşruiyetine ilişkin ciddi eleştiriler sebepleriyle hem hukuki hem siyasi olarak gündemdedir.

Mevcut anayasal düzende norm denetimi ve bireysel başvuru yolları, hem iş yükü hem de denetim çeşitliliği açısından yetersiz kalabilmektedir. Kamu Denetçiliği Kurumu'nun ilgili normların anayasal denetimi için başvuru yetkisinin genişletilmesi, özellikle temel hak ve

özgürlüklerin korunması bağlamında alternatif ve tamamlayıcı bir denetim mekanizması doğurabilir.

Bu bildiride, Türkiye'de yeni bir sivil anayasa yapılmasına yönelik tartışmalar çerçevesinde, Kamu Denetçiliği Kurumu'nun, anayasal konumunun güçlendirilmesini; özellikle temel hak ve özgürlüklerin korunmasına katkı sağlamak amacıyla, karşılaştırmalı hukuk kapsamında da değerlendirme yapılarak bireysel başvuru ve ilgili normlara ilişkin anayasal denetim başvurusunda bulunma yetkileriyle donatılması önerilmektedir.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1.Yeni Bir Sivil Anayasa İhtiyacı Ve Anayasal Denetimin Önemi

Türkiye'deki anayasal gelişmeleri sırasıyla 1921 Anayasası (Teşkilat-ı Esasiye Kanunu), 1924 Anayasası, 1961 Anayasası ve 1982 Anayasası olarak dört dönemde incelenmek mümkündür (Kemal Gözler, 2018). 1921 Anayasası, yumuşak ve kısa nitelik taşımakta olup toplumdaki temel bazı konuları ele almış, ayrıntılı olarak düzenlenmemiş olsa da dönemin ihtiyaçlarını kısa sürede çözüme ulaştırabilirmiştir. 1921 Anayasası ile Meclis Hükümeti Sistemi ile kuvvetler birliği ilkesini benimsenmiştir. 1924 Anayasası ise İkinci Dönem Türkiye Büyük Millet Meclisi'nin seçilmesinin ardından yeni bir anayasa ihtiyacını karşılamak üzere düzenlenmiştir. Çünkü bu dönemde 1921 Teşkilat-ı Esasiye Kanunu yeni kurulmuş bir devletin ihtiyaçlarını karşılayabilecek niteliğe haiz bulunmamıştır (Özbudun,2013).

Özgürlükçü ve demokratik niteliğe haiz olarak kabul edilen 1961 Anayasası, 27 Mayıs 1960 Darbesi neticesinde dünyaya gelmiş bir anayasadır. Anayasa'nın özgürlükçü tutumunun 1970'li yıllara kadar devam etmiş olduğunu görsek de 1970'li yıllardaki siyasi krizler özgürlükçü hükümlerin kısıtlanmasına sebebiyet verecek önemli değişikliklere gidilmesine yol açmıştır.

Son olarak 1982 Anayasası'nın da oluşumunda 12 Eylül Darbesi'nden izler taşıması ve zaman içerisinde birçok maddesinin değişikliğe uğrayarak hükümleri arasındaki uyumun kaybolması eleştirileri nedeniyle yeni ve darbe ürünü olmayan sivil bir anayasa ihtiyaç haline gelmiştir.

Görüleceği üzere Türkiye'deki Anayasalar'ın ve anayasa değişikliklerinin ortaya çıkış sürecine genellikle toplumsal devrimler veya darbeler aracılık etmiştir. 1921 Anayasası haricinde başlangıç noktası askeri darbe ürünleri olan anayasalar bu noktada her dönem eleştiri konusu olmuştur. Darbe ürünleri olarak nitelendirilen bu anayasalar ise toplumda yeni bir sivil anayasa yapılması beklentisine sebebiyet vermiştir.

2.2. Sivil Anayasa Kavramı ile Temel Hak ve Özgürlüklerin Korunmasında Anayasal Denetimin Rolü

Anayasaların amacı, hükümet otoritesinin kendisini yönetecek ve toplumsal sınırlarını belirleyecek kuralları bir araya getirmektir (Heywood,2010). Her anayasa, kendi toplumunun ruhunun, yönetiliş biçiminin ve sınırlarının açık bir göstergesidir. Toplumsal anlaşma metinleri olan anayasaların, toplumda yüksek oran ile kabul görmesi ve ihtiyaçları karşılaması temel unsurlarındandır(Göç,2025). Cumhuriyet Tarihinde ise yukarıda anlatmış olduğumuz ve detaylı incelendiğinde karşılaşacağımız birçok siyasi ve toplumsal olaylar anayasaları her dönemde etkilemiştir. Bu sebepledir ki; dört anayasanın da oturması gereken demokratik ve özgür ortam çoğunlukla zarar görmüş olup anayasaların meşruiyetini de olumsuz anlamda etkilemiştir.

1982 Anayasası her ne kadar hukuki zemine uygun olarak kabul edilmiş ise de yine bir darbe ürünü olmakla birlikte referandum sürecinin dahi baskı altında yönetilmesi tarihte her zaman eleştirilere konu olmuştur. 1982 Anayasası'nda ilk değişiklik 06/09/1987 tarihinde ve son değişiklik 16/04/2017 tarihinde olmak üzere şimdiye kadar on dokuz kez değişikliğe uğramıştır (Kılıç ve Yalçın Atalay, 2023). 1982 Anayasası'nın gerçek bir demokratik düzende ve toplumsal katkı ile yapıldığı kabul edilse dahi yapılan birçok değişiklik son noktada Anayasa'yı başka bir hale getirmiştir. 1982 Anayasası'na yönelik tüm bu eleştirilerin, temel hak ve özgürlükler başta olmak üzere birçok alanda toplumsal taleplere çözüm getiren sivil bir anayasa oluşturulması ile ortadan kaldırılması öngörülmektedir.

2.3. Kamu Denetçiliği Kurumunun Tarihsel Gelişimi Ve Türkiye'deki Anayasal Konumu

Kamu denetçiliği, vatandaşların kamu kurumlarının ve idarenin işlemlerine ilişkin şikâyetlerini inceleyen ve idarenin hukuka, hakkaniyete ve iyi yönetim ilkelerine uygun hareket etmesi için önerilerde bulunan, verdiği kararlar bakımından bağlayıcılığı olmayan bağımsız bir denetim mekanizmasıdır. Kamu Denetçiliği Kurumu'nun bir yargı organı olmamasının yanı sıra verdiği kararlara karşı herhangi bir itiraz veya kanun yolu da bulunmamaktadır.

Kamu Denetçiliği Kurumu, Türkiye'de 2010 Anayasa değişikliği ile Anayasa'ya dâhil edilmiş ve 2012 yılında teşkilatlanarak faaliyete başlamıştır. Mevcut haliyle Anayasa içerisindeki konumu sınırlı olup, kararları ise tavsiye niteliğindedir. Oysa tarihsel olarak incelediğimizde ise Türk-İslam devlet geleneğinde köklü bir geçmişe sahip olan "şikâyet hakkı" anlayışının çağdaş bir uzantısı olan ombudsmanlık, Osmanlı Devletinde Divan-ı Hümayun bünyesinde yer almış ve halkın yönetime yönelik şikâyetlerini doğrudan iletebildiği etkin bir denetim mekanizmasına dönüşmüştür(Coşkun ve Günaydın, 2015). Osmanlı Devleti'nde kamu

görevlilerinin veya temsilcilerinin haksız ve hukuka aykırı uygulamalarından kaynaklı vatandaş mağduriyetlerinde ombudsmanlık yolu ile şikâyet hakkı kullanılmıştır. Bu yapılar ise belirli görev/iş bölümüne ayrılmış olup; ihtisap müessesi, şurta teşkilatı, çarşı-pazar denetçileri, divan, divan-ı mezalim, kadı'l kudatlık, kazaskerlik makamı, kadılık sistemi, ahilik ve fütüvvet gelenekleri, meşveret/şura anlayışı ile uzlaştırma heyeti ve sulh meclislerinden oluşmaktadırlar (Fendoğlu, 2017). İlgili dönemde; Divan-ı Hümayun'e ulaşan şikayetler sonucunda kamu görevlileri ile ilgili soruşturmalar yapılmış, şikayet edilen kurum ile ilgili denetimler sıklaştırılmıştır(Coşkun ve Günaydın, 2015).

Günümüze gelindiğinde ise, Türkiye'de Kamu Denetçiliği Kurumu, idarenin eylemlerinin anayasa tarafından korunan temel hak ve özgürlükler bağlamında denetimi ihtiyacından doğduğunu söyleyebiliriz. 2010 yılındaki anayasa değişikliği ile Anayasa'nın 74. Maddesine "Kamu Denetçiliği Kurumu" dâhil edilmiş ve anayasal bir güvenceye sahip olmuştur. Kurum'un yasal dayanağı ise 14 Haziran 2012 tarihinde kabul edilerek 29 Haziran 2012 tarihli Resmi Gazete'de yayımlanan 6328 Sayılı Kanun düzenlemesidir. Bu düzenleme ile Kamu Denetçiliği Kurumu, kamu idaresi ve otoritelerinin işlemlerini, eylemlerini ve tutumlarını denetleyerek insan hakları, hukuk ve hakkaniyet ilkeleri gereğince incelemek ve idareye tavsiyelerde bulunmak üzere görevlendirilmiştir (Kamu Denetçiliği Kurumu, t.y.). Kurum, 29 Mart 2013 tarihi itibari ile ilk başvuru alımını yapmış ve resmen faal hale gelmiştir. Kurum ret, tavsiye, kısmen ret ve kısmen tavsiye olmak üzere üç şekilde karar verebilmektedir. Kurum tüm kararlarını gerekçeli bir şekilde halka açık şekilde yayınlamaktadır (Kamu Denetçiliği Kurumu, t.y.) Kurum'un, şikâyete konu idareye herhangi bir yaptırımda bulunma yetkisi olmamasına rağmen genel olarak tavsiye olarak verilen kararın idareler tarafından uygulandığı görülmektedir. Bu hususa ilişkin olarak Kamu Denetçiliği Kurumu her yılın raporunu yayınlamaktadır. Raporlar'da başvuru sayısı, tavsiye ve ret karar sayıları, tavsiye kararlarının idareler tarafından uygulanıp uygulanmadığına dair geri dönütler şeffaf bir şekilde yer almaktadır (Kamu Denetçiliği Kurumu, 2025). Kamu Denetçiliği Kurumu'nun 2025 yılının faaliyet verileri yer alan Yıllık Raporu incelendiğinde; Kurum'a iletilen başvuru sayısının bir önceki seneye nazaran %42,49 artış göstererek devreden dosyalarla birlikte toplamda 21.837'ye ulaştığı ve bu başvuruların %93,75'inin (20.473 adet) sonuçlandırıldığı anlaşılmaktadır. Kurum'un uyuşmazlıkları çözüme kavuşturma başarısı %77,69 oranı ile kayıtlara geçerken, Kurum tarafından sunulan tavsiye kararlarına idari mercilerin uyum sağlama oranı %59,38 seviyesinde gerçekleşmiştir. Müracaatların konu bazlı dağılımında kamu personeli rejimi (%30,40) ile adalet, milli savunma ve güvenlik alanları başı çekerken;

kurumsal bazda en fazla başvuruya maruz kalan merci %13,04'lük payla Adalet Bakanlığı olmuştur. Öte yandan, 2.042 uyuşmazlık dostane çözüm yollarıyla neticelendirilmiş ve dönem boyunca 777.000'i aşkın yurttaşa bilgilendirme desteği verilerek hak arama bilincinin geliştirilmesine doğrudan katkı sunulmuştur (Kamu Denetçiliği Kurumu, 2025). Rapor'da en çok şikâyete konu olan başlıklara da yer verilmiştir. Kamu personellerinin özlük hakları, atama, disiplin, nakil ve unvan değişiklikleri konuları, yargı hizmetleri ve ceza infaz kurumlarındaki uygulamalar, eğitim-öğretim kurum faaliyetleri, iş hukuku, iş sağlığı ve güvenliği, ekonomik ve vergi uyuşmazlıkları gibi konular başvurularda çoğunluğu oluşturmaktadır. Kurum'a yapılan başvurulardaki artış oranı toplumumuzda Kamu Denetçiliği Kurumu ile hak arama bilincinin geliştiğin ve kurumun görünürlüğünün arttığı söylenebilir. Başvurulardaki uyuşmazlıkların çözüme kavuşturulma oranının yüksekliği ise Kurum'un yönetsel etkinliğini ve işlevselliğini ortaya koymaktadır. Rapor'dan da anlaşılacağı üzere Kurum, yargı erkinin yükünü azaltan birey-devlet iletişiminde köprü sağlayan bir görev edinmiştir.

2.4 Karşılaştırmalı Hukukta Kamu Denetçiliği Ve Anayasal Denetim

Kamu denetçisi bir diğer adıyla ombudsman kavramı İsveç kökenli olup "bir kişi veya makam adına hareket eden temsilci" anlamına gelmektedir. Siyasi ve hukuki kavram olarak ise ombudsman; parlamentoya bağlı olarak veya parlamento adına kamu yönetimini ve idareyi denetlemek, vatandaşların idare karşısında karşılaştıkları sorunların çözümüne katkı sağlamak üzere görevlendirilen denetçidir. Dünyadaki birçok hukuk sisteminde de; yargısal yolların uzun sürmesi veya bireyin sorununa zamanında çözüm sağlayamaması hâlinde, ombudsmanlık mekanizması daha hızlı ve esnek bir başvuru imkânı sunması sebebiyle kendine önemli bir yer edinmiştir. Ayrıca ombudsmanlık, kamu yönetiminde aşırı bürokratikleşmenin ve sonucunda vatandaşın kamu hizmetlerine erişimini güçleştiren uygulamaların azaltılmasına da katkı sağlaması ile denetim mekanizmasının güçlü bir kolu haline gelmiştir (Fendoğlu,2017).

Ombudsmanlık kurumunun görev ve yetkileri ülkelerin hukuk sistemlerine, toplumsal yapılarına ve otorite tercihlerine göre farklılık gösterebilmektedir. Bazı ülkelerde kurumun temel işlevi insan haklarının korunması ve geliştirilmesi olarak belirlenirken, bazı sistemlerde devlet ile birey arasındaki ilişkilerin geliştirilmesi veya kamu yönetiminin denetlenmesi veya her ikisinin de denge halinde yönetilebilmesi olarak ön plana çıkmaktadır (Fendoğlu,2017). Bunun yanında ombudsmanlığın, bireyleri kötü yönetim uygulamalarına karşı korumayı temel görev edindiği örnekler de bulunmaktadır. Dolayısıyla ombudsmanlığın görev alanı ülkeden ülkeye değişmekle birlikte, Kurum'un ortak amaçları arasında hukuk devleti ilkesinin

güçlendirilmesi, temel hak ve özgürlüklerin korunması, kamu yönetiminde hesap verebilirliğin ve şeffaflığın artırılması ile idarenin daha etkin ve vatandaş odaklı hâle getirilmesi sayılabilir. Dünya genelinde ombudsmanlığın yaygınlaşmasında özellikle II. Dünya Savaşı sonrasında bireyin temel hak ve özgürlüklerinin daha güçlü biçimde korunmasına yönelik anlayışın gelişmesi etkili olmuştur (Fendoğlu,2017). Kamu yönetiminin genişleyen görev alanı karşısında bireylerin idareye karşı korunması ihtiyacı, geleneksel denetim yollarına ek olarak ombudsmanlık gibi alternatif denetim mekanizmalarının farklı ülkelerde benimsenmesini hızlandırmıştır.

2.5. Yeni Sivil Anayasa Perspektifinde Kamu Denetçiliği Kurumunun Anayasal Konumunun Güçlendirilmesi

Yukarıda anlattığımız üzere; kamu denetçiliği kurumu bireysel hakların korunmasına yönelik olarak alternatif bir çözüm yolu haline gelmiş olup günden güne toplum tarafından benimsenmeye başlanmıştır. Bu benimsenmeyi vatandaşların başvuru sayısındaki ve Kurum'un tavsiye niteliğindeki kararlarının idare tarafından uygulanması oranındaki artıştan açıkça anlamak mümkündür. Henüz yeni bir şikâyet yolu olmasına karşın mevzuat ve uygulamadaki sorunları kendi bünyesinde biriktirmesi nedeniyle gelişime ve katkıya açık olan Kamu Denetçiliği Kurumunun, eğer yeni sivil bir anayasa düzeni oluşturulacak ise, anayasal statüsünün güçlendirilmesi de önem arz etmektedir. Bu bağlamda yeni sivil bir anayasa yapımına ve anayasal yargı gelişimine katkı oluşturabileceğini düşündüğümüz Kamu Denetçisi Kurumu'na bireysel başvuru ve ilgili normlara ilişkin anayasal denetim yetkisi verilmesi ve buna uygun anayasa değişikliklerine gidilmesi anayasada korunan temel hak ve özgürlüklerin korunmasına ilişkin olarak olumlu etkide bulunacağı düşünülmektedir. Kamu Denetçilerinin güncel olarak da görev bölümü yaparak çalışmaları sebebiyle, ilgili oldukları alandaki mevzuatı iyi bilmeleri ve açıklıkları fark etmeleri olağandır. Ayrıca zaten halihazırda bireysel başvuruya konu olabilecek konuları *"şikayet"* adı altında incelemelerinden dolayı, mevzuat bağlamında sıkıntılı gördükleri şikayetleri bireysel başvuru veyahut norm denetimi yoluna götürerek anayasa yargısına önemli bir katkı sağlayacakları düşünülmektedir.

Kamu Denetçiliği Kurumunun anayasal denetim alanında güçlendirilmesini gerekli kılan unsurlardan biri de yukarıda açıkladığımız üzere; Kurumun sahip olduğu uygulamaya dayalı deneyim ve birikimdir. Vatandaşların hak arama hürriyetinin ve idarenin kamu hizmet sunumunun iyileştirilmesi bakımından öneme sahip olan Kurum, kendisine yapılan şikâyetler aracılığıyla bireylerin idare karşısında karşılaştıkları sorunları havuzundan biriktirerek doğrudan gözlemleme imkânına sahip olup ve benzer nitelikteki uyuşmazlıkların tekrar etmesi

hâlinde bunların yalnızca bireysel bir mağduriyet değil, ilgili normun mevzuatından veya uygulamasından kaynaklanan sistematik bir sorun olduğunu tespit edebilecektir (Sevinç ve Akyıldız, 2020). Bu yönüyle Kurum'un, anayasal hakların korunması bakımından önemli bir anayasal denetim mekanizması kolu olabileceği değerlendirilmektedir.

Burada önerilen modelde, Kamu Denetçiliği Kurumunun Anayasa Mahkemesinin yerine geçmesi veya yeni bir anayasa yargıçlığı oluşturmak değildir. Aksine önerideki amacımız, Kamu Denetçiliği Kurumu ile Anayasa Mahkemesi arasında tamamlayıcı bir ilişki kurularak Kurum'un havuzunda biriken ve bireysel başvuruya konu edilebilecek şikâyetleri çözüme kavuşturmaktır. Kamu Denetçiliği Kurumu, idare ile vatandaş arasındaki uyuşmazlıklardan hareketle mevzuatta veyahut uygulamada karşılaştığı anayasal sorunları tespit eden ve ciddi gördüğünde bu sorunları anayasal denetim makamının önüne taşıyan bir mekanizma olarak görev yapabilir. Böylece Anayasa Mahkemesi'nin anayasa yargısı alanındaki nihai konumu korunurken, bireysel başvuru ve norm denetimi yetkisinin Kurum'a da verilerek bireysel hakların korunmasına katkı sağlanacaktır.

Hukuk normlarının anayasal denetime tabi tutulması gerekmesi halinde; Kamu Denetçiliği Kurumu'na anayasa ile sınır ve usulleri düzenlenerek iptal davası açma yetkisinin verilmesi, mağduriyetlerin giderilmesine ve sistematik sorunların çözüme kavuşturulmasına katkı sağlayabilir. Bununla birlikte günümüz bireysel başvuru sisteminde, adli yardım hükümleri saklı kalmak kaydı ile, anayasal bireysel başvuru belirli bir ücret tabidir. Bu hususta, Kamu Denetçiliği Kurumu'na bir ayrıcalık tanınması veya fon hakkı verilmesi de önerilerimiz arasındadır. Böylece; usulüne uygun bireysel başvuru sayısı artabilecek ve vatandaşların haklarının korunması noktasında önemli bir yol kat edilebilecektir.

Ancak tüm bu öneriler, Kamu Denetçiliği Kurumu'na tanınması önerilen anayasal denetim yetkisinin sınırsız biçimde düzenlenmesi anlamına gelmemektedir. Kurum'un görev alanı ile yetki sınırı anayasa ile açık biçimde belirlenmeli, ilgili kanun ve yönetmelikle desteklenerek yasal bir mevzuat çerçevesinde düzenlenilmedir. Aynı mahiyetteki mükerrer başvuruların Anayasa Mahkemesi önünde tekrar getirilmenin önlenmesi ve anayasal denetim sisteminde yetki çatışmasının ortaya çıkmaması için kanuni ve usuli güvencelerinin oluşturulması gerekmektedir.

Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer nokta ise önerimizin, yargı yükünü hafifletmeyi amaçlarken bir yandan anayasal yargıya bir yük oluşturmaması da gerekmektedir. Ancak Kurum'a doğrudan bir anayasal denetim ve bireysel başvuru gibi yeni yetki ve haklar verilmesi, Anayasa Mahkemesi'nin önüne gelecek başvuruların ani bir şekilde artışına da neden olabilir.

Bu nedenle önerdiğimiz sistemde her şikâyetin anayasal denetime taşınması değil, Kurum tarafından öncesinde tartışılarak, ciddi ve sistematik temel hak ihlallerinin belirli kanuni koşulları sağlayarak Anayasa Mahkemesi'nin önüne taşınması gerekmektedir. Böylece Kamu Denetçiliği Kurumu, hem yargının yükünü azaltan hem de gerektiğinde anayasal sorunların yargı önüne taşınmasını sağlayarak bireysel hakların korunmasına aracılık eden tamamlayıcı bir kurum haline gelecektir.

2.6. Karşılaştırmalı Hukuktan Türkiye Açısından Çıkarılabilecek Sonuçlar

Kamu Denetçiliği Kurumu karşılaştırmalı hukuk bağlamında incelendiğinde ise; kurumun yalnızca idarenin işlem ve eylemlerini denetleyen, tavsiye niteliğinde kararlar veren bir mekanizma olarak tasarlanmadığı görülmektedir. Dünya'daki bazı ülkelerin hukuk sistemlerinde ombudsmana, temel hak ve özgürlüklerin korunması amacıyla anayasa yargısında etkin rol oynayabileceği yetkiler verildiği görülmektedir. Önerimize paralel biçimde ombudsman, anayasa ile kanuni ve usuli sınırı belirlenerek, birikimi ve deneyimi sayesinde sorunlu görülen normları anayasa yargısı önüne taşımaktadır. Söz konusu denetçilik sistemi ülkeden ülkeye farklı modellerle karşımıza çıksa da ortak noktada temel hak ve özgürlüklerin korunmasında buluştukları söylenebilir. Bu sebeple çalışmamızın bu bölümünde bazı ülkelerin anayasalarında düzenledikleri ombudsman hükümlerini incelemekte fayda görüyoruz.

Bulgaristan Anayasası'nın "anayasal denetim" hükümleri incelendiğinde; ombudsmanın bu mekanizmaya doğrudan erişebildiği anlaşılmaktadır. Bulgaristan Anayasası uyarınca ombudsman, insan hak ve özgürlüklerini ihlal ettiği düşünülen bir kanunun Anayasa'ya aykırılığı iddiasıyla Anayasa Mahkemesi'ne doğrudan başvurabilmektedir (Constitution of the Republic of Bulgaria, 1991). Böylece ombudsmanın görevi, Türkiye'deki sistemde olduğu gibi yalnızca vatandaşın idare ile yaşadığı soruna ilişkin şikâyetinin incelenmesiyle sınırlı kalmamaktadır. Bireysel şikâyetlerden hareketle temel hakları ihlal eden veya ihlaline sebebiyet verebilecek normları anayasal yargıya tabi tutulabilmektedir. Bu yönüyle Bulgaristan modeli, çalışmada önerilen Kamu Denetçiliği Kurumu'nun belirli usuli ve kanuni koşullar altında anayasal denetim yapılabilmesi bakımından doğrudan karşılaştırılabilir bir örnek oluşturmaktadır (Bilgin et al., 2022).

Portekiz örneği incelendiğinde ise ombudsmana, yürürlükte bulunan kanunların Anayasa'ya aykırılığı iddiasıyla Anayasa Mahkemesine başvurabilme yetkisi Anayasa ile tanınmıştır (Constitution of the Portuguese Republic, 1976). Yine burada da göreceğimiz üzere kuruma yalnızca şikâyet üzerine bir denetçilik yetkisi verilmekle yetinilmemiş, şikâyetin kaynağını

oluşturan normların anayasa yargısı önüne getirebilme imkânı da verilmiştir (Bilgin et al., 2022).

Romanya örneğinde ise; Romanya Anayasası'nda hem ombudsmanın anayasal denetim hakkı hem de yetki kapsamı hüküm altına alınmıştır (Constitution of Romania, 1991). İlgili maddelere göre ombudsman, kanun veya kararnameler henüz yayımlanmadan ve yürürlüğe girmeden önce adeta önleyici bir denetim mekanizmasına hizmet eder gibi normu anayasa yargısı önüne doğrudan taşıyabilmektedir. Aynı zamanda yürürlükteki normları da anayasa yargısına konu edebilen ombudsman anayasal denetim sürecinde önemli bir role sahiptir. Bu durum, ombudsman kurumunun hem bireysel uyuşmazlıklara geniş biçimde çözüm sağladığını hem de normatif düzeyde ortaya çıkabilecek hak ihlallerinin önlenmesine yönelik bir işlev de üstlendiğini göstermektedir (Bilgin et al., 2022).

İspanya örneğinde ise; ombudsmana anayasal denetim bakımından oldukça geniş yetki verildiğini görmekteyiz. İspanya Anayasası'nda Ombudsman, kanunlar ve kanun hükmünde kararnamelerin Anayasa'ya aykırılığı iddiasıyla Anayasa Mahkemesi'ne başvurabilecek makamlar arasında düzenlenmiştir (Spanish Constitution, 1978). Bunun yanında Ombudsman, Anayasa'da güvence altına alınan temel hak ve özgürlüklerin ihlaline ilişkin bireysel başvuruda da bulunabilmektedir. Böylece İspanya'da ombudsman kurumu hem normun anayasal denetimini sağlayan hem de bireysel hak ihlallerinin anayasa yargısına taşınmasına katkıda bulunan bir konuma sahiptir. Bu model, çalışmada önerilen bireysel başvuru ve norm denetimi mekanizmalarının birlikte değerlendirilmesi bakımından özellikle önem taşımaktadır (Bilgin et al., 2022).

Karşılaştırmalı hukuk bakımından yukarıda bahsettiğimiz ülkeler ele alındığında; Bulgaristan, Portekiz ve Romanya örneklerinde; anayasa maddeleri ile hüküm altına alınarak ombudsmana normların anayasal denetimi kapsamında yetki verildiği görülmektedir. İspanya örneğinde ise norm denetimine ek olarak anayasal bireysel başvuru yetkisi verilmiş olduğu görülmektedir. Bahsi geçen örneklerde, Kamu Denetçiliği Kurumu'nun anayasa yargısının yerine geçen bir konumu yoktur. Kamu Denetçiliği Kurumu, anayasal denetim mekanizmasına erişim kollarından biri ve bireylerden gelen şikâyetler aracılığıyla hak ihlallerini tespit edebilen tamamlayıcı bir kurum olarak düzenlenmiştir.

Türkiye bakımından bu karşılaştırmalı örneklerden hareketle; Kamu Denetçiliği Kurumu'na usuli ve kanuni çerçevesi oluşturulmuş, yetki ve sınırları çizilmiş, anayasal denetimde aktif rol oynayan bir görev verilmesi önerilmektedir. Özellikle son zamanlardaki Kamu Denetçiliği Kurumu'nun toplum tarafından benimsenmesi ve başvuru sayısındaki artış da göz önüne

alınarak, şikâyetlerde yer alan ve Kurum tarafından temel hak ve özgürlüklerin ciddi şekilde ihlal ettiği düşünülen normları anayasal denetime götürme yetkisinin tanınması anayasa yargısının gelişimine ve anayasal denetim sistemine olumlu katkı sunması mümkün hale gelecektir.

3.SONUÇ

Türkiye'de yeni bir sivil anayasa ihtiyacı günümüzde olduğu gibi tarih boyunca da tartışılmaya devam etmiştir. 1982 Anayasası'nın askeri darbe sonrasında ondan etkilenerek hazırlanmış olduğu ve hatta "darbe ürünü" olduğu, çok kez değişikliğe uğramış olduğu, toplumsal katılım ve meşruiyetine ilişkin ciddi eleştiriler sebepleriyle hem hukuki hem siyasi olarak gündemdedir. Bu noktada eğer yeni sivil bir anayasa oluşturulacak ise anayasa yargısının gelişimine katkı sunmak anayasayı "toplum ürünü" haline de getireceği düşünülmektedir.

Bu çalışmamızda mevcut anayasal düzeninde norm denetimi ve bireysel başvuru yollarının, hem iş yükü hem de denetim çeşitliliği açısından yetersiz kaldığı eleştirilerek, Kamu Denetçiliği Kurumu'nun toplum nezdinde yükselen konumundan istifade edilmesini ve ilgili normların anayasal denetimi için ombudsmana başvuru yetkisinin verilmesini önermekteyiz. Böylece Kurum'a gelen şikâyetlerden yola çıkılarak temel hak ve özgürlüklerin korunması bağlamında Kamu Denetçiliği Kurumu'nun anayasa yargısı bağlamında alternatif ve tamamlayıcı bir denetim mekanizması yolu olabileceği ayrıca vatandaşın hak arama imkânlarının genişletilebileceği düşünülmektedir.

Sonuç olarak; karşılaştırmalı hukuk bağlamında örnek verdiğimiz ülkelerden de yola çıkılarak Kamu Denetçiliği Kurumu'na, norm denetimi ve bireysel başvuru yetkisinin yeni anayasa tarafından tanınması ve bu yetkinin usuli ve kanuni sınırlarının özenle çizilmesi gerektiği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

Baş, S. (2022). Yeni Anayasa Gündeminin Anlamı Üzerine. *TYB Akademi*, (35), 13–30.

Bilgin, M., Candan, K., Şencan, H., Doğan, M., Duran, Z., Solak, M., Ocaklı, F. Ç., Palabıyık, H., Kaptıkaçtı Kayatekin, B., Karakaş Demir, H., Büyükcan, T., Gün, M. S., Çeliker, E., Türer, A., Karaer, A., & Akca, A. (2022). *Konularına Göre Karşılaştırmalı Dünya Anayasaları* (Yayın No. 13). Türkiye Büyük Millet Meclisi Araştırma Hizmetleri Başkanlığı.

Coşkun, B., & Günaydın, H. (2015). Ombudsmanlığın Kökeni Meselesi Bağlamında Türk-İslâm Devlet Geleneğinde Şikâyet Hakkının Kurumsal Tekâmülü. *Ombudsman Akademik, 2*(3), 9–60.

Eroğlu, İ. (2011). Demokrasiye Geçiş Sonrası Macaristan'ın Hükümet Sistemi. *Türkiye Adalet Akademisi Dergisi, 1*(6).

Göç, E. (2025). Türkiye'de Yeni (Sivil) Anayasanın Gerekliliği Ve Toplumsal Beklenti Üzerine Bir Araştırma: Ankara İli Örneği. Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 57, 240–261.

Gözler, K. (2018). Türk Anayasa Hukuku (2. baskı). Ekin Yayınları.

Heywood, A. (2010). Siyasi İdeolojiler. Adres Yayınları.

Fendoğlu, H. T. (2013). Kamu Denetçiliği (Ombudsmanlık) ve Anayasa Mahkemesine Bireysel Başvuru Hakkı. *Ankara Barosu Dergisi, 2013*(4), 23–50.

Fendoğlu, H. T. (2016). Cumhurbaşkanlığı Sisteminde Ombudsman Denetimi: İdarenin Kamu Denetçiliği Kurumu Tarafından Denetlenmesi. *Ombudsman Akademik, 5*, 13–36.

Kamu Denetçiliği Kurumu. (2025). 2025 Yıllık Raporu. https://ombudsman.gov.tr/YillikRapor

Kamu Denetçiliği Kurumu. (t.y.). Kamu Denetçiliği Kurumu. https://ombudsman.gov.tr/KamuDenetcileri

Kamu Denetçiliği Kurumu. (t.y.). Kararlar. https://kararlar.ombudsman.gov.tr/Arama

Kanadoğlu, O. K., & Şahin, B. N. (2022). Anayasa Mahkemesinin Güncel Norm Denetimi Ve Bireysel Başvuru Kararları Hakkında Gözlemler. *Anayasa Yargısı, 39*(2), 1–33.

Kılıç, F., & Yalçın Atalay, N. (2023). 1982 Anayasasında 2010 tarihine kadar yapılan değişiklikler. *Sosyal, Beşeri ve İdari Bilimler Dergisi, 6*(5), 691–700. https://doi.org/10.26677/TR1010.2023.1227

Özbudun, E. (2013). *Türk anayasa hukuku*. Yetkin Yayınları.

Sevinç, İ., & Akyıldız, B. (2020). Kamu Denetçiliği Kurumu faaliyetlerinin yıllık raporlar üzerinden değerlendirilmesi. *Ombudsman Akademik, 7*(13), 57–91.

Şahin, M. (2021). *Dünyada Ombudsmanlık ve Türkiye'de Kamu Denetçiliği Kurumu*. IKSAD Publishing House.

Zegrean, A. (2012). Romanya Anayasa Mahkemesi. *Anayasa Yargısı, 29*, 528–529.

Constitución Española. (1978). Boletín Oficial del Estado. https://www.boe.es/eli/es/c/1978/12/27/(1)/con

Constitution of the Portuguese Republic. (1976). Assembly of the Republic. https://www.parlamento.pt/Legislacao/Paginas/ConstituicaorepublicaPortuguesa.aspx

Constitution of the Republic of Bulgaria. (1991). National Assembly of the Republic of Bulgaria. https://www.parliament.bg/en/const

Constitution of Romania. (1991). *Constitute Project*. https://www.constituteproject.org/constitution/Romania_2003

YETKİNLİĞİN CEZASI: YÜKSEK PERFORMANSLI ÇALIŞANLARA ORANTISIZ GÖREV TAHSİSİNİN ALGILANAN ADALET VE STRATEJİK GERİ ÇEKİLME ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Assoc. Prof. Dr. Senem ALTAN
Doğuş University, Faculty of Economics, Administrative and Social Sciences, Department of Management Information Systems, 34680 Üsküdar, İstanbul
ORCID ID: 0000-0003-0264-0821

ÖZET

Örgütlerde yetkinlik yalnızca ödüllendirilen bir nitelik değil, aynı zamanda iş yükünün dağıtımında kullanılan örtük bir ölçüttür. Güvenilir bulunan çalışan daha çok görev alır ve bu tahsis çoğu zaman ne müzakere edilir ne de görünür kılınır. Bu çalışma söz konusu örüntüyü yetkinliğin cezası olarak kavramsallaştırmakta ve yüksek performanslı çalışana yönelen orantısız görev tahsisinin algılanan adalet ile stratejik geri çekilme üzerindeki etkilerini tartışmaktadır. Mevcut yazın yüksek performanslı olmanın bedelini büyük ölçüde kişilerarası düzlemde ele almıştır; oysa bu çalışmada ele alınan yer tam da yazının boş bıraktığı noktadır: yükü dağıtan yöneticinin rasyonel tahsis kararı ve bu kararın çalışanda ürettiği adalet değerlendirmesi. Eşitlik kuramı ve çaba-ödül dengesizliği çerçevesinde tahsisin görünürlüğü ile kariyer getirisi beklentisi belirleyici koşullar olarak konumlandırılmakta; çalışanın tepkisi ise açık itiraz yerine görünürlüğünü azaltma biçiminde beliren stratejik geri çekilme üzerinden ele alınmaktadır. Temel sav, yetkinliğin bir tahsis ölçütüne dönüşmesinin kısa vadede verimlilik üretirken orta vadede örgütün en üretken çalışanlarını sistemden geri çekilmeye yönelttiğidir. Bu asimetri zamanla hem adalet algısını hem de örgütle kurulan bağı aşındırmaktadır. Söz konusu örüntü, yetkinliğin cezası olarak kavramsallaştırılarak hem kuramsal hem de örgütsel açıdan sorun yaratan bir dinamik olarak ifade edilmektedir. Çalışma, Adams'ın (1965) eşitlik kuramı ve Siegrist'in (1996) çaba-ödül dengesizliği modeli olmak üzere iki teorik çerçevede temellenmektedir. Mevcut yazın yüksek performanslı olmanın bedelini büyük ölçüde kişilerarası düzlemde ele almaktadır. Alan yazındaki boşluk, yükü dağıtan yöneticinin rasyonel tahsis kararının çalışanda ürettiği adalet değerlendirmesinin sistematik olarak ele alınmadığı yönündedir. Çalışma bu çerçevede; tahsisin görünürlüğü ve kariyer getirisi beklentisi olmak üzere iki belirleyici koşulu, çalışanın stratejik geri çekilme davranışı üzerinden ele alarak alan yazındaki boşluğu dolduracağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Yetkinliğin cezası, görev tahsisi, algılanan örgütsel adalet, çaba-ödül dengesizliği, stratejik geri çekilme

THE PENALTY OF COMPETENCE: THE EFFECTS OF DISPROPORTIONATE TASK ALLOCATION TO HIGH PERFORMING EMPLOYEES ON PERCEIVED JUSTICE AND STRATEGIC WITHDRAWAL

ABSTRACT

In an organizational context, competence serves both as a rewardable characteristic and as an implicit criterion for work distribution. Workers considered to be reliable receive more tasks, and this work distribution is never negotiated or made explicit. This paper interprets such a phenomenon as the penalty for competence and analyzes the impact of an imbalance in workload distribution among high-performing workers on perceived justice and strategic withdrawal. As previous studies have mainly considered the cost of high performance from an interpersonal perspective, this paper attempts to address the gaps in the current literature—the manager's rational work distribution and its effect on employee's perceptions of justice. By applying the concepts of equity theory (Adams, 1965) and effort–reward imbalance model (Siegrist, 1996), the current analysis finds the visibility of the distribution and the expectation of career gains as determining factors, while the employee's reaction is interpreted as strategic withdrawal, namely, a reduced visibility instead of an objection. The key point is that using competence as a criterion of work distribution creates temporary efficiency; however, in the long run, leads to withdrawal of the most productive employees from the system. Thus, such an imbalance will negatively affect the perceived justice and the relationship between an employee and his/her organization. The concept of the "penalty for competence" can be interpreted as a process creating issues both theoretically and practically. There are two theoretical approaches which underlie the analysis—equity theory (Adams, 1965) and effort–reward imbalance model (Siegrist, 1996). The existing literature has mainly paid attention to the interpersonal costs of high performance, leaving the issue of the impact of a manager's rational work distribution on an employee's perceptions of justice uncovered. From this perspective, the aim of the study is to fill the existing gap by analyzing two determining factors—the visibility of the work distribution and the expectations of career gains—from the perspective of the strategic withdrawal behavior of the employee.

Keywords: Penalty of competence, task allocation, perceived organizational justice, effort-reward imbalance, strategic withdrawal

1. INTRODUCTION

Workload distribution in organizations is rarely discussed; managers rarely explicitly state the criteria they use when assigning tasks. Instead, allocation decisions follow a certain pattern: those who do the job well get more work. This pattern is based on a rational logic that

seems reasonable in the short term. From the manager's perspective, the task is assigned to the employee whose reliability has been proven because they have the highest probability of success. The result is almost inevitably the same: the high-performing employee faces an increasing workload as a function of their performance, and the size of this workload eventually begins to strain the limits of their capacity.

The reason why this particular pattern becomes significant lies in the fact that it rests on the grounds of legitimacy. As far as the organization is concerned, the manager's choice is justified since the distribution of resources aims at increasing efficiency. However, the legitimacy takes another perspective from the side of the worker – competence becomes a legitimation of another task instead of being rewarded. The worker faces the problem of inequality – even though he or she works increasingly, he or she is not paid accordingly.

This study conceptualizes this pattern as the penalty of competence and positions it as a problematic dynamic from both theoretical and organizational perspectives. The existing literature has largely addressed the cost of high performance on an interpersonal level: Kim and Glomb (2014) showed that high performance increases the likelihood of peer-to-peer victimization; Khan et al. (2018) demonstrated that these employees are subjected to abusive management due to perceived hierarchical threats. Bergeron et al. (2013), on the other hand, linked it to organizational citizenship behavior. citizenship Research has found that time spent on workload distribution reduces career returns; however, the choice ultimately rests with the employee. This is precisely the aspect that the article has not yet systematically addressed: the rational allocation decision of the manager distributing the workload and the employee's assessment of fairness that this decision generates.

This study draws upon two fundamental theoretical frameworks to fill this gap: Adams' (1965) theory of equity and Siegrist's (1996) effort-reward imbalance model. Both frameworks examine how the imbalance between contribution and reciprocity is assessed and the implications of this assessment on individual behavior. In this study, these frameworks operate around two determining conditions: the visibility of the allocation and the expectation of career return; the employee's response is a strategic withdrawal that manifests itself as a reduction in visibility rather than open objection. This is discussed through the concept of withdrawal.

The main argument is this: while competence becomes a metric for allocation in the short term, it leads to the withdrawal of the organization's most productive employees from the system in the medium term; this withdrawal is invisible and slow, and therefore not noticed by managerial processes until it is too late.

2. LITERATURE REVIEW

2.1. Equity Theory and the Assessment of Justice in an Organizational Context

Equity theory (Adams, 1965) suggests that individuals compare their contributions with the rewards they receive from others, and shape their attitudes and behaviors based on the outcome of this comparison. According to the theory, individuals determine their input-output ratio. The individual compares themselves to a reference person or group using the ratio; when this ratio is perceived as unbalanced, tension arises, and the individual develops various responses to alleviate this tension. These responses can include reducing inputs, demanding reciprocity, changing the point of comparison, or leaving the system.

The most frequently overlooked aspect of this theory in an organizational context is that "input" encompasses not only labor-time but also cognitive resources, latent expectations, and future investment (Greenberg, 1990). This dimension is particularly critical for high-performing employees, as they not only dedicate more time but also take on more responsibility, and in return receive interactional justice. It is awaiting various feedback, primarily from the Ministry of Justice. The fact that the allocation decision is neither visible nor open to negotiation systemically undermines this expectation.

Distributive justice, procedural justice and interactional justice research based on the triad of three dimensions (Colquitt, 2001) reveals that allocation assesses not only what is given, but also how it is determined and the employee's access to a voice in that process. Disproportionate task allocation can create a cumulative imbalance in all three dimensions: the distribution is unfair, the process is not transparent, and in the relational dimension, the employee is often not confronted with the rationale behind the allocation.

2.2. Effort-Reward Imbalance Model

Siegrist's (1996) effort-reward imbalance model (ERI) explains how the structural mismatch between high effort and low reward becomes a chronic source of stress for individuals. This model considers reward not just in terms of simple gain but looks at the bigger picture in which concepts like security of status, career progression, and recognition play a role. The model is directly relevant to the issue of punishment for competence as follows: The inequality postulated in the model occurs in the case where task allocation increases effort but does not increase career feedback or visibility or status.

The model predicts that those most susceptible to this imbalance are individuals with high intrinsic motivation, commitment to their tasks, and a tendency towards overcommitment; therefore, high-performing employees are structurally the most vulnerable group to this pattern.

However, while the literature adequately addresses the effects of this imbalance on individual health and burnout (Van Vegchel et al., 2005), it largely overlooks its implications at the organizational behavioral level, particularly its invisible forms of response.

2.3. Interpersonal Costs of High-Performing Employees

Kim and Glomb (2014) found that high-performance increases peer-level jealousy, exclusion, and victimization. These findings demonstrate that high performance has consequences not only in managerial processes but also in a social context. Khan et al. (2018) documented that managers resort to abusive management behaviors when they perceive competence as a threat to their status; this highlights a dynamic that directly affects the link between competence and the quality of managerial relationships.

Bergeron et al. (2013), organizational citizenship behavior by examining the equation between competency-related behavior (OCB) and career return, the study found that employees contributing to an extra role lose time they could dedicate to the core elements of the job, negatively impacting career advancement. However, in this study, this behavior is positioned as an employee choice. In the case of competency penalty, the decision is not the employee's; task assignment is a managerial decision, and the employee must confront this decision rather than make a choice. This difference is significant in itself.

2.4. Strategic Withdrawal and Quiet Adaptation

Hirschman's (1970) exit-voice-loyalty framework explains how individuals cope with dissatisfaction with the system they serve through three options. However, the classic formulation of this framework treats response options as sharply mutually exclusive categories; whereas in an organizational context, responses often take shape quietly and gradually between these categories.

Pinder and Harlos (2001) define organizational silence as the deliberate withdrawal of an individual's assessments and opinions regarding organizational problems. The operationalization of the idea of strategic withdrawal in the study is presented as follows: the employee maintains his connections with the organization but systematically reduces visibility of his duties, activity, and performance. It is not the act of protest, but the strategy of rebalance, conducted in a covert way. While being harmless in the short term, the action described above negates the real value added by the most efficient employees of the organization.

3. CONCEPTUAL FRAMEWORK: THE PUNISHMENT OF COMPETENCE MODEL

3.1. The Penalty of Competence: The Limits of the Concept

In other words, the penalty of competence implies the process of the conversion of high work performance into the implicit task allocation measure, which leads to feelings of unfairness and strategic withdrawal of the worker. Withdrawal results from the fact that the relation between workload and career return becomes distorted in a manner such that the former becomes greater than the latter. The construct includes three main elements: (1) implicit and uncontested task allocation system, (2) increased workload that does not trigger any visible reaction, and (3) behavior change that takes the form of reduced visibility.

The following drawbacks of the definition need to be highlighted. First, the penalty of competence does not refer to all cases of excessive task allocation because it refers to a structure in which performance serves as the indirect allocation measure. In the structure described, the worker perceives the process but is unable or unwilling to change it through explicit opposition. Second, the penalty of competence does not require the manager to act with malicious intent. On the contrary, it presupposes that the manager acted rationally and according to organizational norms, and later the accumulated pattern started transforming the employee's experience.

Finally, perhaps the most important point is that the penalty of competence does not imply the assumption that high workloads lead to bad results only. Under certain circumstances and depending on the expectations of the employee, high demands may be interpreted as important, prestigious, and developing.

3.2. Key Factors: Visibility of the Allocation and Expected Career Return

Allocation visibility Procedural and interactional fairness is defined as the degree to which an allocation is explained to the employee, justified, and linked to a systemic reward. When allocation is visible—that is, when the employee is informed why the additional workload is given to them and how it relates to their career development—the perception of procedural and interactional fairness is supported (Colquitt, 2001). Conversely, when allocation is invisible and silent, the employee is forced to deduce the justification for the workload solely from their own competence; this deduction negatively shapes the assessment of fairness.

Career return expectation is the employee's expectation that their current increased workload will be rewarded in the form of promotion, recognition, project selection, or increased autonomy. When this expectation is met—that is, when high contribution is

correlated with a visible gain in the future—the effort-reward balance is re-established, and the employee's commitment to the system continues. When the expectation is not met, the imbalance becomes chronic; the employee learns that the only way to break out of this cycle is to make their contribution invisible.

When these two conditions are considered together, four possible structural scenarios emerge. Commitment and performance are sustained when the allocation is both visible and its career benefits are expected and met. When the allocation is invisible, but its career benefits are intuitively expected, the employee may continue to contribute to the system for a while; however, vulnerability increases when this expectation is not met. When there is visibility in the allocation, but career benefits of the allocation are demanded without any guarantees, there will be no procedural justice, which in turn will cause conflict. However, in case where the allocation is invisible and career benefits of the allocation are not expected or perceived, then strategic withdrawal is favored.

3.3. Strategic Withdrawal Mechanism

The studied form of behavior can be described as systematic decreasing in terms of visibility, quality, and proactive nature of employee contributions while keeping the formal ties with the organization. This type of reaction takes the form of silent withdrawal under the disguise of “loyalty”, when an employee continues performing duties, but stops providing the voluntary excess, creative involvement, and proactive solutions provided earlier. Within Hirschman’s (1970) classification this type of reaction can be referred to as a situation which has not been stated and has not resulted in exit, but in time creates the psychological and intentional foundations for it.

One of the features which distinguishes this kind of reaction from other forms of employee response is its covert and gradual nature. Employee does not state the objections openly, because it is not clear what can be gained from doing it, but it is certain what will be lost in case of stating it. A high performer has realized the logic of reward of the system – he/she understands that the more success he/she has, the heavier obligations appear, and the higher visibility increases the burden on him/her. Thus, the reaction takes place through decreasing the visibility of his/her performance. Such reaction is both conscious and strategic one, and often it is so slow that it is not detected by the managerial process in time.

Strategic withdrawal takes place in three dimensions: (1) decreasing voluntary contributions – employee performs only the formal duties and does not make any efforts and

initiatives anymore; (2) decreasing visibility – employee does not seek the attention, he/she performs in a supporting role in the project; (3) decreasing organizational commitment.

4. DISCUSSION AND CONCLUSION

The aim of this paper is to contribute to the literature in two dimensions, namely by suggesting the mechanisms of hidden processes underlying competency allocation and measuring the cumulative burden created by these mechanisms by introducing the notion of the "competency penalty". This theoretical contribution is based on the assumption that a rationally taken decision from the perspective of management creates an imbalance from the perspective of the employee in question, an imbalance that can be expressed in the form of withdrawal.

As far as theoretical contribution is concerned, the study addresses a specific gap in the literature. Despite numerous studies (Kim & Glomb, 2014; Khan et al., 2018; Bergeron et al., 2013) analyzing negative dynamics towards high performers in different contexts, none has focused on the issue of fairness resulting from management's allocation decisions from the perspective of rational determinations of management. The notion of the penalty of competence closes this gap in the literature through the examination of the relationship between management's allocations and the employee's experience based on the principles of equity theory and effort-reward disequilibrium models.

It is also noteworthy that the integration of the conditions of appropriation visibility and expected career return in the model shows that the penalty of competence represents a conditional, rather than universal dynamic. As a matter of fact, this difference carries a special theoretical and practical meaning because these are the very variables that managers are able to manipulate. If the appropriation decision is clear, well-justified and connected to the career development of an employee, it makes perceptions of fairness stronger; although there is still a possibility of strategic withdrawal, the intensity of it is weaker. This result means that managers have not only to pay attention to the content of the process but also to the way how it is communicated.

On a practical level, this study sheds light on the managerial process from different angles. First, the visibility of allocation decisions represents a strategic challenge for human resources management. Allocation based on information asymmetry leaves the future expectations of employees unclear, and this asymmetry carries a structurally negative effect on the perception of fairness. Those frameworks where the connection between increased workload and career development, explanations of the reasons for this allocation and regular

evaluations of the performance in the same spirit carry the potential of eliminating the competency penalty.

On the other hand, this study pays attention to the fact that strategic withdrawal is especially hard to spot by the means of any surveillance instruments. This kind of reaction is not similar to absenteeism or any explicit resistance; it can be tracked only with the help of certain inputs which might be incorrect due to the lack of reflection of actual contribution of the employee to the process of management. This lack of opportunity for intervention creates an erosion-like problem that will become evident only later.

The present study has several limitations. It is important to note that the study was developed in the framework of a conceptual model which is not empirically tested. Questions for further research include: In which organizational and sectoral context is the competency penalty especially pronounced? How significant can the interaction between visibility of appropriation and expected career return be empirically proven? Which individual variables, e.g. locus of control, self-efficacy or organizational commitment, determine the strategic withdrawal? The use of quantitative and qualitative methods for addressing these questions will allow proving the explanatory value of this concept.

To summarize, the competency penalty defines the dynamics which stands in the middle of organizational justice and high-performance literatures and has not been addressed systematically until now. What is considered a rational action from the perspective of management can be seen as a punishment mechanism from the employee's perspective; this transition does not depend on any malevolent intentions or mistakes in performance evaluation. It is determined by the structural level of the allocation process which is hidden and non-reciprocal. And the structural level will not be destroyed by the loss of the most productive employees; the lack of destruction is one of the problems itself.

REFERENCES

Adams, J. S. (1965). Inequity in social exchange. Advances in Experimental Social Psychology, 2, 267–299. https://doi.org/10.1016/S0065-2601(08)60108-2

Bergeron, D. M., Shipp, A. J., Rosen, B., & Furst, S. A. (2013). Organizational citizenship behavior and career outcomes: The cost of being a good citizen Journal of Management, 39(4), 958–984. https://doi.org/10.1177/0149206311407508

Colquitt, JA (2001). On the dimensionality of organizational justice: A construct validation of a measure. Journal of Applied Psychology, 86(3), 386–400. https://doi.org/10.1037/0021-9010.86.3.386

Greenberg, J. (1990). organizational justice: Yesterday, today, and tomorrow Journal of Management,16(2),399–432. https://doi.org/10.1177/014920639001600208

Hirschman, A. O. (1970). Exit, voice, and loyalty: Responses to decline in firms, organizations, and states. Harvard University Press.

Khan, A.K., Moss, S., Quratulain, S., & Hameed, I. (2018). When and how subordinate performance leads to abusive supervision: A social dominance perspective. Journal of Management, 44(7), 2801–2826. https://doi.org/10.1177/0149206316653930

Kim, E., & Glomb, T. M. (2014). Victimization of high performers: The roles of envy and work group identification. Journal of Applied Psychology, 99(4), 619–634. https://psycnet.apa.org/doi/10.1037/a0035789

Pinder, C. C., & Harlos, K. P. (2001). Employee silence: Quiescence and acquiescence as responses to perceived injustice Research in Personnel and Human Resources Management,20,331–369. https://doi.org/10.1016/S0742-7301(01)20007-3

Siegrist, J. (1996). Adverse health effects of high-effort /low-reward conditions. Journal of OccupationalHealthPsychology,1(1), 27–41. https://doi.org/10.1037/1076-8998.1.1.27

Van Vegchel , N., De Jonge, J., Bosma, H., & Schaufeli, W. (2005). Reviewing the effort-reward imbalance model: Drawing up the balance of 45 empirical Studies. Social Science&Medicine,60(5),1117–1131. https://doi.org/10.1016/j.socscimed.2004.06.043

ZAYIFLIĞINI AÇIKLAYAN ÇALIŞANLAR OTANTİK Mİ, YETERSİZ Mİ GÖRÜNÜR? STATÜ VE İŞ GÜVENCESİNİN DÜZENLEYİCİ ROLÜ

Assoc. Prof. Dr. Senem ALTAN
Doğuş University, Faculty of Economics, Administrative and Social Sciences, Department of Management Information Systems, 34680 Üsküdar, İstanbul
ORCID ID: 0000-0003-0264-0821

ÖZET

Kırılganlık çağdaş yönetim söyleminde bir erdem olarak sunulmakla birlikte, zayıflığını açıklayan çalışanın otantik mi yoksa yetersiz mi görüleceği açıklamanın kendisine değil, açıklayanın örgüt içindeki konumuna bağlıdır. Bu ayrım tesadüf değildir; zira algılayan taraf, çok anlamlı bir davranışsal sinyali yorumlarken açıklayanın statüsünü ve pozisyonunun güvenliğini bir çıkarım kısayolu olarak kullanır. Jiang vd. (2022) zayıflık açıklamanın otantiklik algısını yükselttiğini, ancak bu kazancın gönüllü açıklamalarda ve görece yüksek statülü kişilerde belirginleştiğini ortaya koymaktadır; Zhang vd. (2024) ise hata paylaşımının yönetici güvenini yetkinlik değerlendirmesi üzerinden zedelerken dürüstlük değerlendirmesi üzerinden güçlendirdiğini göstermektedir. Buna karşılık Alzahawi ve Flynn (2025) belirsizlik ifade eden liderlerin daha az yetkin ve daha az etkili görüldüğünü bulgulamakta; söz konusu bulgular kırılganlığın getirisinin evrensel olmadığına işaret etmektedir. Yazının gözden kaçırdığı asimetri tam da burada başlar: kırılganlık araştırmalarının örneklemi ağırlıklı biçimde liderlerden ve güvenceli pozisyonlardan oluşmakta, dolayısıyla düşük statülü ve iş güvencesi zayıf çalışanın aynı davranıştan ne elde ettiği sistematik olarak sınanmamaktadır. Bu çalışma, kavramsal analiz yöntemiyle kırılganlığı bir erdem ya da bir risk olarak değil, getirisi örgütsel konuma göre katmanlaşan koşullu bir ayrıcalık olarak kavramsallaştırır; statü ve iş güvencesini otantiklik ile yetersizlik atfı arasındaki seçimi belirleyen sınır koşulları biçiminde modeller ve sinyal kuramı, izlenim yönetimi ile psikolojik güvenlik yazınlarını birbirine bağlayan bir önermeler dizisi geliştirir. Çalışmanın temel savı, kırılganlığı teşvik eden örgütsel söylemin güvencesiz çalışan açısından örtük bir maliyet ürettiğidir; dolayısıyla psikolojik güvenlik tartışması, davranışın kendisinden çok davranışın getirisinin örgüt içinde nasıl dağıldığı sorusuna genişletilmelidir.

Anahtar kelimeler: Kırılganlık Açıklaması, Otantiklik Algısı, Örgütsel Statü, İş Güvencesizliği, Psikolojik Güvenlik

ARE EMPLOYEES WHO DISCLOSE WEAKNESS SEEN AS AUTHENTIC OR INCOMPETENT? THE MODERATING ROLE OF STATUS AND JOB SECURITY

ABSTRACT

Vulnerability is defined as a virtue in modern management theories; still, it depends more on the organizational position of an employee rather than the disclosure itself whether he is considered to be a genuine person or a fool. It has some implications: individuals making inferences based on ambiguous behavior use the organizational position and security of the disclosing person as inferential short-cuts. Jiang et al. (2022) state that the disclosure of weakness results in higher authenticity, and this effect is strongest if the disclosure is made voluntarily and if the discloser occupies a high organizational position; Zhang et al. (2024) claim that the error disclosure reduces the perception of the leader's skills and increases the perception of the leader's integrity and trustworthiness. On the contrary, Alzahawi and Flynn (2025) prove that the expression of the uncertainty by a leader makes him less competent and efficient. Hence, the asymmetry, ignored by the modern literature, emerges vulnerability does not have universal advantages; its positive effects depend on the situational characteristics. It becomes obvious if we consider that modern vulnerability research samples are leaders occupying stable positions; thus, no systematic investigation is done about the advantages that can be gained by employees occupying low and insecure organizational positions. Therefore, this paper offers some reconceptualization of vulnerability as conditional privilege through the conceptual analysis and considers status and job security as boundary conditions under which an observer makes his judgments about whether the behavior reflects the incompetence of a person or the authenticity of his personality and proposes a set of propositions.

In conclusion, the main idea of this paper is that the organizational discourse promoting vulnerability brings some unintended consequences for insecure employees; hence, the debate about psychological safety should be extended to the distribution of the benefits of vulnerability among the organizational hierarchy.

Keywords: Vulnerability Disclosure, Perceived Authenticity, Organizational Status, Job Insecurity, Psychological Safety

1. INTRODUCTION

Vulnerability has undergone a profound transformation in management and leadership literature since the early 2010s; it has shifted from a sign of weakness to evidence of authenticity, connectivity, and psychological courage. Beginning with Brown's (2012) pioneering work and supported by Edmondson's (2018) psychological safety framework, this transformation has created a discourse that can be summarized as "disclose your vulnerability,

become stronger." This discourse has also permeated organizational practices, producing a wide range of practices from "blameless post-mortem" meetings encouraging fault-sharing to "come with your whole self" code of conduct.

However, the fundamental presupposition of this discourse is problematic. The framework that presents vulnerability as a virtue implies that the benefit of explaining vulnerability is equal for all employees; therefore, the same behavior produces the same perceptual outcome. The literature has largely postponed directly questioning this assumption, as the samples of existing studies are predominantly selected from leaders, professionals, and those in relatively secure positions (Jiang et al., 2022). What a low-status employee or an individual in a position with weak job security gains from the same explanation of vulnerability has not been systematically tested.

It has theoretical relevance all by itself. From the signal theory perspective (Spence, 1973), the depiction of vulnerability is considered to be a type of ambiguous behavioral signal: depending on context and features of the sender, the same signal may have varied interpretations for the receiver. Status and job security are among the cognitive shortcuts that the receiver uses to interpret this ambiguity. The expression of vulnerability by the high-status employee will be interpreted as courage and originality, and by the low-status employee, as acknowledgment of his/her insufficiency. This discrepancy suggests that vulnerability is not a virtue of the sender but a privilege granted conditionally and distributed across organizational ranks.

The current research deals with this discrepancy through conceptual research that draws upon three literatures: signal theory, impression management, and psychological safety in order to provide the insight into the mechanisms of vulnerability interpretation as influenced by the organizational position. The research starts from the analysis of existing approaches to vulnerability and aspects they miss out on; next, it introduces the series of propositions where status and job security are considered to be boundary conditions. In general, the core idea is that the organizational rhetoric of vulnerability boosts the perception of authenticity for the secure and high-status employees, and at the same time increases the probability of a systemic labeling of inadequacy for the insecure and low-status employees. The failure to consider this distributional asymmetry in psychological safety literature is the theoretical oversight of the field.

2. CONCEPTUAL FRAMEWORK

2.1. Vulnerability: From a Virtue to a Conditional Tool in Management Discourse

According to psychological studies, vulnerability is the feeling of uncertainty, risk, and exposure (Brown, 2012). From a management studies perspective, the concept of vulnerability is concerned mainly with two areas: leadership practices and psychological safety. For the purpose of such research, vulnerability disclosure is defined as "the voluntary communication by a leader or individual of negative or uncertain information about oneself such as mistakes, weaknesses, or lack of knowledge" (Jiang et al., 2022). While the effects of this practice on organizations are a subject of debate, a significant share of literature argues that vulnerability disclosure leads to the development of more authentic, trusting, and inclusive relationships (Edmondson, 2018; Brown, 2012).

However, one aspect of vulnerability that is insufficiently addressed by this research area is the context of the situations where positive outcomes occur. While Brown (2012) conceptualizes vulnerability as an attitude that cannot be separated from courage, his theory assumes that this kind of courage is beneficial for everyone. On the other hand, although Edmondson's (1999, 2018) psychological safety model stresses the importance of security for the emergence of vulnerability, it does not question the equal protection this situation offers to all people involved.

2.2. Explaining Vulnerability from a Signal Theory Perspective

According to Spence (1973), the labor market theory of signaling is one that bases the effectiveness of the signal's transmission on the receiver's interpretation of the signal. For a signal to be credible and informative of the characteristics of the sender, the receiver must trust that the information sent is indeed truthful. Within this theory, the vulnerability statement is a very valuable signal, as it can be used to demonstrate both the truthfulness and incompetence of the person giving it out. The way the receiver interprets this statement depends on his contextual knowledge of the situation, including the organizational status of the speaker.

The receiver disambiguates the signal within the signal theory framework by means of two approaches, which are the sender's payment of a "type-specific cost" and sender categorization based on ancillary contextual information (observable characteristics) (Spence, 1973). Thus, the vulnerability statement entails a significant cost for people of a lower status – their position can result in their exploitation or damage to their scarce reputation. On the other hand, for people of a higher status, there is no significant cost involved, as the status protects from

potential consequences. The different costs involved make the vulnerability statement position-specific rather than universal behavior.

Results of the study by Jiang et al. (2022) are in line with this theory. They found that the vulnerability explanation improved the perception of authenticity of the explanation, although only for high-status and voluntary explanations. This implies that receivers use the position of the explainer as an interpretative tool when dealing with a signal; hence, the same statement can have different meanings depending on who gives it out.

2.3. Impression Management: Factors Determining the Receiver's Interpretation

The academic research on impression management deals with how people influence the impressions they create on others (Leary & Kowalski, 1990). In the context of Goffman's (1959) classical model, people manipulate their social performance in such a way that it depends on what face the audience expects. From that perspective, vulnerability is not only an involuntary reaction reflecting weaknesses but also a strategic one with impression costs and benefits. However, the assessment of those costs and benefits seems to differ depending on the organizational setting.

This dichotomy can be traced in the study by Zhang et al. (2024). First of all, admitting mistakes damages managerial trust because it hinders competence assessment, while at the same time, it can enhance managerial trust through integrity assessment and generate two contrasting results from the same act. However, there is no randomness involved in this situation: recipients of the observed act judge it from different categories of importance, each of which has different weight. Since the competence assessment tends to override the integrity one in the case of managers, the general outcome is negative.

Alzahawi and Flynn (2025) have found that leaders admitting ambiguity tend to be viewed as less competent and less effective. This finding reveals a considerable discrepancy between the normative aspect of vulnerability in management theory and the perceptions in practice. In the context of impression management, the mentioned outcome is expected because competence, especially when talking about leadership positions, remains the main criterion of assessment for the audience. Status and job security serve as the structure factors in this regard.

2.4. Psychological Security: As a Structural Foundation

Psychological safety has been defined by Edmondson (1999) as the perception of ability to speak up, disclose one’s mistakes and vulnerabilities without fear of negative interpersonal repercussions in carrying out activities involving risks. The idea of psychological safety is the

most potent predictor of learning behaviors on a team level as it creates a secure environment where people will share openly without the fear of being judged.

However, there is a structural problem in the literature about psychological safety that has been neglected for a long time despite its existence. Though psychological safety creates a safe environment on a team level, the meaning attached to the idea of a safe environment might vary from person to person. In other words, even in a safe environment, a recipient's evaluation is not necessarily status free. Social hierarchy is a macro process that will have an impact on how vulnerability will be understood. Thus, psychological safety lays the groundwork, but it does not equalize the risk-taking process within this environment.

Such structural problem has significant implications in organizations where there are discourses about vulnerability. Discourse about vulnerability involves ideas like "share your mistakes" and "come with your whole self" and it promises psychological safety to the precarious workers. However, while such discourse makes precarious workers pay for engaging in it, it makes them pay even more for not engaging in it.

3. CONCEPTUAL MODEL AND PROPOSITIONS

3.1. Status and Authenticity - Threshold of Attributing Inadequacy

Status in organizations refers to the reputation, honor, and social position that an individual holds in an organization (Blader and Tyler, 2009). Status is a positional resource that inherently carries signal value and structurally pre-shapes how an individual will be interpreted in social interactions. There are two distinct mechanisms by which status becomes important in the context of vulnerability explanation.

Firstly, status serves as a stereotypical expectation (status characteristic). Within the framework of social expectation theory (status characteristics theory), an individual's position in the organizational hierarchy determines the level of competence that the perceiver expects from them (Berger et al., 1977). A high-status individual's explanation of their weakness is interpreted as authenticity and courage because it does not contradict this expectation—on the contrary, it goes beyond it. Conversely, the same behavior of a low-status individual is interpreted as confirming the stereotypical expectation of competence; thus, falling into the "it was expected anyway" trap.

Secondly, status operates through a buffering effect in impression management. High-status individuals with abundant reputational resources possess a reputational reserve to absorb negative evaluations; therefore, making a statement is relatively inexpensive for them. Low-status individuals lack this reserve; for them, the same statement is calculated as a permanent

loss of competence. This asymmetry describes a structural mechanism that theoretically makes vulnerability unique to high-status individuals.

Proposition 1: The effect of the vulnerability statement on the attribution of authenticity differs according to status; in high-status employees, the vulnerability statement strengthens the perception of authenticity, while in low-status employees, the same statement lays the groundwork for attributing inadequacy.

3.2. Job Insecurity: The Second Layer of Perception

Job insecurity is defined as an employee's subjective perception of the threat of losing their job or experiencing involuntary changes to the fundamental characteristics of their job (Greenhalgh and Rosenblatt, 1984). Unlike status, job insecurity partly expresses a vulnerability specific to the employee; however, it also functions as a third variable involved in the assessment within a signal context: the receiver takes job insecurity—consciously or unconsciously—into account when evaluating the sender's capacity to remain within the organization.

A statement of vulnerability from an employee in a secure position can be interpreted as stemming from trust in the organizational bond; it lays the groundwork for the reading, "so strong that they can show their weakness." The same statement from an employee in a weak position, however, aligns with the narrative, "trying to hold on, already shaken." The difference between these two narratives lies not in the content of the statement, but in the asymmetry of the sender's position. Therefore, job insecurity functions as a second-layer boundary condition that determines the recipient's interpretive framework.

This mechanism, consistent with Weiss and Morrison's (2019) findings on the relationship between raising one's voice and social status, shows that proactive behaviors of individuals in secure positions are viewed more positively. Individuals in precarious positions, however, face a disadvantageous starting point in the interpretation process when they engage in the same proactive behavior—and vulnerability explanation is one such proactive behavior.

Proposition 2: Job insecurity weakens the positive effect of the vulnerability statement on the attribution of authenticity; while in employees with high job security, the vulnerability statement is interpreted as authenticity and confidence, in employees with high job insecurity, the same statement shifts towards an attribution of inadequacy and a warning of risk.

3.3. Compound Conditions: The Overlap of Low Status and Weak Job Security

Although status and job security are modeled as independent variables, they frequently coexist in organizational life; moreover, when they simultaneously possess negative values, they produce a disruptive effect greater than the sum of their independent effects. Low status

transforms the vulnerability account into a datum corresponding to the perception of incompetence by the recipient, whereas job insecurity magnifies the perceived conflict. The combined presence of both variables makes the interpretative schema of the recipient limit the interpretation to only one conclusion—ineptitude.

Fiske et al.'s (2002) model of warmth-competence accounts for the interaction between status and job insecurity. Under the circumstances when the observer perceives the low-status and insecure person as disadvantaged in the social order and threatened, the vulnerability account makes the recipient perceive the communication as warm but as incompetent; this kind of interpretation triggers the feeling of sympathy but at the same time makes the perception of the person's contribution to the organization unstable. Conversely, when the person is high in status and high in security, the same account leads to the perception of high competence and authenticity; the recipient sees the combination of warmth and competence at the high level.

Proposition 3: Status and job insecurity interact to produce an even more distortive impact on the authenticity attribution linked to the vulnerability explanation than the sum of the independent impacts of the two variables. The attribution of inadequacy reaches its peak in the combination of low status and high job insecurity, and the explanatory power of the vulnerability account turns negative in this condition.

3.4. The Hidden Cost of Organizational Discourse and Reframing Psychological Safety

The discourse of organizational vulnerability—a discourse promoted through engagement programs, leadership programs, or cultural values of "bringing one's whole self to work"—possesses a particularly prominent moral authority. Such a discourse openly encourages inclusiveness and authenticity; therefore, it masks the inevitable asymmetrical cost of such a discourse and thus resists critical reflection. In case of a negative reaction of an employee to a vulnerability disclosure, the blame is attributed to the employee rather than the explicit discourse of the organization.

In this way, the discourse of organizational vulnerability becomes the mechanism of inequality in the organization. While the discourse allows high-status and secure employees to reach their authenticity, it confines low-status and insecure employees by means of the conformity pressure (to conform to the discourse and make disclosures) and attributional risks (to disclose and run the risk of being perceived as incompetent).

The fact of psychological safety at the team level does not solve the contradiction, since the processes of evaluation continue to exist based on the status and position at the individual level. Thus, research and practice on psychological safety should go further than just analyzing

vulnerable behaviors—when and who discloses—in order to understand how disclosure advantages are distributed among the organization members.

This step is necessary from both theoretical and practical perspectives. Theoretically, the idea of psychological safety as a context-free team climate fails to address how structural status inequalities affect this climate. Practically, organizations that develop organizational vulnerability should critically evaluate whether this development provides the same returns to all organizational members.

Proposition 4: An organizational discourse that encourages vulnerability builds a context that strengthens the perception of authenticity for high-status and secure employees while increasing the attribution risk of inadequacy for low-status and insecure employees; therefore, the discourse itself becomes a structural mechanism of inequality that violates distributive justice of psychological safety.

4. DISCUSSION

The key theoretical contribution of this study lies in the redefinition of the concept of vulnerability as a privilege with differentiated payoffs depending on the organizational position. While prior literature acknowledges the benefits of vulnerability – such as the effect on perceived authenticity and the leader's effectiveness – it fails to elaborate upon the specific circumstances in which the effects occur and the specific people who reap the rewards. Four propositions proposed below combine signal theory, impression management and the psychological safety literature to fill in the gap.

First of all, from the signal theory perspective the contribution can be formulated as follows: the vulnerability paradigm generates an asymmetric understanding in situations when the receiver uses the organizational position of the sender as a meta-signal in order to minimize uncertainty. Unlike its typical application in the finance and economic contexts, the signal theory is applied to organizational psychology and management here. In accordance with the signal theory, the vulnerability paradigm should not be viewed unidimensionally; competence and authenticity are two dimensions that run parallel to each other, with the status affecting their relative importance.

As for the impression management, the contribution can be presented as the following statement: the research on impression management focused mostly on the strategies of the sender while the role of the receiver was often overlooked. In particular, this study adopts the receiver-centric approach and demonstrates that the impression management effectiveness

depends on the structural positioning variables rather than on the sender's strategy only. This way, the impression management turns from being a skill into a structural issue.

Among the direct contributions to the literature on psychological safety the one made to Edmondson's model should be singled out. The framework proposed by Edmondson describes the climate at the team level without providing any insights into the way it impacts individual members. However, the study incorporates the relationship between the climate and the status hierarchy in the framework and raises the question of whether a safe climate eliminates the advantages associated with the vulnerability explanation. The proposed answer is no: the payoff from vulnerability is still tied to the status and the job security, even in a safe climate.

5. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

This study uses the method of conceptual analysis to reveal the conditions under which the perception of authenticity of a vulnerability statement is formed and to develop four basic propositions. Altogether, the propositions claim that status and security serve as boundary conditions that result in different interpretation of the very same vulnerability statement by the perceiver, and the universal discourse of organizations promoting vulnerability imposes systemic costs on precarious employees by making structural asymmetry invisible.

However, there are certain limitations to the theory provided by this study. Conceptual analysis is not an empirical method that tests the mechanisms discussed above, and thus, experimental and field studies are required in order to empirically examine the suggested mechanisms. Three priorities of further research are identified below. First, the effect of status and job insecurity on vulnerability explanations attribution can be easily tested in experimental designs, thus providing causal evidence. Second, comparative multi-group studies will greatly enrich the field since the moderation effect of status and security might be different in various contexts, such as different sectors, organizational cultures and national cultures. Third, multi-level designs addressing the interplay of psychological security climate and status are the most direct follow-up of this study.

Practical implications of this study can be presented as follows: organizations that have made the norm of vulnerability have to provide structural guarantees for this norm. Imposing mere discourse imposes moral obligations, especially towards people of lower status and insecure positions. Human resources managers and organizational leaders have to monitor the effectiveness of vulnerability incentives programs and systematically investigate those cases when the responses to vulnerability disclosure are negative. Only measuring the psychological safety climate is not sufficient: one also has to measure whether psychological safety is

perceived equally under different status and security conditions. If vulnerability is to stop being a privilege and become a right, it has to become an organizational structure feature.

REFERENCES

Alzahawi, S., & Flynn, F. J. (2025). Does expressing uncertainty help or harm leaders? *The Leadership Quarterly, 36*(5), Article 101880. https://doi.org/10.1016/j.leaqua.2025.101880

Berger, J., Fisek, M.H., Norman, R.Z., and Zelditch, M. (1977). Situation characteristics and social interaction: An expectation states approach. Elsevier.

Blader, S. L., and Tyler, TR (2009). Testing and extending the group engagement model: Linkages between social identity, procedural justice, economic outcomes, and extrarole behavior. Journal of Applied Psychology, 94(2), 445–464. https://doi.org/10.1037/a0013935

Brown, B. (2012). Daring greatly: How the courage to be vulnerable transforms the way we live, love, parent, and lead. Gotham Books.

Edmondson, A. C. (1999). Psychological safety and learning behavior in work teams. Administrative Science Quarterly, 44(2), 350–383. https://doi.org/10.2307/2666999

Edmondson, A. C. (2018). The fearless organization: Creating psychological safety in the workplace for learning, innovation, and growth. Wiley.

Fiske, S.T., Cuddy, A.J.C., Glick, P., and Xu, J. (2002). A model of (often mixed) stereotype content: Competence and warmth respectively follow from perceived status and competition. Journal of Personality and Social Psychology, 82(6), 878–902. https://doi.org/10.1037/0022-3514.82.6.878

Goffman, E. (1959). The presentation of self in everyday life. Doubleday.

Greenhalgh, L., and Rosenblatt, Z. (1984). Job insecurity: Toward conceptual clarity. Academy of Management Review, 9(3), 438–448. https://doi.org/10.5465/amr.1984.4279673

Jiang, L., John, L. K., Boghrati, R., & Kouchaki, M. (2022). Fostering perceptions of authenticity via sensitive self-disclosure. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 28*(4), 898–915. https://doi.org/10.1037/xap0000453

Leary, M. R., and Kowalski, R. M. (1990). Impression management: A literature review and two-component model. Psychological Bulletin, 107(1), 34–47. https://doi.org/10.1037/0033-2909.107.1.34

Spence, M. (1973). Job market signaling. Quarterly Journal of Economics, 87(3), 355–374. https://doi.org/10.2307/1882010

Weiss, M., and Morrison, E. W. (2019). Speaking up and moving up: How voice can enhance employees' social status. Journal of Organizational Behavior, 40(1), 5–19. https://doi.org/10.1002/job.2262

Zhang, K., Zhao, B., & Yin, K. (2024). The double-edged sword of error sharing in organizations: From a self-disclosure perspective. *Journal of Management Studies, 61*(7), 3108–3147. https://doi.org/10.1111/joms.13003

YEŞİL PAZARLAMA BAĞLAMINDA YEŞİL AKLAMA: KAVRAMSAL BİR DEĞERLENDİRME

Arş. Gör. Dr. Tansu IŞIKAY
Doğuş University, Faculty of Economics Administrative and Social Sciences, Department of Business, 34680 Üsküdar, Istanbul, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-3769-7409

ÖZET

Yeşil pazarlama, pazarlama faaliyetlerinin doğal çevre üzerindeki olumsuz etkisini en aza indirmek amacıyla ürün, fiyat, dağıtım ve tutundurma gibi pazarlama unsurlarının çevresel kaygılar dikkate alınarak gerçekleştirilmesi olarak tanımlanmaktadır (Polonsky, 1994; Dangelico & Vocalelli, 2017). Bu yönüyle yeşil pazarlama yalnızca çevresel özelliklere sahip ürün ve hizmetler sunulmasına odaklanmanın yanı sıra, işletmelerin çevresel etkileri azaltmaya yönelik yaklaşımlarının pazarlama süreçlerinin farklı aşamalarına entegre edilmesini de kapsamaktadır. Bu bağlamda işletmelerin çevresel ürün ve hizmetleri nasıl geliştirdikleri ve tüketicilere nasıl sundukları önem kazanmaktadır.

Yeşil aklama (greenwashing), bireylerin bir işletmenin çevresel uygulamaları veya ürünleri hakkında gerçeğinden daha olumlu inançlar geliştirmesine yol açan yanıltıcı iletişim olarak tanımlanmaktadır (Delmas & Burbano, 2011; Lyon & Montgomery, 2015). Bu doğrultuda yeşil aklama kavramı ürün veya hizmetlerin çevresel özelliklerine ilişkin iddiaların yanıltıcı, eksik, belirsiz veya olduğundan daha olumlu sunulması gibi farklı şekillerde ortaya çıkabilmektedir (Lyon & Montgomery, 2015; de Freitas Netto et al., 2020).

Son yıllarda yeşil aklama, yeşil pazarlama uygulamalarının güvenilirliği ve işletmelerin çevresel iddialarının tüketiciler tarafından nasıl değerlendirildiği açısından dikkat çeken bir araştırma konusu hâline gelmiştir. Güncel çalışmalar incelendiğinde, yeşil aklama literatürünün giderek genişlediğini ve konunun tüketici davranışları (Chen, Bernard & Rahman, 2019; Apaolaza ve diğ., 2023), marka algısı (Ha ve diğ., 2022), ağızdan ağıza iletişim (Guerreiro & Pacheco, 2021), paydaş ilişkileri (Santos ve diğ., 2024) gibi farklı boyutlarda ele alındığını göstermektedir. Bu nedenle yeşil aklama, işletmelerin çevresel faaliyetlerini pazarlama faaliyetleri aracılığıyla sunma biçimleri ile bu sunumların gerçek çevresel performansla uyumu arasındaki ilişkiyi ortaya koyması bakımından, pazarlama literatüründe araştırılması gereken güncel ve önemli bir konu olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar kelimeler: Yeşil pazarlama, yeşil aklama, sürdürülebilirlik

GREENWASHING IN THE CONTEXT OF GREEN MARKETING: A CONCEPTUAL EVALUATION

ABSTRACT

Green marketing is defined as the execution of marketing elements such as product, price, distribution, and promotion with due regard for environmental concerns, aiming to minimize the negative impact of marketing activities on the natural environment (Polonsky, 1994; Dangelico & Vocalelli, 2017). In this respect, green marketing encompasses not only the offering of products and services with environmental attributes but also the integration of approaches aimed at reducing environmental impacts into various stages of marketing processes. In this context, how businesses develop environmental products and services and how they present them to consumers become significant.

Greenwashing is defined as misleading communication that leads individuals to form beliefs about a business's environmental practices or products that are more positive than reality warrants (Delmas & Burbano, 2011; Lyon & Montgomery, 2015). Accordingly, the concept of greenwashing can manifest in various forms, such as the presentation of claims regarding the environmental attributes of products or services as misleading, incomplete, vague, or overly positive (Lyon & Montgomery, 2015; de Freitas Netto et al., 2020).

In recent years, greenwashing has emerged as a notable research topic regarding the credibility of green marketing practices and how consumers evaluate the environmental claims made by businesses. A review of current studies indicates that the greenwashing literature is expanding, with the subject being examined across various dimensions such as consumer behavior (Chen, Bernard & Rahman, 2019; Apaolaza et al., 2023), brand perception (Ha et al., 2022), word-of-mouth communication (Guerreiro & Pacheco, 2021), and stakeholder relations (Santos et al., 2024). Consequently, greenwashing is considered a timely and significant topic for research within the marketing literature, as it highlights the relationship between the ways businesses present their environmental activities through marketing efforts and the alignment of these presentations with actual environmental performance.

Keywords: Green marketing, greenwashing, sustainability

KAYNAKÇA

Apaolaza, V., Policarpo, M. C., Hartmann, P., Paredes, M. R., & D'Souza, C. (2023). Sustainable clothing: Why conspicuous consumption and greenwashing matter. *Business Strategy and the Environment*, 32(6), 3766-3782. https://doi.org/10.1002/bse.3335

Chen, H., Bernard, S., & Rahman, I. (2019). Greenwashing in hotels: A structural model of trust and behavioral intentions. *Journal of cleaner production*, 206, 326-335. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.168

Dangelico, R. M., & Vocalelli, D. (2017). "Green Marketing": An analysis of definitions, strategy steps, and tools through a systematic review of the literature. Journal of Cleaner production, 165, 1263-1279. https://doi.org/ 10.1016/j.jclepro.2017.07.184

de Freitas Netto, S. V., Sobral, M. F. F., Ribeiro, A. R. B., & Soares, G. R. L. (2020). Concepts and forms of greenwashing: A systematic review. *Environmental Sciences Europe*, 32, 19.

Delmas, M. A., & Burbano, V. C. (2011). The drivers of greenwashing. *California Management Review*, 54(1), 64–87. https://doi.org/10.1186/s12302-020-0300-3

Guerreiro, J., & Pacheco, M. (2021). How green trust, consumer brand engagement and green word-of-mouth mediate purchasing intentions. *Sustainability*, 13(14), 1-13. https://doi.org/10.3390/su13147877

Ha, M. T., Ngan, V. T. K., & Nguyen, P. N. (2022). Greenwash and green brand equity: The mediating role of green brand image, green satisfaction and green trust and the moderating role of information and knowledge. *Business Ethics, the Environment & Responsibility*, 31(4), 904-922. https://doi.org/10.1111/beer.12462Digital Object Identifier (DOI)

Lyon, T. P., & Montgomery, A. W. (2015). The means and end of greenwash. *Organization & Environment*, 28(2), 223–249. https://doi.org/10.1177/1086026615575332

Polonsky, M. J. (1994). An introduction to green marketing. *Electronic green journal*, *1*(2). https://doi.org/10.5070/G31210177

Santos, C., Coelho, A., & Marques, A. (2024). A systematic literature review on greenwashing and its relationship to stakeholders: state of art and future research agenda. *Management Review Quarterly*, 74(3), 1397-1421. https://doi.org/10.1007/s11301-023-00337-5

SOSYAL PAZARLAMANIN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİKTEKİ ROLÜNÜN TÜRKİYE'DEKİ DEPOZİTO YÖNETİM SİSTEMİ ÜZERİNDEN DEĞERLENDİRİLMESİ

Arş. Gör. Dr. Tansu IŞIKAY
Doğuş University, Faculty of Economics Administrative and Social Sciences, Department of Business, 34680 Üsküdar, Istanbul, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-3769-7409

ÖZET

Sürdürülebilirlik sorunlarının çözümünde tüketici davranışlarının değiştirilmesi önemli olmakla birlikte, sürdürülebilirliği yalnızca bireysel tercihler üzerinden ele almak, üreticilerin, işletmelerin ve düzenleyici kurumların sorumluluğunu göz ardı edilmesine neden olabilmektedir. Sosyal pazarlama, pazarlama uygulamalarının bireylerin ve toplumun refahını geliştirecek gönüllü davranış değişikliklerini teşvik etmek amacıyla kullanılması olarak tanımlanmaktadır (Andreasen, 1994). Bununla birlikte, çevresel sorunlar karşısında sosyal pazarlamanın yalnızca bireysel davranış değişikliğine odaklanması yeterli bir yaklaşım olmayıp, davranış değişikliğini bireyler, gruplar veya kurumlar tarafından gerçekleştiği daha geniş bir sistem olarak dikkate alınması gerekmektedir (Gordon, 2011; Brennan & Parker, 2014; Domegan ve diğ., 2016).

Bu çalışma, sosyal pazarlamanın sürdürülebilirlik bağlamındaki rolünü "tüketiciyi değiştirmekten sistemi dönüştürmeye" yönelik bir perspektifle yeniden değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda Türkiye'de 2026 yılında ulusal ölçekte uygulanmaya başlayan Depozito Yönetim Sistemi (DYS), sistemsel sosyal pazarlama açısından somut bir örnek olarak ele alınmaktadır. DYS, tüketiciyi içecek ambalajlarını iade etmeye teşvik etmenin yanı sıra üreticiler, satış noktaları, iade noktaları ve geri kazanım tesisleri gibi farklı aktörleri aynı sistem içerisinde bir araya getirmektedir.

Çalışmanın temel argümanı, sürdürülebilir davranış değişikliğinin yalnızca tüketicinin bilinçlendirilmesiyle sağlanamayacağıdır. Tüketicinin sürdürülebilir seçim yapabilmesi; işletmelerin sunduğu ürün ve ambalaj alternatifleri, üretim süreçleri, ürünlerin fiyatlandırılması, düzenleyici politikalar ve geri kazanım altyapısı gibi tüketim koşullarıyla birlikte değerlendirilmelidir. Bu bağlamda DYS, sürdürülebilir davranışın yalnızca bireysel sorumluluk olarak bırakılmayıp, ekonomik teşvikler ve kurumsal altyapı aracılığıyla sistem tarafından desteklenebileceğini göstermektedir. Çalışma, sosyal pazarlamanın sürdürülebilirlik bağlamındaki rolünün yalnızca sürdürülebilir tüketici davranışlarını teşvik etmek değil,

sürdürülebilir davranışı mümkün, erişilebilir ve desteklenebilir kılan pazar ve politika sistemlerinin tasarlanmasına katkı sağlamak olduğunu ileri sürmektedir.

Anahtar kelimeler: Sosyal pazarlama, sürdürülebilir tüketim, depozito yönetim sistemi

AN EVALUATION OF THE ROLE OF SOCIAL MARKETING IN SUSTAINABILITY THROUGH TÜRKIYE'S DEPOSIT MANAGEMENT SYSTEM

ABSTRACT

While changing consumer behavior is important for addressing sustainability issues, framing sustainability solely in terms of individual choices can lead to the neglect of the responsibilities held by producers, businesses, and regulatory bodies. Social marketing is defined as the use of marketing practices to encourage voluntary behavioral changes that enhance the well-being of individuals and society (Andreasen, 1994). However, when addressing environmental issues, a social marketing approach that focuses exclusively on individual behavioral change is insufficient; instead, behavioral change must be viewed within a broader system involving individuals, groups, or institutions (Gordon, 2011; Brennan & Parker, 2014; Domegan et al., 2016).

This study aims to re-evaluate the role of social marketing within the context of sustainability, adopting a perspective that shifts from "changing the consumer" to "transforming the system." In this regard, the Deposit Management System (DMS) implemented on a national scale in Turkey in 2026 is examined as a concrete example of systemic social marketing. Beyond encouraging consumers to return beverage packaging, the DMS brings together various actors such as manufacturers, points of sale, return points, and recovery facilities within a unified system.

The study's fundamental argument is that sustainable behavior change cannot be achieved solely by raising consumer awareness. A consumer's ability to make sustainable choices must be viewed in the context of consumption conditions such as the product and packaging alternatives offered by businesses, production processes, product pricing, regulatory policies, and recovery infrastructure. In this context, the study demonstrates that sustainable behavior need not be left to individual responsibility alone but can be supported by the system through economic incentives and institutional infrastructure. It posits that the role of social marketing in the realm of sustainability extends beyond merely encouraging sustainable consumer behaviors; it also involves contributing to the design of market and policy systems that render sustainable behavior possible, accessible, and supported.

Keywords: Social marketing, sustainable consumption, deposit management system

KAYNAKÇA

Andreasen, A. R. (1994). Social marketing: its definition and domain. *Journal of public policy & marketing*, 13(1), 108-114. https://doi.org/10.1177/0743915694013001

Brennan, L., & Parker, L. (2014). Social marketing: Beyond behaviour change editorial. *Journal of Social Marketing*, 4(3), 194–197. https://doi.org/10.1108/JSOCM-05-2014-0037

Domegan, C., McHugh, P., Devaney, M., Duane, S., Hogan, M., Broome, B. J., Layton, R. A., Joyce, J., Mazzonetto, M., & Piwowarczyk, J. (2016). Systems-thinking social marketing: conceptual extensions and empirical investigations. *Journal of Marketing Management*, *32*(11-12), 1123-1144. http://dx.doi.org/10.1080/0267257X.2016.1183697

Gordon, R. (2011). Critical social marketing: definition, application and domain. *Journal of Social Marketing*, 1(2), 82-99. https://doi.org/10.1108/20426761111141850

Türkiye Çevre Ajansı. (2026). *Nasıl çalışır?* Depozito Yönetim Sistemi. https://www.dbys.gov.tr/nasil-calisir

CLIMATE EDUCATION AND THE PROTECTION OF FUNDAMENTAL RIGHTS: LAW NO. 14,926/2024 AND THE ROLE OF ENVIRONMENTAL EDUCATION IN PREVENTION, ADAPTATION, AND THE REDUCTION OF SOCIO-ENVIRONMENTAL VULNERABILITIES

Deilton RIBEIRO BRASIL[1]
University of Itaúna (UIT)

ABSTRACT

This study analyzes Law No. 14,926/2024, which amended the Brazilian National Environmental Education Policy to expressly incorporate climate change, biodiversity protection, socio-environmental disaster prevention, mitigation and adaptation, as well as the perception of risks and vulnerabilities into environmental education. The general objective is to examine whether the new legal framework strengthens climate education as an instrument for protecting fundamental rights and promoting socio-environmental resilience. The specific objective is to assess how the statutory incorporation of climate-related themes into educational actions, methodologies, and institutional and pedagogical projects may contribute to risk awareness, preventive action, adaptive capacity, and the reduction of socio-environmental vulnerabilities. The research problem asks to what extent Law No. 14,926/2024 can transform environmental education into an effective mechanism for climate prevention and adaptation, particularly in contexts marked by unequal exposure to socio-environmental risks. The hypothesis is that the statute provides relevant normative foundations for integrating climate education, risk perception, biodiversity protection, and adaptation into educational policies, although its effectiveness depends on implementation, institutional coordination, teacher training, adequate methodologies, and continuity of educational programs. The research adopts the hypothetical-deductive method and employs bibliographical and documentary procedures, with a qualitative analysis centered on Law No. 14,926/2024, the National Environmental Education Policy, and the constitutional framework of environmental protection and education. Preliminary results indicate that the statute broadens the preventive and formative functions of environmental education by linking educational practices to climate-risk awareness, adaptation, mitigation, biodiversity protection, and socio-environmental resilience, thereby strengthening its potential contribution to the protection of fundamental rights.

KEYWORDS: Climate education; Environmental education; Fundamental rights; Climate adaptation; Socio-environmental vulnerability.

[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. BACKGROUND ISSUES

Climate change has intensified environmental, social, economic, and territorial risks, creating new challenges for public policies concerned with prevention, adaptation, and the protection of fundamental rights. Extreme events, biodiversity loss, water insecurity, environmental degradation, and socio-environmental disasters reveal that responses to the climate crisis cannot be limited to technological, regulatory, or infrastructural measures. They also require educational strategies capable of strengthening public awareness, improving risk perception, promoting preventive behavior, and developing individual and collective capacities to respond to present and future climate impacts.

On this basis, environmental education acquires particular importance. Education can contribute not only to disseminating information about environmental problems but also to developing the knowledge, values, attitudes, and social practices necessary for prevention, mitigation, adaptation, and socio-environmental resilience. Climate education may therefore be understood as an important dimension of environmental education, especially when it enables individuals and communities to identify vulnerabilities, understand the causes and consequences of climate change, participate in decision-making processes, and adopt practices aimed at reducing risks and protecting environmental conditions essential to human life.

In Brazil, this relationship acquired greater normative specificity with the enactment of Law No. 14,926, of July 17, 2024, which amended Law No. 9,795/1999, governing the National Environmental Education Policy. The new legislation expressly incorporates attention to climate change, biodiversity protection, and risks and vulnerabilities associated with socio-environmental disasters into the field of environmental education. It also encourages the participation of schools at all levels in actions of prevention, mitigation, and adaptation related to climate change and socio-environmental disasters and introduces educational measures aimed at improving the perception of risks and vulnerabilities.

The statute also reinforces the institutional dimension of climate education by requiring the development of instruments and methodologies capable of ensuring the effectiveness of educational actions related to climate prevention, mitigation, adaptation, and biodiversity protection. Furthermore, it provides for the inclusion of themes concerning climate change, biodiversity, socio-environmental risks and emergencies, and related environmental issues in institutional and pedagogical projects of basic and higher education establishments. These provisions broaden the role traditionally attributed to environmental education by connecting

educational processes more directly with the management of climate risks and socio-environmental vulnerabilities.

From the perspective of fundamental rights, this legislative development is particularly relevant because the consequences of climate change may affect a broad range of constitutionally protected interests, including environmental protection, education, health, life, human dignity, and the conditions necessary for a safe and sustainable existence. Climate education may therefore perform a preventive function by providing individuals and communities with knowledge and capacities that contribute to reducing exposure to socio-environmental risks and strengthening adaptive responses. In this regard, education becomes part of a broader institutional strategy for protecting fundamental rights in circumstances marked by increasing climate uncertainty and vulnerability.

The incorporation of climate-related themes into educational policies also raises questions concerning the effective implementation of the new statutory framework. The formal inclusion of climate change, adaptation, mitigation, biodiversity, and disaster-risk perception in environmental education does not automatically guarantee meaningful educational outcomes. The effectiveness of Law No. 14,926/2024 may depend on the development of appropriate methodologies, teacher training, institutional coordination, curricular and pedagogical integration, continuity of educational programs, and the capacity to adapt educational strategies to the specific socio-environmental realities of different territories and communities.

In view of these considerations, the research problem guiding this study is the following: to what extent does Law No. 14,926/2024 provide an adequate legal framework for transforming environmental education into an effective mechanism for climate prevention and adaptation, particularly in contexts characterized by unequal exposure to socio-environmental risks and vulnerabilities? The problem arises from the distinction between normative recognition and effective implementation, since the existence of legal provisions concerning climate education must be accompanied by institutional, pedagogical, methodological, and administrative conditions capable of translating them into concrete educational practices.

The research hypothesis holds that Law No. 14,926/2024 provides relevant normative foundations for integrating climate education, risk perception, biodiversity protection, mitigation, and adaptation into Brazilian educational policies, thereby strengthening the preventive and formative dimensions of environmental education. Nevertheless, the hypothesis also assumes that the effectiveness of this legal framework depends on coordinated implementation, adequate methodologies, teacher training, institutional capacity, continuity of

educational initiatives, and the effective incorporation of climate-related themes into educational and pedagogical projects. The statute can therefore represent a significant normative advance without necessarily ensuring, by itself, the practical effectiveness of climate education.

Hence, the general objective of this research is to examine whether Law No. 14,926/2024 strengthens climate education as an instrument for protecting fundamental rights and promoting socio-environmental resilience. The specific objective is to assess how the statutory incorporation of climate-related themes into educational actions, methodologies, and institutional and pedagogical projects may contribute to risk awareness, preventive behavior, adaptive capacity, biodiversity protection, and the reduction of socio-environmental vulnerabilities.

To achieve these objectives, the research adopts the hypothetical-deductive method. The investigation begins with the hypothesis that the normative changes introduced by Law No. 14,926/2024 are capable of strengthening the role of environmental education in climate prevention and adaptation. From this initial proposition, the study examines the legal content of the statute and its relationship with environmental education, climate-risk perception, socio-environmental vulnerability, adaptation, and the protection of fundamental rights. The hypothetical-deductive method therefore allows the initial hypothesis to be confronted with the normative and theoretical elements identified during the research.

Regarding the methodological procedures, the study is based on bibliographical and documentary research and adopts a qualitative approach. Documentary analysis is centered on Law No. 14,926/2024 and its amendments to the National Environmental Education Policy, with particular attention to provisions concerning climate change, biodiversity, prevention, mitigation, adaptation, socio-environmental disasters, risk perception, educational methodologies, and institutional and pedagogical projects. Bibliographical research provides the theoretical foundations for examining the relationship between climate education, environmental education, fundamental rights, socio-environmental vulnerability, and resilience.

The preliminary results indicate that Law No. 14,926/2024 broadens the legal functions of environmental education by explicitly linking educational practices to climate change, adaptation, mitigation, biodiversity protection, risk awareness, and socio-environmental disaster prevention. The statute contributes to moving environmental education beyond a predominantly informational model toward a more preventive, participatory, and resilience-

oriented framework. However, the effective contribution of climate education to the protection of fundamental rights will depend on whether these statutory guidelines are translated into continuous educational practices, adequate methodologies, qualified teaching, institutional coordination, and pedagogical strategies sensitive to the differentiated vulnerabilities of populations and territories.

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. CLIMATE EDUCATION, ENVIRONMENTAL EDUCATION, AND THE PROTECTION OF FUNDAMENTAL RIGHTS

The relationship between education and environmental protection provides an important constitutional and normative foundation for understanding climate education from the perspective of fundamental rights. In the Brazilian legal order, education is not limited to the transmission of technical or academic knowledge. It is connected to human development, citizenship, social participation, and the realization of other constitutionally protected rights. Environmental education occupies a particular position within this framework because it links the formative function of education to the constitutional protection of an ecologically balanced environment. In this regard, Faccio and Filter (2020, p. 180) argue that the right to environmental education, grounded in the need for environmental knowledge, constitutes not only an essential instrument for environmental protection but also a constitutional duty of the State.

This relationship can be understood through the combined interpretation of Articles 205 and 225 of the Brazilian Federal Constitution of 1988. The Article 205 recognizes education as a right of all and a duty of the State and the family, promoted with the collaboration of society and directed toward the full development of the human person, preparation for the exercise of citizenship, and qualification for work (Brazil, 1988). Education therefore performs a constitutional function that extends beyond access to formal instruction, since it provides conditions for individuals to understand their rights and responsibilities and participate actively in collective life. This formative dimension is particularly relevant to environmental issues

because the exercise of environmental citizenship presupposes knowledge and critical awareness concerning problems that affect society as a whole.

The Article 225 complements this educational dimension by recognizing the right of everyone to an ecologically balanced environment, characterized as a common good essential to a healthy quality of life, while imposing upon Public Authorities and the community the duty to defend and preserve it for present and future generations. More specifically, Article 225, paragraph 1, item VI, expressly requires Public Authorities to promote environmental education at all levels of education and public awareness concerning environmental preservation (Brazil, 1988). The constitutional text thus establishes a direct connection between environmental protection, education, public awareness, collective responsibility, and intergenerational protection.

This constitutional framework is also identified by Faccio and Filter (2020, p. 181), who emphasize that the duty to promote environmental education contributes to citizenship and the development of ecological awareness. Since Article 225 imposes responsibilities for environmental protection not only upon the State but also upon society, environmental education becomes essential for providing individuals with the knowledge and awareness necessary to exercise their fundamental right-duty to protect environmental balance. From this perspective, the connection between Articles 205 and 225 establishes a normative convergence between the fundamental right to education and the fundamental right to an ecologically balanced environment.

The bond between these constitutional provisions acquires greater normative specificity through Law No. 9,795/1999, which established the National Environmental Education Policy. Article 1 defines environmental education as the processes through which individuals and communities construct social values, knowledge, skills, attitudes, and competencies directed toward environmental conservation and sustainability. The Article 2 establishes environmental education as an essential and permanent component of national education, requiring its articulated presence at all levels and modalities of the educational process, in both formal and non-formal settings. Particularly significant is Article 3, item I, which expressly refers to Articles 205 and 225 of the Federal Constitution of 1988 when assigning Public Authorities the responsibility to formulate policies incorporating the environmental dimension, promote environmental education at all levels of education, and encourage social engagement in environmental conservation, recovery, and improvement (Brazil, 1999).

The National Environmental Education Policy therefore performs an important function in connecting the two constitutional dimensions. Article 205 supplies the foundation of education as a fundamental right oriented toward human development and citizenship; the Article 225 establishes environmental protection as a fundamental right-duty and expressly requires environmental education; and Law No. 9,795/1999 translates these constitutional commands into an organized public policy. In this sense, environmental education may simultaneously be understood as an educational policy, an instrument of environmental protection, and a mechanism for giving practical effect to fundamental rights (Brazil, 1988; Brazil, 1999).

Faccio and Filter (2020, pp. 182-183) situate environmental education within this broader constitutional and legislative framework. The authors examine its development as an instrument for environmental protection and highlight the establishment of the National Environmental Education Policy under Law No. 9,795/1999 (Brazil, 1999). They further emphasize that environmental education should be articulated across all levels of education and developed through integrated, continuous, and permanent educational practices rather than through fragmented or isolated initiatives (Faccio & Filter, 2020, p. 183). This characteristic is especially relevant to environmental issues because their complexity requires interaction among different areas of knowledge and different dimensions of social life.

Indeed, Law No. 9,795/1999 adopts a broad and structurally integrated conception of environmental education. Article 1 defines environmental education as the processes through which individuals and communities construct social values, knowledge, skills, attitudes, and competencies directed toward environmental conservation and sustainability, while Article 2 establishes it as an essential and permanent component of national education, to be present in an articulated manner at all levels and modalities of formal and non-formal education. Article 3 further reinforces its fundamental-rights dimension by recognizing environmental education as a right of all and, in item I, expressly connecting public policies in this field with Articles 205 and 225 of the Federal Constitution of 1988; item II assigns educational institutions the responsibility to integrate environmental education into their programs, while item VI attributes to society a permanent role in developing values, attitudes, and abilities directed toward the prevention, identification, and solution of environmental problems (Brazil, 1999).

This broad conception is further developed in Article 4, which establishes as basic principles of environmental education a humanistic, holistic, democratic, and participatory approach (item I); an understanding of the environment in its entirety and of the interdependence between natural, socioeconomic, and cultural dimensions under the perspective of sustainability (item

II); pedagogical pluralism and inter-, multi-, and transdisciplinarity (item III); the relationship between ethics, education, work, and social practices (item IV); continuity and permanence of the educational process (item V); permanent critical evaluation (item VI); an articulated approach to local, regional, national, and global environmental issues (item VII); and respect for individual and cultural plurality and diversity (item VIII). The Article 5 complements these principles by establishing among the fundamental objectives of environmental education the development of an integrated understanding of the environment in its ecological, psychological, legal, political, social, economic, scientific, cultural, and ethical dimensions (item I); the democratization of environmental information (item II); the strengthening of critical awareness concerning environmental and social problems (item III); and permanent and responsible individual and collective participation in environmental protection, expressly associating environmental quality with the exercise of citizenship (item IV) (Brazil, 1999).

The statute also provides mechanisms for translating these principles into educational practice. Article 8 establishes interconnected lines of action involving human-resource training, studies and research, educational materials, and monitoring and evaluation, while paragraph 2, item I, requires the environmental dimension to be incorporated into the training and continuing education of educators. Paragraph 3, item I, further encourages the development of instruments and methodologies capable of introducing the environmental dimension interdisciplinarily at different levels and modalities of education. In formal education, The Article 10 requires environmental education to be developed as an integrated, continuous, and permanent educational practice, and Article 11 determines that the environmental dimension must be included in teacher-training curricula at all levels and in all disciplines, while also requiring complementary training for teachers already in professional practice (Brazil, 1999).

The transformative potential of environmental education is also emphasized by Jesus and Brasil (2023, p. 105). The authors understand environmental education as a permanent learning process capable of reconnecting different forms of knowledge, recovering values, developing awareness concerning the need for new habits, and promoting social transformation. They argue that environmental education should overcome fragmented approaches and incorporate political, economic, social, and cultural dimensions, thereby contributing to the construction of a new environmental rationality.

Interdisciplinarity is central to this transformative function. Jesus and Brasil (2023, pp. 105-106) maintain that environmental education, when structured through interdisciplinarity and the dialogue of knowledge, can promote new ways of thinking and acting in relation to

environmental issues. Environmental problems are inseparable from cultural and socioeconomic conditions, which requires educational methodologies capable of reconnecting knowledge that has traditionally been fragmented into separate disciplines. In this sense, environmental education becomes a means of developing critical consciousness and encouraging changes in individual and collective conduct.

This educational dimension also has a direct relationship with fundamental environmental rights. Jesus and Brasil (2023, p. 106) argue that environmental education, based on interdisciplinarity and the dialogue of knowledge, plays an important role in constructing a new environmental rationality and a sustainable society capable of guaranteeing the fundamental right to an ecologically balanced environment. The educational process consequently acquires an intergenerational dimension, since the formation of environmental awareness in the present may influence decisions, behaviors, and public policies capable of preserving environmental conditions for future generations.

The participatory character of environmental education is equally relevant. Jesus and Brasil (2023, p. 109) emphasize that the State should promote public policies capable of integrating citizens into environmental issues and encouraging critical and reflective attitudes regarding the relationship between human beings and nature. Environmental education, developed through interdisciplinarity and the dialogue of knowledge, can contribute to environmental awareness, sustainability, and the protection of the fundamental right to an ecologically balanced environment for present and future generations. Environmental education therefore contributes not only to individual learning but also to the development of conditions for informed environmental participation.

This bond is directly addressed by Fusinato and Obara (2024, p. 211). In examining the conceptions and practices of Basic Education teachers, the authors emphasize the importance of teacher preparation based on an understanding of environmental complexity that integrates social, political, and economic dimensions, thereby enabling climate change to be addressed with students in a critical and reflective manner. Their analysis demonstrates that climate education requires more than the transmission of scientific concepts concerning temperature, greenhouse gases, or extreme events. It also requires educational strategies capable of connecting climate knowledge with citizenship, social realities, and the capacity to make informed decisions.

Climate education also requires pedagogical practices capable of addressing the complexity of the climate crisis. Fusinato and Obara (2024, p. 212) associate education on climate change

with environmental-education values and emphasize the need to consider the social and political dimensions of climate problems. Their analysis highlights interdisciplinarity as a means of producing new knowledge, improving understanding of social reality, and creating more meaningful educational processes. Such an approach allows climate education to establish connections between global climatic processes and the concrete experiences of students, schools, communities, and territories.

However, the effectiveness of this educational model depends on the institutional conditions under which it is implemented. The empirical findings of Fusinato and Obara reveal important limitations. Teachers reported that climate change receives insufficient attention in teaching materials and that available classroom time may restrict the development of the subject. More significantly, the authors found gaps in teachers' scientific knowledge concerning environmental education and climate change, associated with limitations in initial training and the lack of continuing professional education (Fusinato & Obara, 2024, p. 217). These findings demonstrate that legal and curricular recognition alone is insufficient unless educators possess the scientific, methodological, and pedagogical resources necessary to implement climate education effectively.

In this context, climate education may be regarded as a contemporary specification of the broader constitutional and legal functions attributed to environmental education. The growing intensity and complexity of climate risks require the educational framework established by Articles 205 and 225 and Law No. 9,795/1999 to incorporate more explicitly the challenges associated with climate change, including prevention, mitigation, adaptation, biodiversity loss, socio-environmental disasters, and the perception of risks and vulnerabilities. The literature examined also demonstrates that this development must be supported by interdisciplinarity, adequate pedagogical methodologies, teacher training, institutional capacity, and the connection between scientific knowledge and the social and territorial realities experienced by communities (Jesus & Brasil, 2023, pp. 105-106; Fusinato & Obara, 2024, pp. 211-212).

This normative evolution provides the basis for the analysis developed in the following section. Law No. 14,926/2024 should not be understood as creating climate education in a normative vacuum, but rather as further specifying and updating an existing constitutional and legislative structure formed by Articles 205 and 225 of the Brazilian Federal Constitution of 1988 and the National Environmental Education Policy established by Law No. 9,795/1999. By expressly incorporating climate change, biodiversity protection, prevention, mitigation, adaptation, and the perception of risks and vulnerabilities associated with socio-environmental disasters into

environmental education, the new legislation strengthens the connection between education, environmental citizenship, climate resilience, and the protection of fundamental rights. The analysis must therefore move from the constitutional and conceptual foundations examined in this section to the specific legal mechanisms through which Law No. 14,926/2024 seeks to adapt Brazilian environmental education to the contemporary challenges of the climate crisis.

3. LAW NO. 14,926/2024 AND THE STRENGTHENING OF CLIMATE EDUCATION: PREVENTION, ADAPTATION, AND SOCIO-ENVIRONMENTAL VULNERABILITIES

The constitutional and legislative foundations examined in the previous section demonstrate that environmental education was already incorporated into the Brazilian legal framework as an instrument connecting education, citizenship, environmental protection, and fundamental rights. Law No. 14,926/2024 advances this normative structure by expressly introducing climate change, biodiversity protection, and socio-environmental risks and vulnerabilities into the National Environmental Education Policy (Brazil, 2024). Lopes *et al.* (2025, p. 852) identify the amendments to Article 5, items VIII and IX, of Law No. 9,795/1999 as a significant expansion of the objectives of the PNEA, particularly because climate change and biodiversity protection become explicit components of Brazilian environmental education policy.

This legislative change is important because it transforms climate-related education from a matter that could previously be addressed within the general framework of environmental education into an expressly recognized dimension of national environmental education policy. The reform should therefore be interpreted as an updating and specification of the legal framework established by Law No. 9,795/1999 rather than as the creation of an entirely separate educational model (Brazil, 1999). Manzato *et al.* (2025, p. 8) understand Law No. 14,926/2024 as an instrument for strengthening socio-environmental protection in the context of the climate crisis, emphasizing its role in integrating awareness of climate change, biodiversity loss, and socio-environmental disasters into educational processes.

One of the most relevant aspects of the new framework is the preventive orientation introduced into environmental education. Article 5, item VIII, of Law No. 9,795/1999 as amended, encourages individual and collective participation in actions related to the prevention, mitigation, and adaptation to climate change, while also connecting environmental education with biodiversity protection and socio-environmental risks. Manzato *et al.* (2025, p. 9) emphasize that this provision strengthens the role of schools and society in constructing a culture of prevention and in preparing populations exposed to environmental risks. In this

perspective, climate education should not be restricted to providing information concerning climatic phenomena; it should also develop capacities for recognizing risks, participating in preventive measures, understanding adaptation strategies, and acting collectively before environmental damage occurs.

The preventive dimension introduced by the law acquires greater significance when considered taking into account the disaster-risk management. Vasconcelos and Brasil (2023, p. 246) explain that meteorological, hydrological, geological, biological, anthropogenic, and climate-related risks must be monitored according to their potential consequences and emphasize that planning and risk management are important for avoiding disasters of greater magnitude. They also identify prevention as the first stage of the disaster cycle, preceding mitigation, emergency response, compensation, and reconstruction. Mitigation, in turn, seeks to reduce the magnitude of risks and damage once an adverse event has begun, while reconstruction should itself incorporate preventive measures capable of increasing the resilience of risk-prone areas (Vasconcelos & Brasil, 2023, p. 247).

This approach helps to clarify the relevance of climate education within the preventive logic established by Law No. 14,926/2024. Knowledge concerning climate risks can influence individual and collective behavior before disasters occur, particularly when educational practices are connected to the concrete environmental conditions of communities and territories. Education oriented toward risk perception can therefore contribute to transforming a predominantly reactive model of disaster management into one that gives greater importance to prevention, preparedness, mitigation, and adaptation (Vasconcelos & Brasil, 2023, pp. 246-248). In this regard, the educational dimension of climate governance acquires practical relevance by enabling individuals to understand environmental threats and participate in preventive and adaptive responses before their effects require predominantly emergency-based measures (Manzato *et al.*, 2025, pp. 9-10).

The need for such strategy becomes even more apparent when socio-environmental vulnerabilities are considered. Climate impacts are not distributed equally among populations and territories. Vasconcelos and Brasil (2023, p. 248) observe that, although climate change has global causes and dimensions, its losses are frequently regionalized, with certain communities being more severely affected because of socioeconomic, political, cultural, and geological vulnerabilities. The authors also highlight the importance of prioritizing preventive measures rather than concentrating public action predominantly on response, compensation, and reconstruction after disasters have already occurred. Climate education should

consequently be sensitive to the different conditions under which individuals and communities experience environmental risk.

This differentiated exposure to environmental harm also reveals a close connection between climate education, equality, and environmental justice. Brasil and Bortoncello (2020, p. 256) emphasize that risk management occupies a central position in Disaster Law and that Environmental Law itself performs an important preventive function. Rather than concentrating exclusively on the consequences of a disaster after it occurs, effective legal responses should identify the sources of risk, anticipate potentially harmful situations, and strengthen mitigation strategies. This preventive perspective must also take social inequalities into account. On the following page, the authors demonstrate that disasters may affect social groups in markedly different ways and argue that social injustice can intensify the incidence and severity of catastrophic impacts. Conversely, the pursuit of greater equality can strengthen preparedness, response, mitigation, compensation, and reconstruction measures (Brasil & Bortoncello, 2020, p. 257).

On this basis, the explicit reference in Law No. 14,926/2024 to socio-environmental risks and vulnerabilities acquires particular significance for the implementation of climate education. Educational policies cannot be based solely on uniform or abstract approaches when environmental risks are experienced differently across territories and social groups. This concern is reinforced by Vasconcelos and Brasil (2023, p. 248), who observe that although climate change is a global phenomenon, its adverse consequences are unevenly distributed, with some communities and regions being more severely affected because of socioeconomic, political, cultural, and geological vulnerabilities. Climate education should therefore enable students and communities to identify the specific risks affecting their territories, understand how pre-existing inequalities may intensify climate impacts, and recognize appropriate measures of prevention, mitigation, and adaptation. Thus, climate education becomes not only a mechanism for disseminating environmental knowledge, but also an instrument for strengthening environmental justice, social resilience, equality, and the protection of populations disproportionately exposed to climate-related harm.

The amendments concerning educational methodologies reinforce this practical orientation. Article 8, paragraph 3, item II-A, introduced into the PNEA framework, addresses the development of instruments and methodologies intended to ensure the effectiveness of educational actions related to climate prevention and adaptation and socio-environmental disasters. Manzato *et al.* (2025, pp. 9-10) associate this provision with the need for pedagogical

practices that move beyond superficial treatment of environmental issues and adopt interdisciplinary methodologies capable of connecting different areas of knowledge with students' everyday experiences. Lopes *et al.* (2025, p. 853) similarly stress that the new legal provisions concerning pedagogical instruments require teacher training, adequate educational materials, and curricular planning consistent with the objectives of the legislation.

Participation is also essential to ensure that adaptation responds to the concrete vulnerabilities of affected communities. Brasil and Bortoncello (2020, p. 269) argue that substantive adaptation measures should take into consideration the vulnerability of communities and affected environments and emphasize participatory processes, the reduction of socio-environmental pressures, effective public intervention, and the management of risks, including socioeconomic risks. Although their analysis concerns environmental and disaster law more broadly, this reasoning provides an important basis for understanding the participatory dimension of climate education: individuals and communities should not only receive information about climate risks but should be enabled to participate in identifying vulnerabilities and developing preventive and adaptive responses.

Law No. 14,926/2024 should consequently be understood as an important stage in the normative development of Brazilian environmental education. Its contribution lies not only in expressly incorporating climate change into the National Environmental Education Policy, but also in connecting education with prevention, mitigation, adaptation, biodiversity protection, risk perception, socio-environmental vulnerability, institutional planning, and social participation. At the same time, the effectiveness of this framework cannot be presumed solely from its normative existence. Lopes *et al.* (2025, p. 854) conclude that adequate financing, continuing professional training, pedagogical materials, intersectoral coordination, and cooperation among educational institutions, Public Authorities, civil society, and local communities are necessary for the legislation to achieve its transformative potential and contribute to a more sustainable and resilient society.

From the foregoing analysis, the principal contribution of Law No. 14,926/2024 is to give greater normative specificity to the relationship between environmental education and the contemporary climate crisis by expressly incorporating climate change, biodiversity protection, and socio-environmental risks into the objectives and instruments of the National Environmental Education Policy (Lopes *et al.*, 2025, p. 852). By strengthening educational responsibilities related to prevention, mitigation, adaptation, risk awareness, and social participation, the statute also reinforces the potential of climate education as an instrument for

socio-environmental protection and the safeguarding of fundamental rights (Manzato *et al.*, 2025, pp. 9-10). Its effectiveness, however, depends on converting legal provisions into continuous, interdisciplinary, context-sensitive, and participatory educational practices supported by teacher training, adequate pedagogical resources, institutional coordination, and attention to regional and socioeconomic inequalities (Lopes *et al.*, 2025, pp. 853-854; Vasconcelos & Brasil, 2023, p. 248). From this perspective, climate education may contribute not only to environmental awareness, but also to preventive capacity, social engagement, and greater resilience in communities exposed to climate-related risks.

4. IN LIEU OF A CONCLUSION

This study examined the normative strengthening of climate education in Brazil following the enactment of Law No. 14,926/2024, considering its relationship with environmental education, the protection of fundamental rights, climate prevention and adaptation, and the reduction of socio-environmental vulnerabilities. The analysis was developed from the constitutional articulation between the fundamental right to education and the right to an ecologically balanced environment, subsequently considering the National Environmental Education Policy established by Law No. 9,795/1999 and the changes introduced by the new legislation. The research demonstrated that Law No. 14,926/2024 does not create climate education in isolation, but rather gives greater normative specificity to an already existing constitutional and legislative framework by expressly incorporating climate change, biodiversity protection, prevention, mitigation, adaptation, and the perception of socio-environmental risks and vulnerabilities into environmental education.

Regarding the general objective, which consisted of examining whether Law No. 14,926/2024 strengthens climate education as an instrument for protecting fundamental rights and promoting socio-environmental resilience, the results allow this objective to be considered achieved. The statutory changes expand the preventive and formative functions of environmental education by connecting educational policies more directly with climate-risk awareness, adaptation, mitigation, biodiversity protection, and the preparation of individuals and communities to respond to socio-environmental risks. Consequently, the law strengthens the potential of climate education to contribute to the protection of fundamental rights, particularly when environmental education is understood not only as the transmission of information, but as a continuous process capable of promoting critical awareness, participation, preventive conduct, and adaptive capacity.

The specific objective, aimed at assessing how the statutory incorporation of climate-related themes into educational actions, methodologies, and institutional and pedagogical projects may contribute to risk awareness, preventive behavior, adaptive capacity, biodiversity protection, and the reduction of socio-environmental vulnerabilities, was likewise fulfilled. The research identified different mechanisms through which the new legal framework can produce these effects. Among them are the express encouragement of individual and collective participation in prevention, mitigation, and adaptation; the development of specific educational instruments and methodologies; the inclusion of climate-related themes in institutional and pedagogical projects; attention to socio-environmental risks and vulnerabilities; and the strengthening of the social and participatory dimensions of environmental education. These mechanisms indicate that climate education can acquire a more practical and preventive orientation when educational processes are connected to the environmental and social realities of the territories in which they are implemented.

The research problem questioned the extent to which Law No. 14,926/2024 provides an adequate legal framework for transforming environmental education into an effective mechanism for climate prevention and adaptation, particularly in contexts characterized by unequal exposure to socio-environmental risks and vulnerabilities. The findings indicate that the legislation provides a relevant and substantially strengthened normative framework for this purpose, although its adequacy cannot be assessed exclusively through the formal existence of legal provisions. The effectiveness of climate education depends on the capacity to translate statutory commands into educational practices capable of addressing the differentiated conditions under which climate risks are experienced by populations and territories. Therefore, the answer to the research problem is conditional: the law establishes important legal foundations for preventive and adaptive climate education, but its practical effectiveness requires institutional, pedagogical, methodological, financial, and participatory conditions that go beyond normative recognition itself.

On this background, the research hypothesis was confirmed, although in the conditional terms in which it was originally formulated. The investigation confirmed that Law No. 14,926/2024 provides relevant normative foundations for integrating climate education, risk perception, biodiversity protection, mitigation, and adaptation into Brazilian educational policies and thereby strengthens the preventive and formative dimensions of environmental education. At the same time, the analysis also confirmed the second component of the hypothesis: legal innovation alone does not ensure effective climate education. Its implementation depends

particularly on teacher training, adequate pedagogical methodologies, institutional capacity, curricular and pedagogical integration, continuity of educational initiatives, appropriate resources, intersectoral coordination, and sensitivity to regional and socioeconomic inequalities. The hypothesis was therefore not confirmed in the sense of an automatic causal relationship between the enactment of the law and the effective reduction of vulnerabilities; rather, it was confirmed as a proposition according to which the law creates necessary normative conditions whose concrete results depend on effective implementation.

The adoption of the hypothetical-deductive method proved particularly important for the development of the research because it enabled the initial hypothesis to be systematically confronted with the constitutional, legislative, and theoretical elements examined throughout the study. Starting from the proposition that the changes introduced by Law No. 14,926/2024 could strengthen environmental education as an instrument of climate prevention, adaptation, and protection of fundamental rights, the research examined the legal content of the statute and its articulation with the broader framework of environmental education, disaster-risk prevention, socio-environmental vulnerability, and resilience. This methodological approach made it possible not merely to describe the new legislation, but to test the extent to which its normative mechanisms support the proposed relationship between education and climate protection. The method was also essential for identifying the limits of the hypothesis, since the analysis demonstrated that normative strengthening does not necessarily produce equivalent practical effectiveness without the institutional conditions required for implementation.

The research nevertheless presents limitations that must be acknowledged. Because it is based on bibliographical and documentary research with a qualitative approach, the study does not provide empirical measurement of the implementation of Law No. 14,926/2024 in schools, universities, or non-formal educational environments. The recent enactment of the legislation also limits the availability of consolidated data concerning its practical effects, regional implementation, teacher-training initiatives, curricular changes, institutional monitoring, and measurable impacts on risk perception or adaptive behavior. The research therefore does not establish a direct causal relationship between climate education and the effective reduction of socio-environmental damage. Nor does it compare implementation across different Brazilian regions or educational systems. These limitations do not undermine the normative conclusions reached, but indicate that the practical effectiveness of the legal framework should be examined by subsequent empirical and comparative research.

Despite these limitations, the study produced several propositional results. First, the effectiveness of Law No. 14,926/2024 requires the development of continuous teacher-training programs capable of integrating scientific climate knowledge with pedagogical, social, political, and territorial dimensions. Second, climate education should be implemented through interdisciplinary and context-sensitive methodologies rather than through isolated or exclusively informational activities. Third, institutional and pedagogical projects should incorporate the identification of local risks and vulnerabilities, allowing educational strategies to respond to the differentiated realities of communities and territories. Fourth, implementation should be accompanied by adequate educational materials, institutional support, financial and human resources, monitoring, and periodic evaluation. Fifth, stronger coordination among educational institutions, Public Authorities, civil society, universities, families, and local communities should be encouraged so that climate education develops not only knowledge but also participation and preventive capacity. Finally, priority attention should be given to educational institutions and populations located in territories marked by greater socioeconomic and environmental vulnerability, since unequal exposure to climate impacts requires differentiated and materially equitable educational responses. These propositions derive from the implementation challenges and normative possibilities identified throughout the research.

The results ultimately demonstrate that the principal significance of Law No. 14,926/2024 lies in consolidating a closer connection between environmental education and contemporary climate governance. By expressly incorporating prevention, mitigation, adaptation, biodiversity protection, risk perception, socio-environmental vulnerabilities, educational methodologies, and social participation into the National Environmental Education Policy, the statute broadens the capacity of environmental education to operate as a preventive instrument for the protection of fundamental rights. Its transformative potential, however, will depend on whether these normative advances are converted into continuous, interdisciplinary, participatory, territorially sensitive, and institutionally supported educational practices. Under these conditions, climate education can contribute to strengthening environmental citizenship, preventive capacity, adaptation, socio-environmental resilience, and the protection of present and future generations in the face of increasingly complex climate risks.

5. BIBLIOGRAPHY

Brasil, D. R., & Bortoncello, L. G. P. (2020). The planned environmental obsolescence: The appropriate discussion of environmental law with disaster law. *Revista Jurídica*, 3(60), 250-271. https://revista.unicuritiba.edu.br/index.php/RevJur/article/view/4181

Brazil. (2024). Law No. 14,926, of July 17, 2024: Amends Law No. 9,795, of April 27, 1999, to ensure attention to climate change, biodiversity protection, and risks and vulnerabilities associated

with socio-environmental disasters within the scope of the National Environmental Education Policy. *Official Gazette of the Union*, Section 1, July 18, 2024, p. 1. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2024/lei/l14926.htm

Brazil. (1999). Law No. 9,795, of April 27, 1999: Provides for environmental education, establishes the National Environmental Education Policy, and provides other measures. *Official Gazette of the Union*, Section 1, April 28, 1999, p. 1. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9795.htm

Fusinato, B. G., & Obara, A. T. (2024). Environmental education and climate change: Conceptions and practices of basic education teachers. *Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)*, 19(7), 208–221. https://doi.org/10.34024/revbea.2024.v19.19053

Jesus, A. L. F. de, & Brasil, D. R. (2023). The environmental crisis and the importance of education in the construction of a new rationality: In pursuit of a sustainable society that ensures an ecologically balanced environment. *Revista Jurídica da FA7*, 20(2), 95-111. https://doi.org/10.24067/rjfa7;20.2:1703

Lopes, M. M., Ferreira, A. C. S., Fonseca, I. dos S., Borges, D. S., & Netto, S. (2025). Environmental education, climate change, and the legal framework of Law No. 14,926/2024: Reflections on advances and challenges in Brazilian educational policy. *Revista Ensino, Educação & Ciências Exatas*, 7(Special Issue). https://revista.grupofaveni.com.br/index.php/ensinoeducacaoeciencias/article/view/2682

Manzato, W. J. J., Soares, M. N., & Vidoto, L. F. de A. (2026). Climate crisis and environmental education: The protection of personality rights under Law No. 14,926/2024. *Ambiente & Educação: Revista de Educação Ambiental*, 30(4), 1–23. https://doi.org/10.63595/ambeduc.v30i4.18473

Vasconcelos, G. O. S., & Brasil, D. R. (2023). Monitoring landslides in the digital age: The role of new technologies in preventing environmental disasters. *Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas*, (15), 244-261. https://periodicos.unifap.br/planetaamazonia/article/view/172

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MODERN CRIMINALISTICS: OPPORTUNITIES, RISKS, AND LEGAL SAFEGUARDS

Omar Phartenadze
Professor, doctor of Law, Faculty of Law and Social Sciences,
Batumi Shota Rustaveli State University, Batumi, Georgia
omar.phartenadze@bsu.edu.ge
ORCID: 0000-0001-6155-0047

Abstract

Artificial intelligence (AI) is increasingly reshaping the methods used to detect, investigate, and prove criminal offences. In contemporary criminalistics, algorithmic systems can process digital traces, analyse video and audio material, compare facial and other biometric data, identify patterns across large datasets, reconstruct events, and support forensic expert judgment. These applications may accelerate analysis, reduce investigative workload, and reveal relationships that conventional methods could overlook. Yet their evidential use raises distinct legal and ethical concerns.

This paper examines the opportunities AI offers to criminalistics, identifies the risks arising from its use, and formulates safeguards grounded in human rights and fair-trial principles. It employs doctrinal, analytical, and comparative legal methods to assess the relationship between technological efficiency, evidential reliability, and procedural fairness.

The analysis highlights risks of algorithmic bias, false identification, opaque decision-making, unlawful or disproportionate processing of personal data, compromised data integrity, and excessive reliance on automated outputs. Generative AI and deepfake technologies further complicate the authentication of digital evidence and may blur the distinction between genuine and manipulated content. A particular concern arises when a defendant cannot examine the model, source data, error rates, or methodology underlying an AI-assisted conclusion, thereby weakening equality of arms and the effective right to challenge evidence.

The paper argues that AI-generated or AI-assisted results should be admissible only where legality, necessity, proportionality, scientific validity, transparency, reproducibility, and procedural contestability are established. Essential guarantees include independent validation and periodic auditing of systems; documented chain of custody and data provenance; disclosure sufficient for adversarial examination; protection of personal data; meaningful human oversight; reasoned judicial assessment; and an effective opportunity to challenge both the result and the method. AI should therefore operate not as an autonomous substitute for investigators, experts, or judges, but as a controlled decision-support tool that preserves human responsibility and balances investigative effectiveness with fundamental rights.

Keywords: artificial intelligence; criminalistics; digital evidence; algorithmic bias; human rights; fair trial

MODERN FORENSIC TECHNOLOGIES USED IN THE INVESTIGATION OF OFFENCES IN THE CONSTRUCTION SECTOR

Vatamanita MARIANA
Drd. in law, "Constantin Stere"University of European Political and Economic Science, Faculty of Law, Department of Law, Republic of Moldova
marina.mihai.90@mail.ru, ORCID: 0009-0004-2949-4750

Abstract

The investigation of offenses in the construction sector presents significant challenges for law enforcement authorities due to the technical complexity of construction activities, the diversity of documentation involved, and the increasingly sophisticated methods used to conceal unlawful conduct. Modern forensic technologies provide important opportunities to improve the detection, documentation, and investigation of such offenses. This study examines the application of contemporary forensic technologies in investigating criminal acts committed in the construction sector, with particular reference to the legal and institutional context of the Republic of Moldova. The research analyzes the role of digital evidence, geographic information systems, three-dimensional scanning, unmanned aerial vehicles (drones), digital photography and videography, electronic document analysis, geospatial data, and specialized forensic software in establishing the circumstances of construction-related offenses. Particular attention is given to technologies capable of identifying unauthorized construction, deviations from approved technical projects, falsification of construction documentation, irregularities in procurement and contracting procedures, and violations of building safety requirements. The study also examines the evidentiary value of digitally generated and electronically stored information, as well as the challenges associated with its collection, preservation, authentication, and presentation before judicial authorities. The research demonstrates that the integration of modern forensic technologies with traditional investigative methods can substantially increase the efficiency, accuracy, and objectivity of criminal investigations in the construction sector. At the same time, effective implementation requires appropriate procedural safeguards, specialized expertise, interinstitutional cooperation, and continuous professional training of investigators and forensic specialists. The study proposes several measures aimed at strengthening the technological capacity of law enforcement institutions and improving the evidentiary framework applicable to construction-related offenses.

Keywords: forensic technologies; construction offenses; digital evidence; criminal investigation; drones; 3D scanning.

INTRODUCTION

The construction sector occupies a strategically important position in the economic and social development of states. Buildings, transport infrastructure, industrial facilities, public

institutions and residential developments represent significant investments and directly affect public safety, property rights, environmental protection and the quality of urban development. At the same time, the complexity of construction processes creates conditions in which unlawful conduct may be difficult to detect and even more difficult to prove.

Construction-related criminality may take various forms. Depending on the circumstances of the case, criminal conduct may involve unauthorized construction, substantial violations of construction regulations, fraudulent documentation, corruption, procurement fraud, intentional or negligent violations of safety requirements, destruction or concealment of evidence, and the use of construction materials that do not meet established technical requirements.

The investigation of such offenses is particularly difficult because the relevant evidence is dispersed among several sources. A criminal case may involve the physical construction site, architectural and engineering documentation, cadastral information, electronic correspondence, contracts, invoices, procurement data, photographs, videos, project-management systems, Building Information Modeling (BIM) files and expert reports.

Consequently, the modern investigation of construction offenses cannot be limited to traditional crime-scene photography, written descriptions and manual measurements. It increasingly requires technologies capable of capturing and reconstructing complex spatial and digital information.

Recent forensic literature confirms this transformation. A 2025 scoping review of 34 studies from 17 countries concluded that laser scanning, photogrammetry and virtual-reality technologies have become increasingly important for accurate and non-invasive crime-scene documentation, spatial analysis, evidence preservation and courtroom visualization. The same review, however, identified costs, environmental limitations, data-processing complexity and the lack of uniform protocols as important obstacles to broader implementation. (Balbudhe et al., 2025).

The development of three-dimensional forensic science is particularly relevant to construction investigations. 3D forensic science has been described as an interdisciplinary field integrating 3D imaging, scanning, modeling, printing and human decision-making for crime reconstruction and evidence interpretation. Its development requires not only technological capabilities but also specialized expertise, standard For the Republic of Moldova, this issue has acquired additional importance because the national construction framework has recently undergone substantial modernization. The Code of Urban Planning and Construction No. 434/2023 (Parliament of Republic of Moldova, 2023) establishes a unified framework

concerning spatial planning, urbanism, authorization and execution of construction works, construction quality, construction materials and state control over compliance with construction and urban-planning disciplines and methodological consistency. (Carew et al., 2021).

The purpose of this study is therefore to examine how modern forensic technologies can improve the investigation of construction-sector offenses in the Republic of Moldova and to identify relevant European practices that could support the modernization of Moldovan criminalistic and judicial-expertise mechanisms.

1.1. CONSTRUCTION OFFENSES AS A SPECIFIC OBJECT OF FORENSIC INVESTIGATION

Construction-related offenses differ substantially from many conventional forms of criminality because their investigation often requires the reconstruction and forensic examination of a complex technical process rather than merely the identification of an isolated criminal act. In such cases, determining whether an offense has been committed may depend on establishing how a construction project was conceived, designed, authorized, executed, supervised, modified, inspected, and ultimately accepted or commissioned. The investigative process must therefore go beyond the traditional examination of the conduct of the alleged offender and establish whether specific actions or omissions were inconsistent with applicable legislation, approved technical documentation, construction standards, contractual requirements, or established professional practices.

The reconstruction of the technical process is particularly important because the circumstances relevant to a construction offense may develop gradually over an extended period of time. Defects or irregularities identified after the completion of a building may originate from decisions taken during the design phase, the selection or procurement of construction materials, the execution of structural works, the failure to perform appropriate technical supervision, or deficiencies in the acceptance and commissioning procedures. Consequently, the final harmful result may represent the cumulative effect of several interconnected actions or omissions performed by different participants at different stages of the construction process.

An effective investigation must therefore establish the chronological sequence of events and determine the relationship between the technical decisions taken at each stage and the consequences that subsequently occurred. This may require the examination of architectural and engineering plans, construction permits, technical specifications, contracts, site journals, inspection reports, material certificates, laboratory analyses, acceptance documentation,

financial records, photographs, electronic correspondence, and other documentary or digital evidence. Physical examination of the construction site and structural elements may also be necessary in order to determine the actual condition of the building and to compare it with the condition prescribed by the approved project documentation.

A further difficulty arises from the fact that responsibility for a construction-related offense may be distributed among several participants. Investors, developers, designers, contractors, subcontractors, technical supervisors, site managers, suppliers, and public officials may each have different obligations and degrees of involvement in the construction process. The investigation must consequently determine not only what occurred, but also which person was responsible for a particular decision, whether that person possessed the necessary professional competence and authority, whether the relevant legal and technical requirements were known or should have been known, and whether the person's conduct contributed causally to the resulting harm.

For this reason, the investigation of construction offenses frequently requires specialized technical and forensic expertise. Construction engineering expertise, structural analysis, material testing, accident reconstruction, digital evidence examination, and documentary analysis may need to be combined in order to reconstruct the circumstances of the alleged offense. Modern forensic technologies can substantially facilitate this process by enabling investigators to document construction sites with a high degree of precision, reconstruct damaged or modified structures, compare the actual state of a building with its approved design, identify alterations or inconsistencies in technical documentation, and analyse large volumes of digital information.

Thus, the investigation of construction offenses should be regarded as a multidisciplinary process in which criminal-law analysis, construction engineering, forensic science, digital technologies, and documentary examination interact. The ultimate objective is not simply to identify an irregularity, but to reconstruct the entire technical and factual sequence of events, establish the relevant legal and professional duties, determine the conduct or omissions of the persons involved, and demonstrate, on the basis of reliable evidence, the causal connection between the identified violations and the harmful consequences.

For example, in a suspected case of unauthorized or technically non-compliant construction, the analysis should establish the scope of the works legally authorized and compare it with the structure actually built. This involves examining construction permits, urban planning documents, approved architectural and engineering plans, technical specifications, site records,

and other relevant documentation. Particular attention should be given to differences concerning the location, dimensions, structural configuration, materials, intended use, or other technical characteristics of the building, as well as to the chronology of the works and any modifications introduced during execution. The respective roles of investors, developers, designers, contractors, subcontractors, technical supervisors, and public authorities should also be clarified, especially where changes were introduced without appropriate authorization or documentation. Technical expertise may be necessary to determine whether such deviations breached construction standards, safety requirements, or other mandatory rules and whether they affected the stability, functionality, or lawful use of the structure.

The analysis must ultimately connect the identified deviations with their legal and factual consequences. This includes assessing whether they resulted in material damage, financial loss, physical harm, environmental impact, or a concrete danger to persons or property, and determining the causal relationship between the deviation and the resulting consequences. Accordingly, cases involving unauthorized or non-compliant construction require the integration of legal qualification and technical reconstruction: the former determines whether the relevant facts satisfy the elements of a criminal offense, while the latter reconstructs how the construction process developed, what deviations occurred, who was responsible, and what consequences followed. This integrated approach may rely on documentary evidence, technical expertise, digital records, and modern forensic technologies.

The Moldovan Code of Urban Planning and Construction (Parliament of Republic of Moldova, 2023) is of particular relevance in this context, as it establishes a comprehensive regulatory framework governing the entire life cycle of construction activities. Its provisions extend beyond the authorization of construction works and encompass essential aspects relating to urban planning, design, technical documentation, execution, supervision, exploitation, maintenance, and the quality and safety requirements applicable to buildings and other construction works. Consequently, compliance with construction legislation may involve a wide range of technical and procedural requirements, the observance of which can become relevant when assessing the legality of conduct that may also have criminal-law implications.

This regulatory framework creates a direct connection between criminal-law provisions and specialized technical norms. In cases involving alleged construction offenses, the assessment of criminal liability may therefore depend on establishing whether a particular action or omission breached a mandatory requirement contained in construction legislation, an approved technical project, a building permit, a technical regulation, or another applicable technical

document. The legal qualification of the conduct consequently requires not only an interpretation of the relevant criminal-law provision but also an understanding of the technical rule to which that provision refers or with which it interacts. In this respect, technical construction requirements may provide the factual and normative basis for determining the unlawfulness of the conduct, the existence of a violation, and, where applicable, the causal relationship between the breach and the resulting harm or danger.

Accordingly, the investigation and legal assessment of construction-related offenses require an interdisciplinary approach in which criminal law is considered together with urban planning and construction regulations. The interaction between these normative levels is particularly important because the criminal-law provision may establish the general prohibition or liability framework, whereas the specialized construction legislation and technical documentation define the concrete standards of conduct applicable to the particular construction activity. Establishing this relationship is essential for distinguishing a mere administrative or technical irregularity from conduct that meets the legal requirements of a criminal offense.

Traditionally, the documentation of a construction site relied primarily on conventional methods such as written inspection protocols, photographic records, hand-drawn sketches, technical measurements, and descriptive notes. Although these methods remain important for establishing the condition of a site, they may provide only a partial representation of a complex construction environment. Measurements and sketches can capture selected dimensions, while conventional photographs generally record individual viewpoints rather than the complete spatial configuration of the site. In cases involving technically complex structures, multiple construction phases, or extensive alterations, reconstructing the original condition of the site exclusively from traditional records may therefore be difficult.

The development of digital forensic technologies has significantly expanded these possibilities by enabling the physical construction environment to be converted into a detailed and measurable digital representation. Through technologies such as terrestrial laser scanning, photogrammetry, unmanned aerial systems, high-resolution digital imaging, and three-dimensional modelling, investigators and forensic experts can capture large quantities of spatial and visual information and subsequently process this information within a digital environment. The resulting data can preserve the geometry, dimensions, spatial relationships, structural characteristics, and visible condition of the construction site with a level of detail that is difficult to achieve through conventional documentation alone.

In practical terms, the digital documentation process may be understood as a sequence beginning with the physical construction site, followed by digital data acquisition, generation of a point cloud or photogrammetric three-dimensional model, technical comparison and analysis, expert interpretation, and, ultimately, digital reconstruction of the relevant circumstances for evidentiary purposes. This workflow allows different sources of information to be integrated and examined within the same spatial framework. For example, the digital representation of an existing structure may be compared with approved architectural or engineering plans in order to identify discrepancies in dimensions, positioning, structural elements, or other technical characteristics. It may also facilitate the visualization of modifications, damage, structural failures, or construction stages that are difficult to understand through isolated photographs or written descriptions.

The evidentiary value of such technologies becomes particularly apparent when the physical environment is subject to subsequent change. A construction site is not a static scene. A building may be completed after the alleged offense, renovated, repaired, structurally modified, partially demolished, or completely removed. Construction materials may be replaced, defective elements repaired, or unauthorized modifications concealed through subsequent works. As a result, the physical evidence available at the time of a later inspection may no longer correspond to the condition that existed when the relevant conduct occurred. Once the original physical evidence has disappeared or been substantially altered, reconstructing the circumstances of the alleged offense may become considerably more difficult.

High-resolution digital documentation can mitigate this problem by creating a persistent digital representation of the relevant environment at a particular point in time. Unlike a conventional photograph, a three-dimensional model can preserve spatial relationships and measurable geometric information that may subsequently be examined from different perspectives. Such a record may allow experts to revisit the documented environment, perform additional measurements, identify relationships between structural elements, and conduct analyses that were not initially anticipated. This is particularly valuable in complex construction cases where new technical questions may emerge at a later stage of criminal proceedings.

Contemporary forensic research increasingly recognizes three-dimensional documentation as a valuable source of measurable and reproducible digital evidence. Three-dimensional models may support forensic examination, spatial reconstruction, technical analysis, simulation, visualization, and the presentation of complex evidence before a court. Their usefulness is therefore not limited to documenting what was observed at the scene; they can also contribute

to the subsequent analytical process by allowing experts and other participants in the proceedings to examine the reconstructed environment in a structured and technically verifiable manner (Fukuda et al., 2026).

For construction-related offenses, the integration of digital site documentation with technical expertise can consequently strengthen the evidentiary process. It enables the original physical environment to be preserved in a form that can be repeatedly examined, measured, compared, and interpreted, even when the construction itself has subsequently changed. Digital preservation therefore represents an important transition from static documentation toward dynamic forensic reconstruction, in which the spatial and technical characteristics of a construction site can be preserved and analysed throughout the investigation and judicial proceedings.

1.2. THREE-DIMENSIONAL LASER SCANNING

Three-dimensional laser scanning has emerged as one of the most valuable technologies for the accurate documentation and forensic examination of construction sites. The technology enables the rapid acquisition of a large volume of spatial information by measuring the distance between the scanner and surrounding surfaces. These measurements are subsequently processed into a three-dimensional point cloud, in which individual points represent precisely determined spatial coordinates. Depending on the equipment, environmental conditions, and scanning methodology, the resulting dataset can provide a highly detailed representation of buildings, structural components, terrain, and other relevant elements of the construction environment.

The resulting point cloud can be further processed to generate three-dimensional models, cross-sections, orthographic projections, measurements, and other forms of technical visualization. This allows a construction site to be examined not merely as a collection of photographs or isolated measurements, but as an integrated spatial environment. Such an approach is particularly useful in forensic investigations because it enables specialists to return to the digitally preserved scene and perform additional measurements or comparisons without necessarily having access to the original physical environment.

In investigations concerning construction-related offenses, laser scanning can provide detailed documentation of numerous elements that may be relevant to establishing the circumstances of an alleged violation. These may include the overall dimensions and geometry of a building, the position and configuration of structural elements, distances between buildings or other constructions, floor-to-floor and ceiling heights, roof geometry, and modifications introduced

to the original structure. The technology can also assist in documenting visible cracks, deformations, displacement of structural elements, excavation dimensions, road layouts, utility infrastructure, and other physical characteristics of the site.

The capacity to capture complex spatial relationships is particularly significant in cases where the legality or technical conformity of a construction is disputed. A digitally recorded structure can, for example, be compared with approved architectural or engineering documentation in order to identify discrepancies in dimensions, location, height, configuration, or structural elements. Similarly, repeated scans performed at different stages may provide a basis for identifying alterations over time and documenting changes that might otherwise be difficult to reconstruct from conventional records.

From a forensic perspective, one of the principal advantages of three-dimensional laser scanning is its capacity to preserve the physical environment in a highly detailed and measurable digital form. Once the data have been properly acquired, processed, and securely preserved, the resulting digital representation can support subsequent technical examination even if the physical site is later modified, repaired, demolished, or otherwise altered. This temporal dimension is particularly relevant in construction cases, where the physical condition of a building or construction site may change significantly during the investigation or judicial proceedings.

Laser scanning should nevertheless be viewed as a complement to, rather than a replacement for, conventional forensic documentation. Written observations, photographs, manual measurements, technical plans, witness statements, and expert examinations continue to provide important sources of evidence. The principal value of three-dimensional scanning lies in its ability to integrate and supplement these sources with accurate spatial information and advanced visualization capabilities. In this respect, research concerning the application of geomatic technologies in forensic science identifies terrestrial laser scanners, photogrammetric methods, total stations, and structured-light scanners among the technologies capable of supporting crime-scene documentation and reconstruction. Their use can improve measurement accuracy, preserve spatial relationships, and facilitate the visualization and interpretation of complex physical evidence (Berezowski et al., 2020).

For the investigation of construction-related offenses, the integration of laser scanning with architectural documentation, engineering analysis, photogrammetry, and other forensic techniques can therefore provide a more comprehensive reconstruction of the construction environment. Rather than relying exclusively on static descriptions of what was observed at

the site, forensic specialists can work with a detailed digital representation that can be measured, compared, analysed, and presented in a reproducible manner. This makes three-dimensional laser scanning particularly relevant to investigations in which the precise physical configuration of a construction, the identification of unauthorized modifications, or the assessment of structural deviations is central to determining the facts of the case.

Traditional evidence could establish what was authorized, how the construction process was documented, and what was observed by witnesses or competent authorities. Three-dimensional laser scanning could provide an additional evidentiary dimension by creating a precise digital representation of the structure as it physically existed at the time of examination. The resulting point cloud or three-dimensional model could then be used to obtain measurements of the building and compare its actual configuration with the characteristics specified in the approved project.

This comparison could follow a structured sequence: approved project → authorized technical parameters → digitally documented structure → measured actual parameters → identified deviation. For example, if the approved documentation indicates a building with a specific number of floors, height, roof configuration, or structural arrangement, while the digital model demonstrates the presence of an additional structural level or other elements not reflected in the authorized project, the discrepancy could provide a factual basis for further technical examination. The same approach could be applied to differences in building height, floor area, structural dimensions, location, or other measurable characteristics.

The evidentiary significance of laser scanning, however, must be carefully distinguished from the determination of criminal responsibility. The digital scan documents a physical circumstance; it does not, by itself, establish that a criminal offense has been committed or identify the person legally responsible for the deviation. A discrepancy between the authorized project and the existing structure may result from various circumstances, including an unauthorized modification, a subsequently approved alteration, an error in documentation, or another legally relevant explanation. Its legal significance can therefore be assessed only after the spatial data have been correlated with the authorization documents, applicable construction and urban-planning regulations, technical documentation, expert conclusions, witness evidence, and other relevant materials.

Accordingly, laser scanning should be understood as a powerful technical and evidentiary instrument rather than an autonomous source of legal qualification. Its principal contribution lies in objectively documenting the physical state of the construction and providing measurable

data that can be independently examined and compared with the authorized project. The ultimate determination of whether the identified deviation constitutes an administrative violation, a technical irregularity, or a criminal offense remains a matter of legal assessment based on the totality of the evidence. This distinction is essential for ensuring that modern forensic technologies strengthen the reliability of criminal proceedings without replacing the evidentiary and legal analysis required for establishing criminal liability.

1.3. PHOTOGRAMMETRY

Photogrammetry is a digital measurement and reconstruction technique that enables three-dimensional information to be derived from photographs captured from multiple viewpoints. By identifying common features across a series of images and analysing their spatial relationships, photogrammetric software can reconstruct the geometry of objects, structures, and environments and generate detailed three-dimensional models. This makes the technique particularly relevant to forensic documentation, where the accurate preservation of the physical configuration of a scene may be essential for subsequent examination and reconstruction.

One of the principal advantages of photogrammetry is its relative accessibility. Unlike some specialized surveying technologies, photogrammetric documentation can often be performed using conventional digital cameras, drones, or other comparatively accessible imaging devices combined with appropriate processing software. This characteristic can be particularly significant in contexts where access to highly specialized forensic equipment is limited. The resulting images can subsequently be processed to obtain measurements, spatial models, orthographic projections, and other forms of technical information that can support forensic and engineering analysis.

Scientific research has demonstrated the usefulness of photogrammetry in forensic reconstruction, particularly when it is integrated with other geomatic technologies such as terrestrial laser scanning, total stations, and structured-light scanning. Rather than replacing conventional forensic methods, photogrammetry can complement photographs, manual measurements, technical plans, and expert

examinations by providing additional spatial information and visualization capabilities (Berezowski et al., 2020). The combination of different acquisition techniques may also improve the completeness and reliability of the reconstructed environment, particularly in technically complex cases.

In the context of construction-related offenses in the Republic of Moldova, photogrammetry could have a wide range of practical applications. It may be used to document the condition of

a construction site, record damaged or partially collapsed buildings, measure areas that are difficult or unsafe to access directly, and preserve evidence of structural defects or alterations. It may also support the reconstruction of construction-related accidents, the comparison of different stages of a project, and the documentation of unauthorized extensions, additions, or modifications. For example, a series of photographs captured before and after an alleged unauthorized intervention could be processed to generate spatial models illustrating the differences between the relevant construction stages.

An additional advantage is the possibility of extracting spatial information from historical photographic material. Where suitable photographs exist from earlier periods, photogrammetric techniques may potentially assist in reconstructing aspects of the previous configuration of a building or construction site. This can be particularly valuable when the physical structure has subsequently been renovated, modified, extended, or demolished and direct examination of its earlier condition is no longer possible. Historical images may therefore provide an additional source for reconstructing changes that occurred over time.

This temporal application is especially relevant to construction-related investigations because the legality and technical characteristics of a building may need to be assessed in relation to a particular point in time. By comparing photographic material from different periods, specialists may identify changes in building geometry, additional floors, extensions, alterations to roofs or facades, or other structural interventions. When combined with permits, approved projects, inspection records, technical documentation, and expert conclusions, such reconstructed information can contribute to establishing whether the observed changes were authorized and whether they complied with applicable construction requirements.

Consequently, photogrammetry can contribute to the preservation, measurement, and reconstruction of construction-related evidence, particularly where the physical scene is inaccessible, has changed over time, or requires detailed spatial analysis. Its greatest evidentiary value arises when the resulting models are properly documented, technically validated, and interpreted together with other sources of evidence. In this manner, photogrammetry can strengthen the transition from conventional photographic documentation toward a more comprehensive digital reconstruction of construction sites and structures relevant to criminal proceedings.

1.4.UAVS AND DRONE-BASED FORENSIC INVESTIGATION

Unmanned aerial vehicles (UAVs), commonly referred to as drones, have significantly expanded the possibilities for forensic documentation and spatial examination of complex

environments. Their ability to capture high-resolution aerial photographs and video from different altitudes and viewing angles enables investigators and forensic specialists to document areas that may be difficult, hazardous, or impossible to examine safely using conventional methods. This capability is particularly relevant to the construction sector, where the physical environment may contain elevated, unstable, inaccessible, or extensive structures requiring detailed spatial assessment.

Construction sites frequently include locations such as roofs, high-rise facades, bridges, deep excavations, industrial facilities, unstable or partially damaged buildings, and large infrastructure projects. Direct access to these areas may expose personnel to considerable physical risks or require specialized equipment. UAVs can reduce the need for direct physical access by providing aerial imagery from positions that would otherwise be difficult to reach. In addition to visual documentation, the images collected by drones can serve as the basis for photogrammetric processing, allowing the creation of three-dimensional models and other spatial representations of the investigated environment.

Recent forensic research has demonstrated the potential of UAV-based photogrammetry for the reconstruction and documentation of outdoor scenes. By acquiring overlapping images from multiple viewpoints and processing them through specialized software, it is possible to generate three-dimensional representations containing measurable spatial information. Such models can preserve the configuration of a construction site at a particular moment and can subsequently be examined from different perspectives. This can be especially valuable when the site is large, geographically dispersed, or subject to rapid physical changes.

In the investigation of construction-related offenses, UAVs can assist in identifying and documenting a variety of potentially relevant irregularities. Aerial imagery may reveal unauthorized extensions or additional structures, alterations to roof configurations, construction activities extending beyond the legally authorized parcel, changes in land use, and modifications affecting the spatial relationship between neighbouring buildings. It may also provide an overview of construction progress and reveal whether particular structural elements or extensions appeared during a specific phase of the project. When combined with cadastral information, approved construction plans, satellite imagery, and other technical documentation, aerial data can contribute to a more comprehensive assessment of the conformity of the construction with its authorized parameters.

One particularly significant application concerns the temporal reconstruction of construction activities. Where aerial photographs or UAV imagery have been collected on different dates,

these datasets can be compared to reconstruct the development of a construction project over time. Changes in the building's dimensions, height, roof configuration, surrounding land, or other structural characteristics may become identifiable through chronological comparison. Such information can be particularly important when the relevant physical condition of a construction can no longer be observed directly because subsequent works have modified or removed the original features.

Temporal UAV documentation may therefore assist in establishing whether a particular structure existed at a specified date, when an extension or modification was introduced, or whether construction activity occurred before or after an inspection by a competent authority. For example, a sequence of aerial models or images may demonstrate that an additional structural element was already present before an official inspection or, conversely, that it appeared only at a later stage. When properly authenticated and correlated with permits, inspection records, technical documentation, cadastral information, and expert conclusions, such chronological evidence may contribute significantly to reconstructing the factual circumstances of a case.

The evidentiary value of UAV-generated information nevertheless depends on appropriate acquisition, preservation, documentation, and interpretation procedures. The imagery should be associated with reliable information concerning the date and circumstances of acquisition, while the methodology used to produce three-dimensional models should be sufficiently transparent to permit technical verification. UAV data should therefore be considered as one component of a broader evidentiary framework rather than as independent proof of criminal responsibility.

Overall, the integration of UAV technology with photogrammetry, geographic information systems, cadastral data, and other forensic techniques can substantially improve the documentation and reconstruction of construction sites. By providing access to difficult locations, detailed aerial perspectives, measurable three-dimensional models, and chronological comparisons, drones can contribute to a more accurate reconstruction of construction activities and facilitate the identification of potentially unauthorized or non-compliant interventions.

1.5.GIS AND GEOSPATIAL FORENSICS

Geographic Information Systems (GIS) provide an important technological framework for integrating, analysing, and visualizing spatial information obtained from multiple sources. In the context of construction-related investigations, GIS can combine cadastral information,

land-parcel boundaries, zoning classifications, urban-planning restrictions, satellite imagery, aerial photographs, UAV-generated data, building footprints, road networks, utility infrastructure, and other geospatial datasets within a common digital environment. The integration of these layers makes it possible to examine the relationship between a construction activity and the legal, cadastral, and urban-planning characteristics of the territory on which it is located.

A GIS-based approach can be particularly useful for determining whether a construction was carried out within the boundaries and spatial parameters established by the relevant authorization and planning documentation. By overlaying the actual location and dimensions of a building with cadastral parcel boundaries, zoning information, planning restrictions, and approved construction documentation, specialists can identify potential spatial discrepancies. Such analysis may reveal whether a structure extends beyond the authorized parcel, occupies an area subject to specific restrictions, exceeds an established planning limit, or has been constructed in a location where the relevant type of development is prohibited or subject to additional authorization requirements.

The practical relevance of GIS becomes particularly evident in cases involving the unauthorized occupation or use of land, construction beyond cadastral boundaries, development within protected or restricted areas, violations of urban-planning requirements, and unauthorized changes in land use. For example, a spatial analysis may demonstrate that a newly constructed building or extension crosses the legally established boundary of a parcel or occupies an area designated for another purpose. Similarly, GIS may facilitate the assessment of the spatial relationship between a construction and neighbouring properties, roads, public infrastructure, protected areas, or other elements subject to regulatory restrictions.

Another important advantage is the possibility of combining information collected at different points in time. Historical satellite imagery, aerial photographs, UAV surveys, cadastral records, and successive digital models can be incorporated into a GIS environment to reconstruct changes in land use and construction development. This temporal dimension may assist in determining when a structure appeared, when an extension was introduced, whether construction activity occurred before or after an inspection, or how the use of a particular parcel changed over time. Consequently, GIS can support not only spatial analysis but also the chronological reconstruction of construction-related events.

From a forensic perspective, GIS therefore creates an important link between criminalistics, cadastral information, spatial planning, and construction regulation. Instead of analysing each

source of information independently, investigators and technical experts can examine them as interconnected spatial layers. This approach can facilitate the identification of inconsistencies between the physical situation and the legally established spatial framework and can provide a clearer basis for subsequent technical expertise and legal assessment.

The relevance of this approach is particularly significant in the Republic of Moldova. The Code of Urban Planning and Construction No. 434/2023 (Parliament of Republic of Moldova, 2023) establishes a unified normative framework covering territorial planning, urban planning, authorization and execution of design and construction works, exploitation of constructions, construction quality, and state control over compliance with territorial and urban-planning discipline. The Code also regulates specific forms of urban-planning documentation and the conditions governing the placement and execution of constructions on particular parcels. Subsequent amendments have further refined these rules, including provisions concerning detailed urban plans and the conditions for construction on specific types of land.

Accordingly, the application of GIS in investigations concerning construction-related offenses can provide a technically precise means of comparing the legally authorized spatial configuration with the physical reality on the ground. When combined with cadastral records, planning documentation, construction permits, satellite and UAV imagery, technical expertise, and other evidence, GIS can contribute to a more comprehensive reconstruction of the circumstances surrounding potentially unlawful construction activities. Its principal value lies not in replacing legal or expert assessment, but in providing an integrated spatial basis upon which those assessments can be conducted more accurately and transparently.

1.6.BIM AS A SOURCE OF FORENSIC INFORMATION

Building Information Modeling (BIM) represents a significant stage in the digital transformation of the construction sector and provides an increasingly sophisticated means of organizing, integrating, and managing information throughout the life cycle of a construction project. Unlike conventional two-dimensional technical drawings, a BIM environment can incorporate both geometric and non-geometric information concerning the building and its individual components. Depending on the scope and level of development of the model, this information may include building elements, construction materials, dimensions, structural systems, technical characteristics, engineering specifications, project versions, construction sequences, maintenance information, and modifications introduced during the development of the project.

From a forensic perspective, BIM may be regarded as a digital representation of the intended or documented configuration of a building. This characteristic makes BIM potentially valuable when the actual physical structure must be assessed against the design and technical requirements established before or during construction. The model can provide a structured reference against which subsequently acquired evidence can be compared. Rather than examining an alleged deviation only through isolated documents or photographs, forensic specialists may use the BIM environment to identify the precise location, dimensions, configuration, and technical characteristics of the relevant building element.

One of the most significant potential applications of BIM in forensic construction analysis is therefore the comparison between the digital project and the physical structure. Such an examination can integrate information originating from the BIM model, approved architectural and engineering documentation, three-dimensional laser scanning, photogrammetry, UAV imagery, physical inspection, and specialized technical expertise. A possible analytical sequence may be represented as follows: BIM model → approved documentation → laser scanning → photogrammetric reconstruction → physical inspection → expert comparison. Each stage contributes a different type of information, allowing the intended configuration of the construction to be compared systematically with the structure that was actually built.

Such a comparison can reveal discrepancies concerning dimensions, structural elements, building geometry, materials, spatial configuration, or other technical characteristics. For example, an element identified through laser scanning or photogrammetry may be absent from the original BIM model, or a structural component represented in the model may differ substantially from the corresponding element observed on site. These differences do not automatically establish unlawful conduct. Their significance must be assessed in light of the project's subsequent versions, supplementary documentation, amendments to the design, construction records, and relevant authorizations.

The identification of a discrepancy may therefore serve as the starting point for determining its origin. Depending on the circumstances, the difference between the digital model and the physical construction could result from an officially approved modification, an updated project version, a technical or measurement error, inadequate execution, professional negligence, or an intentional deviation from the approved design. Establishing which explanation applies requires correlation with the chronological development of the project and with the respective responsibilities of the persons involved in its design, execution, supervision, and approval.

BIM can also contribute to the reconstruction of the construction process over time. Where different versions of a model have been preserved, specialists may be able to identify when particular design changes were introduced and distinguish between the originally planned configuration and later modifications. This temporal dimension can be important in criminal proceedings because the legal relevance of a particular construction activity may depend on whether a modification had been authorized at the time it was implemented, whether it was introduced before or after an inspection, or whether the corresponding technical documentation existed when the work was carried out.

Recent research published in Automation in Construction illustrates the broader potential of integrating BIM with computer vision and augmented reality for the detection and management of building defects. Tan et al. (2024) examined methods for mapping defects identified in two-dimensional imagery into three-dimensional BIM coordinates, thereby facilitating the localization, visualization, and management of defects within the digital building environment. The study reported improvements in inspection efficiency compared with conventional manual inspection approaches. Although the research was primarily developed for construction management and building inspection rather than criminal investigation, the underlying methodology has considerable potential for forensic construction analysis.

Applied in a forensic context, such an approach could facilitate the precise localization of suspected construction defects or deviations within a three-dimensional model and allow them to be correlated with the relevant architectural or structural components. For example, a defect identified through photographic or computer-vision analysis could be associated with a specific structural element in the BIM environment and subsequently compared with the approved design and the physically documented condition of the building. This could provide experts with a more structured basis for determining whether the observed condition represents a design deficiency, execution error, unauthorized modification, inadequate supervision, or another relevant circumstance.

The integration of BIM with laser scanning, photogrammetry, computer vision, and physical inspection therefore creates the possibility of establishing a digital comparison between the intended construction and the construction that actually exists. Such an approach can strengthen the technical reconstruction of construction-related events by combining project information with independently acquired evidence of the physical environment. Nevertheless, as with other digital forensic technologies, BIM should not be treated as conclusive evidence of criminal responsibility. Its evidentiary significance depends on the reliability, provenance, integrity, and

authentication of the underlying data and on its correlation with technical expertise, documentary evidence, applicable construction regulations, and other evidence collected during the proceedings.

Consequently, BIM has the potential to become an important component of modern forensic construction analysis. Its principal contribution lies in providing a structured digital representation against which the physical condition and development of a construction can be assessed. When integrated with other forensic technologies and properly interpreted by qualified experts, BIM can facilitate the identification of deviations, reconstruction of project changes, localization of defects, and comparison between authorized designs and completed structures, thereby supporting a more precise and evidence-based assessment of construction-related offenses.

1.7.COMPUTER VISION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Artificial intelligence (AI) introduces an additional dimension to the forensic investigation of construction-related offenses. Computer-vision and machine-learning algorithms can process large volumes of photographs and videos and identify potential anomalies, including cracks, concrete defects, exposed reinforcement, structural deterioration, water infiltration, and other surface irregularities. AI can also facilitate the comparison of visual evidence from different construction phases, helping to identify changes or modifications over time.

The integration of computer vision with BIM and augmented reality further enhances the identification and spatial localization of construction defects (Tan et al., 2024). In criminal investigations, AI can assist in organizing large datasets by classifying images according to location, date, construction element, defect type, or construction stage. This can significantly reduce the time required for preliminary evidence screening and direct expert attention toward potentially relevant material.

However, AI should remain an assistive forensic technology rather than an autonomous decision-making mechanism. AI-generated findings may include false positives or false negatives and therefore require verification through technical documentation, physical inspection, expert examination, and other evidence. The forensic process should also ensure transparency regarding the data source, analytical methodology, confidence level, and verification procedure. The final assessment of technical circumstances and any resulting legal conclusions must remain subject to qualified human expertise.

1.8. ELECTRONIC EVIDENCE: REPUBLIC OF MOLDOVA AND THE EUROPEAN UNION

The European Union has developed an increasingly comprehensive legal framework for obtaining and preserving electronic evidence in criminal proceedings, reflecting the growing importance of digital information in contemporary criminal investigations. A particularly significant instrument in this field is Regulation (EU) 2023/1543 of the European Parliament and of the Council of 12 July 2023 (European Union, 2023b), which establishes European Production Orders and European Preservation Orders for electronic evidence in criminal proceedings. The Regulation is designed to facilitate and accelerate access to electronic evidence in cross-border investigations, including situations in which the relevant data are stored outside the territory of the state conducting the investigation. It therefore responds to a fundamental characteristic of the digital environment: the physical location of data is increasingly disconnected from the territorial jurisdiction of the investigating authority.

The European framework is particularly relevant because electronic evidence may take different forms and may be held by service providers located in another jurisdiction. The mechanism established by Regulation (EU) 2023/1543 (European Union, 2023 b) enables competent authorities, under the conditions established by the Regulation, to request the production or preservation of electronic evidence through designated establishments or legal representatives of service providers. The framework consequently strengthens the capacity of criminal justice authorities to obtain information in circumstances where traditional mechanisms of international judicial cooperation may be less efficient or time-consuming.

Although the Republic of Moldova is not an EU Member State, these developments are of considerable importance for its criminal justice system, particularly in the context of European integration and the progressive approximation of national legislation to European standards. The European approach illustrates a broader transformation of criminal investigation: effective law enforcement increasingly depends not only on the collection of physical evidence within national territory, but also on the capacity to obtain, preserve, authenticate, and use electronically stored information maintained by foreign or transnational service providers.

This issue has direct practical relevance for investigations into construction-related offenses. Contemporary construction companies frequently operate through complex digital environments involving international cloud-storage services, foreign project-management platforms, international electronic-mail providers, digital procurement systems, online document-management environments, and engineering or architectural software hosted outside

the Republic of Moldova. Relevant evidence may therefore include electronic correspondence, project files, successive versions of technical documentation, digital contracts, procurement records, photographs, videos, BIM-related information, and other electronically stored data. When such information is maintained by a provider located abroad, its evidentiary value may depend not only on the ability of investigators to identify it, but also on the existence of effective legal mechanisms for obtaining and preserving it.

The Republic of Moldova has already begun adapting its legal framework to these technological and transnational challenges. In February 2026, the Ministry of Justice initiated the preparation of legislation concerning the obtaining and disclosure of electronic evidence in criminal matters, expressly linking the initiative to the alignment of national legislation with Regulation (EU) 2023/1543 (European Union, 2023b) and Directive (EU) 2023/1544 (European Union b), as well as to Republic of Moldova's commitments within the EU accession process. The initiative recognizes that electronic data are frequently stored or managed by service providers operating abroad and seeks to establish more efficient mechanisms for interaction between Moldovan judicial authorities and foreign service providers.

The subsequent draft amendments to the Criminal Procedure Code of Republic of Moldova (Parliament of Republic of Moldova, 2002) further envisage mechanisms for the direct cooperation of national judicial authorities with service providers located abroad and address both cooperation with EU Member States and cooperation with non-EU states that are parties to the Second Additional Protocol to the Budapest Convention on Cybercrime (European Union, 2021). The proposed framework also seeks to establish appropriate safeguards for the use of electronically obtained information as evidence while maintaining a balance between the effectiveness of criminal investigations and the protection of fundamental rights, including privacy.

For the investigation of construction-related offenses, these developments may become particularly significant as the evidentiary environment becomes increasingly digital and international. Electronic project documentation, communications between participants in a construction project, procurement records, successive versions of technical plans, digital inspection materials, and other electronically stored information may contain important evidence concerning the planning, authorization, execution, modification, supervision, or acceptance of construction works. Consequently, the Europeanization of Republic of Moldova's electronic-evidence framework represents not merely a procedural reform, but an

important step toward adapting criminal investigation mechanisms to the realities of digitally mediated construction activities and cross-border data storage.

1.9. JUDICIAL EXPERTISE IN THE REPUBLIC OF MOLDOVA

The technological modernization of investigation must be accompanied by corresponding development of judicial expertise.

Law No. 68/2016 on judicial expertise (Parliament of Republic of Moldova, 2016) and the status of the judicial expert establishes the principles governing judicial expertise, its organization and the status of judicial experts. The law defines the judicial expert as a qualified and authorized person who conducts examinations and formulates conclusions within the field for which the expert is authorized.

The Moldovan Ministry of Justice also identifies the National Center of Judicial Expertise (CNEJ) as a coordinating institution in the field of judicial expertise and forensic science. CNEJ carries out expertise in areas including engineering-technical matters, construction, real-estate valuation, criminalistics, physics and forensic chemistry.

This institutional infrastructure is highly relevant to construction-related criminal investigations.

A construction offense may require several forms of specialized knowledge: construction engineering; structural engineering; materials science; surveying; geospatial analysis; digital forensics; document examination.

Therefore, the future of construction-related forensic investigation should involve multidisciplinary expertise.

DISCUSSION AND CONCLUSION

The investigation of offenses in the construction sector is entering a new technological stage. The traditional model based primarily on physical inspection, photography, written protocols and manual measurements is increasingly complemented by three-dimensional reconstruction, digital evidence, geospatial technologies, UAVs, BIM, computer vision and artificial intelligence.

For construction-related offenses, these technologies have particular significance because the object of investigation is frequently spatial, technical and dynamic.

Three-dimensional laser scanning can preserve the physical configuration of a construction site. Photogrammetry can transform photographs into measurable spatial information. UAVs can document inaccessible areas and support temporal reconstruction. GIS can establish spatial relationships between construction activity and cadastral or urban-planning restrictions. BIM

can provide a digital representation of the intended construction. Computer vision and artificial intelligence can assist in identifying defects and deviations. Digital forensics can reveal electronic communications, documents and metadata associated with construction decisions.

The Republic of Moldova already possesses important institutional and legislative foundations for further development. The Code of Urban Planning and Construction No. 434/2023 (Parliament of Republic of Moldova, 2023) provides a modern regulatory framework for construction activities, while Law No. 68/2016 (Parliament of Republic of Moldova, 2016) establishes the legal framework for judicial expertise. The National Center of Judicial Expertise already performs construction, engineering and criminalistic expertise.

At the same time, the development of modern technologies requires corresponding procedural safeguards. The 2026 initiative to modernize Republic of Moldova's criminal-procedure framework concerning electronic evidence is particularly significant because it reflects the country's movement toward European standards and EU accession requirements.

The European experience demonstrates that technological modernization should not be understood merely as the acquisition of sophisticated equipment. It requires an integrated system combining technology, scientific methodology, qualified experts, procedural legality, data integrity, institutional cooperation and protection of fundamental rights.

For Republic of Moldova, the most appropriate strategy would therefore be the gradual creation of a digital forensic infrastructure for construction-related criminal investigations, centered on CNEJ, law-enforcement institutions, prosecutors, construction authorities and specialized technical experts.

The ultimate objective should be to ensure that technologically generated information is not merely visually impressive, but scientifically reliable, procedurally lawful, independently verifiable and capable of contributing effectively to the establishment of criminal truth.

REFERENCES

Balbudhe, M. S., Shetty, B. S. K., Kumar, N. A., Singh, D., Sherekar, A. I. (2025). Crime scene reconstruction: A scoping review. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 15(1), 1-16.

Berezowski, V., Mallett, X., Ellis, J., Moffat, I. (2020). Geomatic techniques in forensic science: A review. *Journal Science and Justice*, 60.

Carew, R., M., French, J., Morgan, M. R. (2021). 3D forensic science: A new field integrating 3D imaging and 3D printing in crime reconstruction. *Forensic Science International: Synergy*, 3, 100205.

European Union. (2021). Second Additional Protocol to the Convention on Cybercrime on enhanced cooperation and disclosure of electronic evidence [online] [Accessed on the date 13.09.2026].Available:https://rm.coe.int/2nd-additional-protocol-budapest-convention-en/1680a2219cEuropean Union (2023 a). Directive (EU) 2023/1544 of the European Parliament and of the Council of 12 July 2023 laying down harmonised rules on the designation of designated establishments and the appointment of legal representatives for the purpose of gathering electronic

evidence in criminal proceedings [online] [Accessed on the date 13.09.2026].Available: https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/1544/oj/eng
European Union. (2023b). Regulation (EU) 2023/1543 of the European Parliament and of the Council of 12 July 2023 on European Production Orders and European Preservation Orders for electronic evidence in criminal proceedings and for the execution of custodial sentences following criminal proceedings [online] [Accessed on the date 13.09.2026].Available:https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1543/oj/eng
Fukuda, H., Ebert, L., Kreitmeier, F., Eggert, S., Meixner, E., Hosoya, T., Schweitzer, W., Lux, C. (2026). From 3D Surface Documentation to Visualization in Forensic Practice: A Review of Current Methods and Emerging Technologies, Journal Ampis, 1-11.
Parliament of the Republic of Moldova. (2002). Criminal Code of the Republic of Moldova[online] [Accessed on the date 10.09.2026].Available:
https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=153355&lang=ro
Parliament of Republic of Moldova. (2016). Law No. 68/2016 on judicial expertise and the status of the judicial expert [online] [Accessed on the date 13.09.2026].Available:
https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=153917&lang=ro#
Parliament of Republic of Moldova. (2023). Code of Urban Planning and Construction No. 434/2023 [online] [Accessed on the date 13.09.2026].Available:
https://www.legis.md/cautare/getResults?doc_id=155736&lang=ro#
Tan, Y., Xu, W., Chen, P., Zhang, S. (2024). Building defect inspection and data management using computer vision, augmented reality, and BIM technology. *Journal Automation in Construction*, 160, 105318.

THE BANQUE DE L'INDOCHINE AND THE DEVELOPMENT OF COLONIAL RICE TRADE (1875-1945)

Dr. Duong To Quoc THAI
Lecturer in History, Faculty of Social Sciences Education, School of Education, Dong Thap University, Vietnam
Email: dtqthai@dthu.edu.vn
ORCID: https://orcid.org/0009-0008-1929-3751

ABSTRACT

This paper examines the pivotal role of the Banque de l'Indochine (BIC) in driving the development and transformation of the colonial rice trade in Vietnam between 1875 and 1945. Drawing upon extensive archival evidence from the National Library of France (BNF/Gallica), historical statistics, and official colonial reports, this study investigates the mechanisms of commercial credit, agrarian mortgaging, and export financing deployed by BIC, particularly in the Mekong Delta. The findings reveal that BIC did not merely provide liquidity for French trading houses and intermediary credit networks like the Chettiars; it profoundly restructured agrarian production by controlling the rice supply chain and acquiring vast landholdings. During economic crises, most notably the Great Depression of the 1930s, BIC operating through subsidiaries such as the *Crédit Hypothécaire Indochinois* systematically foreclosed on defaulted agrarian loans, leading to significant land concentration. Ultimately, this research demonstrates that the Banque de l'Indochine served as the primary financial engine integrating Vietnam into the global grain market while simultaneously reconfiguring rural agrarian relations under the imperatives of French colonial capitalism.

Keywords: *Banque de l'Indochine, Rice Trade, Colonial Credit, Mekong Delta (1875-1945), Land Concentration.*

1. INTRODUCTION

Within the architecture of the French colonial economy in Indochina between 1875 and 1945, rice served not only as the vital staple food for the indigenous population but also as the primary agricultural export, playing an essential role in maintaining the colonial trade balance and state revenues. The transformation of Cochinchina into one of the world's leading rice-exporting hubs was not a spontaneous development, but rather intrinsically linked to the systematic intervention of financial capital coordinated by the *Banque de l'Indochine* (BIC) (Brocheux & Hémery, 2009). Established in 1875 with exclusive currency emission and credit privileges, BIC rapidly emerged as the most formidable financial institution, controlling the flow of capital throughout the entire Indochina rice value chain (Gonjo, 1993).

While BIC's involvement in mining and plantation sectors has been widely examined, its intervention in the colonial rice trade operated through unique and complex financial

mechanisms. BIC established a multi-tiered credit network, ranging from advancing working capital to Cholon intermediary merchants (*the procurement financing stream*), financing milling and transportation overheads, to monopolizing documentary export credits and foreign exchange settlements for French merchant houses (Meuleau, 1990). By manipulating liquidity and the exchange rate of the Indochinese piastre, BIC not only governed domestic paddy pricing but also actively shaped the international competitiveness of Cochinchinese rice across global markets, particularly in China, Japan, and Europe (Robequain, 1944).

However, the expansion of the rice trade underwritten by BIC generated profound structural distortions within rural Vietnamese society. The concentration of financial resources toward export channels accelerated land accumulation by large landowners and corporate syndicates, while the majority of smallholders were driven into dispossession, indebtedness, and systemic impoverishment (Gunn, 2014). This article aims to analyze the financial mechanisms deployed by BIC to control the colonial rice trade, evaluate the impact of banking capital on the agrarian transformation of Cochinchina, and clarify the socio-economic consequences imposed on the indigenous peasantry from 1875 to 1945.

2. RESEARCH AND FINDINGS

2.1. Credit Mechanisms, Procurement Networks, and Exchange Rate Control of BIC in the Rice Trade

The emergence and expansion of the colonial rice trade in Cochinchina between 1875 and 1945 relied not merely on the natural endowments of the Mekong Delta, but was driven by a sophisticated financial credit system orchestrated by the *Banque de l'Indochine* (BIC). Established in 1875 as a colonial bank of issue and credit, BIC swiftly positioned rice the largest agricultural export commodity of Indochina at the center of its capital circulation strategy (Gonjo, 1993). BIC's financial apparatus was organized as a multi-tiered pyramid, directly linking metropolitan monetary capital from Paris with the rural rice procurement network of Cochinchina through three primary pillars: short-term commercial credit, intermediary procurement agency networks, and exchange rate management mechanisms.

At the direct financing tier, BIC extended revolving credit lines and seasonal crop advances (*avances sur récoltes*) to major French export houses such as Denis Frères, Ogliastro, and the *Compagnie de Commerce et de Navigation d'Extrême-Orient*. However, because French commercial firms lacked direct operational reach into rural procurement, BIC forged a tight financial alliance with ethnic Chinese merchant syndicates in Cholon (Meuleau, 1990). The bank supplied liquidity advances to Cholon mill owners and rice brokers, who then

funneled funds down to petty middlemen (*chà po*) to navigate the canals of the Western provinces, purchasing paddy directly from cultivators. Through this hierarchical credit structure, BIC effectively controlled the entire rice supply chain without incurring local operational risks, while simultaneously subordinating indigenous and Chinese merchants to its liquidity monopoly.

Beyond procurement credit, BIC held a decisive grip over export operations through its monopoly on documentary credits (*crédit documentaire*) and foreign exchange settlements (*règlements en devises*). The entirety of export settlement flows bound for key regional markets such as Singapore, Hong Kong, Guangdong, and Marseille had to pass through BIC's banking network (Lamarre, 1931). The bank exploited its exclusive privilege of issuing the Indochinese piastre to manipulate exchange rates between the piastre, the French franc, and the Mexican silver dollar (and subsequently, gold and silver standard currencies).

By pegging the piastre at artificially high levels or adjusting exchange margins to favor French capital, BIC maximized arbitrage profits on every exported ton of rice (Robequain, 1944). This exchange rate manipulation enabled BIC to suppress farmgate paddy prices, forcing Cochinchinese peasants to sell their yield at depressed prices while the bank and French trading syndicates captured the vast majority of commercial surplus value at international ports (Thoral, 2012).

2.2. Agrarian Transformation, Land Accumulation, and Peasant Impoverishment in Cochinchina

Credit flows from the *Banque de l'Indochine* into the rice export sector radically restructured the agrarian landscape of Cochinchina, converting a subsistence ecosystem into a monocultural export agriculture regime. To boost exportable surpluses, the colonial state, backed by BIC financing, undertook large-scale canal excavation programs in the Western Mekong Delta, converting hundreds of thousands of hectares of marshland into arable land (Brocheux & Hémery, 2009). Bank capital provided long-term credit for irrigation and land reclamation projects, directly accelerating the creation of vast colonial land concessions (*concessions domaniales*). Land was rapidly financialized, serving as standardized collateral pledged to BIC for capital expansion loans.

However, BIC's credit expansion did not benefit smallholders; instead, it flowed overwhelmingly to large French concessionaires and pro-colonial indigenous landowners (*grands propriétaires*). Armed with preferential low-interest credit from BIC, this landed elite systematically accumulated land by purchasing public domain lands or foreclosing on small

peasants (Robequain, 1944).). Land ownership in Cochinchina became acutely polarized: a tiny minority of large landlords controlled the vast majority of paddy fields, while the overwhelming majority of peasant producers were dispossessed of their means of production, transformed into landless tenant farmers (*tá điền*).

The shift toward a monocultural export rice economy governed by BIC capital pushed Cochinchinese peasants into a downward spiral of impoverishment and dependency. Denied access to formal bank credit from BIC, smallholders and tenant farmers were forced into the hands of usurious informal credit networks operated by landlords and Cholon moneylenders (Gunn, 2014). When hit by natural disasters or global price slumps, peasants fell into perpetual debt traps, forfeiting their remaining land titles or submitting to oppressive sharecropping terms (frequently claiming 40% to 60% of the total harvest).

This sharecropping system, combined with credit exploitation, extracted the entire peasant surplus, leaving primary producers with barely enough to maintain labor reproduction (Scott, 1976). BIC's financial capital, by driving the export rice trade, transformed Cochinchinese peasants from independent landholders into exploited links within a global commodity chain. Although Cochinchinese rice agriculture posted impressive export growth statistics on paper, it concealed a deeply fractured social structure characterized by chronic food insecurity and latent rural starvation (Duong, 2021).

2.3. Surplus Value Siphoning, International Market Volatility, and Socio-Economic Consequences

The *Banque de l'Indochine*'s capital transmission pipeline in the rice trade functioned as a mechanism for the thorough extraction of surplus value, siphoning accumulated capital from Cochinchina back to metropolitan France. By monopolizing credit, exchange settlements, and export trade channels, BIC and its allied corporate syndicates captured extraordinary profits. During peak periods of the rice trade, BIC's return on equity and banking operations routinely reached record levels (Robequain, 1944). However, rather than retaining this capital locally to modernize agricultural infrastructure, improve farming technology, or raise living standards, BIC systematically executed permanent capital repatriations to France in the form of corporate dividends and loan interest.

The tight integration of the Cochinchinese rice trade into BIC's global financial network rendered the colonial economy exceptionally vulnerable to international economic shocks. When the Great Depression (1929-1933) struck, global rice prices collapsed, prompting BIC to abruptly contract credit lines and aggressively recall outstanding loans to protect its

institutional liquidity (Murray, 1980). This credit crunch triggered a wave of chain bankruptcies among Cholon merchants, large landlords, and tens of thousands of tenant families. To recover outstanding debts, BIC and its subsidiaries foreclosed on and auctioned off hundreds of thousands of hectares of mortgaged land, driving vast numbers of rural households into homelessness and landlessness.

The collapse of the rice credit system during economic crises exposed the anti-developmental nature of Financial Imperialism. The commodification of rice for metropolitan capital accumulation dismantled traditional village food security networks (Norlund, 1991). During World War II, the disruption of maritime trade routes managed by BIC, alongside speculative rice hoarding, severed domestic distribution channels, contributing directly to severe subsistence crises across Indochina.

In summary, the role of the *Banque de l'Indochine* in the Cochinchinese rice trade from 1875 to 1945 stands as a textbook example of the synergy between banking capital and the colonial state for extractive purposes. BIC's capital flows did not foster sustainable economic development; rather, they generated a distorted, dependent economic structure marked by deep social polarization. The absolute impoverishment of the peasantry and large-scale land dispossession transformed the rice-growing plains of Cochinchina into a social powder keg (Giran, 1910). These intense class and national contradictions ultimately provided the socio-economic impetus that mobilized the Cochinchinese peasantry into the national liberation struggles of the mid-twentieth century.

3. CONCLUSION

The investigation into the role of the *Banque de l'Indochine* (BIC) in the development of the colonial rice trade in Cochinchina between 1875 and 1945 illuminates the intricate mechanisms through which financial capital governed Indochina's primary agricultural export sector. Far from functioning merely as a conventional credit institution, BIC established a multi-tiered control architecture ranging from the provision of working capital and crop advances to Cholon procurement networks, to the manipulation of the piastre exchange rate and the monopoly over international settlement streams (Gonjo, 1993). Through these financial instruments, BIC transformed the Mekong Delta into a commercial commodity production node entirely subordinated to capital circulation coordinated from Paris (Meuleau, 1990).

However, the dramatic expansion in rice export volumes underwritten by BIC was inextricably bound to profound structural dislocations within rural Cochinchinese society. Banking capital accelerated land concentration in the hands of a French-Vietnamese landed

elite, driving the majority of smallholders into landlessness, dependent tenancy, and systemic indebtedness (Brocheux & Hémery, 2009). Furthermore, the systematic siphoning of surplus value via permanent profit repatriations to France preempted the organic modernization of indigenous agriculture, leaving the colonial economic structure exceptionally fragile and vulnerable to global market shocks (Robequain, 1944).

In conclusion, the financial nexus between the *Banque de l'Indochine* and the Cochinchinese rice trade from 1875 to 1945 exemplifies the core mechanics of Financial Imperialism. BIC operated not only as a catalyst for agrarian commercialization but also as an engine of class polarization and colonial extraction. Unpacking BIC's capital transmission channels and exchange rate mechanisms provides valuable insights into Vietnam's colonial socio-economic history, offering a rigorous empirical foundation for understanding the deep-seated agrarian grievances that mobilized the Cochinchinese peasantry during the mid-twentieth-century national liberation movements.

REFERENCES

Brocheux, P., & Hémery, D. (2009). *Indochina: An ambiguous colonization, 1858–1954*. University of California Press.

Duong, T. Q. T. (2021). *The Banque de l'Indochine in the process of French colonization in Vietnam (1875-1954)*. Doctoral dissertation in Vietnamese history. Ho Chi Minh City University of Education.

Giran, P. (1910). *De l'extension de la souveraineté française en Indochine: Du rôle de la Banque de l'Indochine* [On the extension of French sovereignty in Indochina: The role of the Banque de l'Indochine]. Imprimerie Nationale.

Gonjo, Y. (1993). *Banque de l'Indochine et imperialisme francais en Extreme-Orient (1875-1939)* [Banque de l'Indochine and French imperialism in the Far East (1875-1939)]. Éditions de la Maison des sciences de l'homme.

Gunn, G. C. (2014). *Rice wars in colonial Vietnam: The Great Famine and the Viet Minh road to power*. Rowman & Littlefield.

Lamarre, M. (1931). *L'organisation monétaire et bancaire de l'Indochine* [Monetary and banking organization of Indochina]. Librairie Technique et Économique.

Meuleau, M. (1990). *Des pionniers en Extrême-Orient: La Banque de l'Indochine (1875-1975)* [Pioneers in the Far East: The Banque de l'Indochine (1875-1975)]. Éditions Fayard.

Murray, M. J. (1980). *The development of capitalism in colonial Indochina (1870–1940)*. University of California Press.

Norlund, I. (1991). The French empire in East Asia: Economic foundations of Indochina. In M. A. Prosper (Ed.), *Imperialism and colonial trade* (pp. 145–172). Routledge.

Robequain, C. (1944). *The economic development of French Indo-China*. Oxford University Press.

Scott, J. C. (1976). *The moral economy of the peasant: Rebellion and subsistence in Southeast Asia*. Yale University Press.

Thoral, M. (2012). Colonial credit and trade mechanisms in French Indochina. *Journal of Southeast Asian Economic History*, 40(2), 112–138.

PROTECTION OF PERSONALITY RIGHTS IN THE AGE OF GENERATIVE AI: LEGAL CHALLENGES FOR VIETNAMESE CIVIL LAW

Huynh Mai Yen
Thu Dau Mot University, Vietnam

Abstract: Generative artificial intelligence enables the creation of images, voices, and videos capable of causing the public to identify a particular individual even though the depicted content has never existed. This phenomenon shifts the focus of personality-rights protection from controlling truthful information to controlling the digital reconstruction of identity. Using doctrinal legal analysis, comparative legal research, and literature review, this article assesses the protection available to individuals under the 2015 Civil Code, the 2025 Law on Personal Data Protection, and the 2025 Law on Artificial Intelligence. It identifies four principal limitations: the scope of the "image of an individual" remains unclear in relation to synthetic images; voice and other identifying attributes lack a direct civil-law protection mechanism; transparency obligations for AI-generated content do not resolve the right to use a person's identity; and existing remedies are not sufficiently adapted to the speed at which deepfakes disseminate. Drawing on the GDPR, the EU AI Act, and the U.S. Copyright Office's report on digital replicas, the article proposes a technology-neutral approach, recognition of individual autonomy over digitally reconstructed identity, allocation of responsibility according to the capacity to control risk, and priority for rapid preventive remedies.

Keywords: personality rights; generative artificial intelligence; deepfake; digital replica; right to one's image; Vietnamese civil law.

1. Introduction

Generative artificial intelligence (generative AI) not only processes information but can also create new images, audio, and video with a high degree of realism. When this technology simulates a person's face, voice, or other individual-associated characteristics, the resulting content may cause viewers or listeners to identify that person even though the depicted conduct, statements, or events never occurred. The EU AI Act uses the term "deep fake" for AI-generated or manipulated image, audio, or video content that resembles existing persons, objects, places, entities, or events and would falsely appear to a person to be authentic or truthful (European Parliament & Council of the European Union, 2024, art. 3(60)). The U.S. Copyright Office (2024), by contrast, approaches the issue through the broader concept of a "digital replica," emphasizing the digital reproduction of an individual's image or voice.

This capability creates new challenges for the protection of personality rights. Traditional disputes commonly concern the unauthorized use of an existing image, disclosure of private

information, or dissemination of defamatory or insulting content. Generative AI, however, also enables the creation of entirely new expressions that are nevertheless attributed to a specific individual. Deepfakes may therefore simultaneously affect a person's image, honor, private life, and economic interests, while also increasing risks to the information environment (Chesney & Citron, 2019). The legal issue is consequently no longer limited to what information or data have been used; it also concerns the extent to which individuals can control the technological reconstruction and exploitation of their identity.

In Vietnam, this issue currently falls within several layers of legal regulation. The 2015 Civil Code establishes personality rights, including the right to one's image, honor, dignity, reputation, and private life; the 2025 Law on Personal Data Protection regulates the processing of personal data; and the 2025 Law on Artificial Intelligence adds a governance framework for the development, provision, deployment, and use of AI systems. Yet the interaction of these mechanisms raises questions about the adequacy of individual protection where AI does not reproduce existing data in its original form but instead generates new content capable of representing or identifying a person.

Against this background, the article employs doctrinal legal analysis to assess the scope of application of the 2015 Civil Code, the 2025 Law on Personal Data Protection, and the 2025 Law on Artificial Intelligence. It combines comparative legal analysis of the GDPR, the EU AI Act, and recommendations of the U.S. Copyright Office with a literature review to clarify the legal issues arising from deepfakes and digital replicas.

The article argues that Vietnamese law already provides important foundations for protecting individuals against conduct involving generative AI, particularly through Articles 32, 34, and 38 of the 2015 Civil Code. Nevertheless, the current rules do not fully cover situations in which AI reconstructs images, voices, and other identifying attributes without necessarily copying an existing object. The article therefore proposes three directions for reform: interpreting and developing personality-rights protection in a technology-neutral manner; clarifying consent and individual autonomy over the reconstruction and exploitation of digital identity; and determining civil liability on the basis of conduct, degree of contribution, and capacity to control risk.

2. Generative AI and the Shift in the Object of Personality-Rights Protection

Generative AI changes the ways in which personality rights may be infringed in the digital environment. In traditional cases, infringement usually involves the unauthorized collection, use, or disclosure of an existing object, such as an image, audio recording, private information,

or personal secret. With generative AI, however, a person may create an image, voice, video, or statement that never previously existed but still causes recipients to identify or associate that content with a particular individual. Legal risk therefore arises not only from the use of information about a person, but also from the capacity to reconstruct that person's identity through digital means.

Deepfakes are a paradigmatic manifestation of this shift. The EU AI Act defines a "deep fake" as AI-generated or manipulated image, audio, or video content that resembles existing persons, objects, places, entities, or events and would falsely appear to a person to be authentic or truthful (European Parliament & Council of the European Union, 2024, art. 3(60)). The U.S. Copyright Office (2024), meanwhile, uses the concept of a "digital replica" to address digitally created or manipulated images, videos, or audio recordings that realistically but falsely depict an individual. Although the two concepts are not identical, both demonstrate that the object of legal risk need not be a pre-existing recording; it may instead be a new technologically generated representation of a human being.

This feature means that a deepfake is not an independent form of personality-rights infringement, but rather a technological means capable of simultaneously affecting multiple legally protected rights and interests. The collection or processing of facial, voice, and biometric data for the development or operation of AI systems raises personal-data-protection issues. The creation of an appearance capable of causing the public to identify a person may implicate the right to one's image. If fabricated content attributes nonexistent conduct or statements to an individual, that person's honor, dignity, and reputation may be harmed. Non-consensual sexual deepfakes, in particular, may simultaneously violate the victim's image, private life, and dignity. A single AI-generated product may therefore give rise to multiple legal relationships rather than merely raising the question whether an original image or recording has been copied.

This change can also be explained by the synthetic character of generative AI. Floridi (2018) uses the concept of an "ectype" to describe an artificial product formed from a prototype yet capable of existing and being perceived as a version of that prototype. In a deepfake, the system need not reproduce a specific image or audio recording in its entirety; it may synthesize data from multiple sources to generate a new expression. Where that expression still contains characteristics that lead recipients to associate it with a particular person, the legal inquiry shifts from "what object was copied?" to "whose identity is being reconstructed and used?"

From a civil-law perspective, identifiability is therefore more significant than the degree of technical correspondence with an original item of data. Content that merely shares certain features with a generic character type is insufficient to raise a personality-rights claim concerning a specific individual. Conversely, identifiability does not necessarily require exact reproduction of an entire face or voice. A person may be recognized through a combination of appearance, voice, mannerisms, nickname, expressive style, or distinctive context. Zerilli (2024) approaches this phenomenon through the concept of appropriation of personality, showing that the issue lies not only in copying an existing object but also in using signs associated with a person to create a new representation capable of standing for that person.

Three related but distinct legal interests should therefore be distinguished. First is control over personal data: the individual's rights concerning the collection and processing of facial, voice, or biometric data. Second is control over the use of identifying signs to create an artificial version capable of representing that individual to society. Third is protection against consequences arising from such content, including harm to honor, dignity, private life, professional opportunities, and economic interests. This distinction is particularly important because the lawfulness of input data does not fully determine the lawfulness of output content. Data may have been lawfully collected or used for one purpose, while their use to create a fabricated advertisement, statement, or video may exceed the permitted scope. Conversely, synthetic content may harm an individual even when the person cannot identify the precise image, recording, or dataset used to create it. Personal-data-protection law is therefore necessary, but it cannot replace the role of civil law in protecting personality rights.

Harm caused by deepfakes does not necessarily depend on recipients fully believing that the content is genuine. Vaccari and Chadwick (2020) show that deepfakes may increase uncertainty and erode trust even when they do not directly deceive most recipients. For the person depicted, suspicion that the content is false does not eliminate the possibility of reputational, privacy, professional, or emotional harm, particularly where the content is widely disseminated and repeatedly reposted.

Generative AI thus shifts the focus of personality-rights protection from controlling pre-existing information about individuals to also controlling new representations capable of reconstructing and representing them. This shift raises the question whether the existing concepts and protective mechanisms of Vietnamese civil law—largely structured around image, honor, private life, and liability for harm already caused—are sufficiently capable of

addressing new forms of identity reconstruction. This provides the basis for examining the specific legal gaps and challenges in the following section.

3. Legal Gaps and Challenges in Protecting Personality Rights Against Generative AI

Although the 2015 Civil Code establishes the foundations for protecting the right to one's image, honor, dignity, reputation, and private life, generative AI creates situations that these rights do not readily encompass. The principal difficulty is not a complete absence of applicable rules, but the fact that existing concepts and protective mechanisms were developed in a context where the object of infringement was generally a pre-existing image, item of information, or act. Where AI can generate a new representation that nevertheless causes the public to identify a particular individual, at least four major legal issues arise.

3.1. The Scope of Protection for Image and Other Identifying Attributes Does Not Fully Encompass Synthetic Identity

Article 32 of the 2015 Civil Code establishes an individual's right to his or her image and, as a general rule, requires consent for the use of that image, subject to statutory exceptions. However, the provision does not directly address situations in which AI does not copy a specific image but synthesizes features from multiple sources to create an entirely new face, appearance, or video. In such cases, the output may still cause recipients to identify a specific person, yet it remains unclear whether it constitutes the "image of an individual" within the meaning of Article 32.

The gap is even more apparent in relation to voice. Voice-cloning technology can generate statements that never existed in a voice capable of identifying a person without reproducing any particular audio recording in its entirety. While the Civil Code contains a specific provision on the right to one's image, current law does not establish a corresponding right to one's voice. Article 34 on honor, dignity, and reputation and Article 38 on private life may apply where the simulation causes the relevant harm, but not every unauthorized reconstruction of a voice necessarily harms honor or invades privacy. This demonstrates the limits of protecting individual personality markers separately. Bosher (2026) observes that deepfakes, digital replicas, and human digital twins can combine multiple elements such as image, voice, name, and likeness to recreate a person, thereby exposing the limitations of fragmented protection. Zerilli (2024) similarly examines deepfakes through appropriation of personality, emphasizing that the issue is not merely the copying of an existing object but the appropriation of signs that make an individual identifiable.

The challenge for Vietnamese civil law is therefore not merely whether a synthetic image falls within Article 32, but more broadly how identifying attributes should be protected when they are combined to create a digital identity. If protection depends on proving that an original photograph or recording was copied, personality rights risk becoming narrowest precisely where generative AI is most capable of effective simulation.

3.2. Consent Mechanisms Are Not Adapted to the Creation and Exploitation of Digital Replicas

Consent is an important basis for determining the lawfulness of image use under Article 32 of the Civil Code. Generative AI, however, creates a distinction between consent to use particular data and consent to reconstruct identity from those data. The fact that an individual has made a photograph, video, or audio recording public, or has authorized its use for a particular purpose, does not automatically mean that the individual has consented to the use of that material to create a digital replica or new content representing him or her. The issue becomes more complex because the creation of a digital replica may involve several stages: data collection, model training or customization, content generation, and subsequent exploitation or dissemination of the output. The lawfulness of input-data processing is therefore not equivalent to the lawfulness of identity use in the output. The 2025 Law on Personal Data Protection is important for controlling personal-data processing, but compliance with data-processing requirements does not automatically confer a right to use an individual's image, voice, or identity in AI-generated content.

Likewise, transparency obligations for AI-generated content cannot substitute for the consent of the person being reconstructed. The EU AI Act illustrates this distinction: Article 50 requires disclosure of the artificial or manipulated nature of deepfake content in cases falling within its scope. That obligation is intended to enable recipients to recognize the artificial origin of the content; it does not establish a right to use the image or voice of the person depicted.

The gap therefore lies in the lack of linkage among three distinct legal questions: whether the data were lawfully processed; whether the individual consented to the reconstruction and exploitation of his or her identity; and whether the public was informed that the content was AI-generated. Satisfaction of one requirement should not be treated as automatically satisfying the other two.

3.3. Difficulty in Determining the Basis and Subjects of Liability for Harmful AI-Generated Content

Deepfakes complicate the determination of civil liability because harm may arise from an event that never occurred. A fabricated video may attribute nonexistent words, conduct, or circumstances to an individual while still causing actual harm to honor, dignity, reputation, private life, or economic interests. In such cases, Article 34 and the Civil Code's rules on non-contractual damages continue to provide a basis for protection, but proving the extent of harm may be difficult because fabricated content can be edited, copied, and rapidly disseminated across multiple platforms.

A further problem concerns the chain of actors involved in creating and disseminating AI-generated content. A deepfake may involve a model developer, service provider, deployer or system customizer, prompt author, content creator, uploader, and distribution platform. These actors do not necessarily have the same degree of control or causal connection to the harm. Assigning liability solely on the basis of an actor's position in the technological chain therefore risks two extremes. On the one hand, if liability is concentrated entirely on the person who directly creates or uploads the content, the law may overlook actors who clearly know of the risk, possess substantial capacity to control it, yet continue to facilitate or amplify the content. On the other hand, automatically imposing liability on developers or providers merely because their technology can be misused would create an excessively broad scope of liability.

The central challenge is therefore to develop criteria for allocating responsibility based on specific conduct, causal connection, the extent to which an actor knew or ought to have known of the risk, the actor's capacity to control it, and the response taken after notification. Such an approach is better suited to the multi-actor structure of the AI ecosystem than a uniform liability model applied across the entire chain.

3.4. Protective and Remedial Mechanisms Are Not Adapted to the Dissemination Dynamics of Deepfakes

The Civil Code allows rights holders to request cessation of infringement, apology, public correction, compensation for damage, and other methods of civil-rights protection. The effectiveness of these remedies, however, is challenged by the dissemination dynamics of digital content. A deepfake can be downloaded, modified, and reposted through multiple accounts or platforms within a short period; removal at one source therefore does not eliminate copies that have already spread.

This feature creates a gap between the legal recognition of a right and the practical ability to protect it. Where dispute resolution is prolonged, harm to reputation, privacy, or economic interests may continue to increase before a final decision is issued. Subsequent monetary compensation may also fail to restore the individual's position fully, especially where the content has been copied or continues to appear in search results and other distribution channels.

Accordingly, the challenge for civil law in the generative-AI environment is not only to identify infringement and compensatory liability, but also to prevent and limit harm in a timely manner. This calls for closer consideration of mechanisms for preserving electronic evidence, provisional emergency measures, orders limiting further dissemination, and remedies whose scope is proportionate to the manner in which the content has spread.

4. International Experience and Its Relevance to Vietnamese Civil Law

International experience demonstrates that protecting individuals against deepfakes and digital replicas cannot rely on a single legal mechanism. Frameworks developed by UNESCO, the European Union, and the United States approach the issue from different perspectives, including human dignity and privacy, control of data processing, transparency of AI-generated content, and protection against unauthorized exploitation of digital replicas. For Vietnam, the value of these models lies not in transplanting any particular institution wholesale, but in identifying principles capable of supplementing the Civil Code's existing system of personality-rights protection.

First, international experience supports a human-centered and technology-neutral approach. UNESCO's Recommendation on the Ethics of Artificial Intelligence places human dignity, privacy, data protection, transparency, and accountability at the center of AI governance and emphasizes the protection of human rights throughout the AI system life cycle (UNESCO, 2021). This approach is significant for civil law because the level of individual protection should not depend on the technical method used to generate content. An image synthesized entirely by AI, yet still capable of identifying and exploiting a particular individual against that person's will, should not automatically fall outside legal protection merely because it does not reproduce an existing image in its original form.

Second, the European Union's experience demonstrates the need to distinguish yet coordinate different layers of legal protection. The GDPR regulates the processing of personal data and provides special protection for biometric data processed for the purpose of uniquely identifying a natural person (European Parliament & Council of the European Union, 2016). The EU AI Act, meanwhile, adds governance and transparency obligations for AI systems and

AI-generated content. In particular, Article 3(60) defines a “deep fake” by reference to AI-generated or manipulated image, audio, or video content capable of falsely appearing authentic, while Article 50 imposes disclosure obligations concerning the artificial or manipulated nature of deepfakes within the scope of the Act (European Parliament & Council of the European Union, 2024). This layered structure is directly relevant to Vietnam. The lawfulness of input-data processing, the right to use an individual’s identifying signs, and transparency obligations concerning output content are related but distinct issues. Compliance with data-protection law does not automatically confer a right to use a person’s image or voice to reconstruct that person; similarly, labeling a video as AI-generated merely informs recipients of the nature of the content and does not replace consent or another legal basis for using the depicted person’s identity. EU experience therefore reinforces a multilayered approach in which data-protection law, AI law, and civil law perform different functions but should operate concurrently.

Third, the U.S. Copyright Office’s report Copyright and Artificial Intelligence, Part 1: Digital Replicas (2024) offers an important perspective on the object of protection. Rather than limiting the issue to whether a particular photograph or recording has been copied, the report approaches a digital replica as a realistic digital simulation of an individual’s image or voice. It further concludes that existing U.S. mechanisms do not provide sufficiently comprehensive and consistent protection and recommends a federal mechanism to protect individuals against the knowing distribution of unauthorized digital replicas (U.S. Copyright Office, 2024).

Two aspects of this approach are particularly relevant to Vietnam. First, the scope of protection should focus on individual identifiability rather than depend entirely on proof that an original recording was copied. This corresponds to the technical characteristics of generative AI, which can synthesize multiple data sources to create a new expression while still causing recipients to recognize a particular person. Second, protection should not be limited to celebrities or persons capable of commercializing their identity. Deepfakes can harm the honor, privacy, livelihood, and autonomy of any individual. This approach is compatible with the nature of personality rights in Vietnamese civil law, which attach to the individual and do not depend on fame or the commercial value of identity.

The U.S. experience also reveals the limits of directly importing a right-of-publicity model. That mechanism has primarily developed to protect an individual’s interest in controlling the commercial exploitation of identity, whereas personality rights under the Vietnamese Civil Code protect a broader range of values, including image, honor, dignity, reputation, and private life. A non-commercial deepfake may still seriously infringe personality rights even where the

infringer obtains no economic benefit. Reform in Vietnam should therefore not shift the focus from personality rights toward a property-based right in identity. Instead, the digital-replica experience can be used to broaden protection for identifying attributes within the existing structure of personality rights.

Finally, comparative experience shows that individual protection must be balanced against other legitimate rights and interests. Not every representation of a person should be prohibited. Journalism, research, education, art, satire, and expression serving the public interest may require different treatment from impersonation, unauthorized commercial exploitation, or deepfakes created to humiliate an individual. The EU AI Act similarly adopts a balancing approach by regulating transparency obligations for deepfakes while providing adapted rules for artistic, creative, satirical, and other legally specified content (European Parliament & Council of the European Union, 2024). Any expansion of identity-control rights in Vietnam should therefore be constrained by necessity and proportionality rather than creating an absolute right to prohibit all forms of simulation.

Three principal lessons can thus be drawn for Vietnamese civil law. First, identifiability, rather than the technical method used to generate content, should be the starting point for protection. Second, personality rights, personal-data protection, and AI-transparency obligations should be distinguished yet coordinated. Third, individual autonomy over identity reconstruction should be protected while maintaining an appropriate balance with freedom of expression and the public interest. These principles do not require Vietnam to copy a foreign model; they provide a basis for developing existing personality rights in a technology-neutral manner better adapted to generative AI.

5. Directions for Improving Vietnamese Civil Law on Personality-Rights Protection in the Context of Generative AI

The gaps analyzed above show that the principal problem facing Vietnamese law in the context of generative AI is not the complete absence of a legal foundation for protecting personality rights, but rather the capacity of existing concepts and mechanisms to address new forms of identity reconstruction. Instead of immediately creating a separate legal regime for deepfakes, a more feasible approach is to develop existing personality rights in a technology-neutral manner, clarify the scope of individual autonomy over identity reconstruction, and determine responsibility in accordance with the roles of actors in the AI chain. On that basis, the article proposes three principal directions for reform.

5.1. Developing Technology-Neutral Protection for Image and Other Identifying Attributes

First, the right to one's image under Article 32 of the Civil Code should be interpreted in a technology-neutral manner. Article 32 establishes an individual's right to his or her image without limiting the technical means by which that image must be created. Protection should therefore not depend decisively on whether the content is a photograph, an original video, edited material, or an AI-synthesized image. The more important question is whether the content is sufficiently capable of identifying a particular individual.

Under this approach, an AI-synthesized image may still fall within Article 32 where the overall characteristics represented are sufficient to refer to a specific person. Assessing identifiability need not depend on an exact facial match; it may consider the combination of appearance, mannerisms, name, accompanying voice, captions, context, and other signs capable of causing recipients to recognize the person. Conversely, resemblance to a generic facial type or common characteristics should not automatically give rise to a right to prohibit the content. This approach would both preserve Article 32's adaptability to new technologies and avoid transforming the right to one's image into a right to control all content bearing some resemblance to a person.

An identifiability criterion is also better suited to the technical characteristics of generative AI. In many cases, the system does not reproduce an image in its original form but synthesizes characteristics from multiple sources to create a new expression. If protection arises only where the individual proves that a specific original image was copied, the scope of personality rights would depend on the technique used to generate content rather than on the personality interest actually affected. The U.S. Copyright Office's approach to digital replicas (2024) illustrates the value of focusing on the simulation of an individual rather than solely on the copying of a particular recording.

A technology-neutral interpretation of Article 32, however, primarily addresses images, while AI can also reconstruct voices and combine multiple other signs to create an identifiable identity. The Civil Code does not currently recognize a separate right to one's voice analogous to the right to one's image. Article 34 on honor, dignity, and reputation and Article 38 on private life may apply where simulation produces the corresponding harm, but not every unauthorized use of a voice simultaneously harms honor or invades privacy.

In the longer term, Vietnam may therefore consider introducing the concept of an individual's "identifying attributes" when amending and improving the Civil Code. Such a

concept could include image, voice, and other characteristics that, individually or in combination, are capable of identifying a particular person. The purpose would not be to transform personality characteristics into property or grant individuals absolute ownership over every resemblance, but to protect the connection between identifying signs and the person whom they represent.

A two-stage solution is therefore appropriate. In the short term, priority should be given to interpreting and applying Article 32 in a technology-neutral manner, with identifiability as an important criterion. In the longer term, if dispute practice shows that the right to one's image and other existing personality rights do not adequately cover voice and new forms of identity reconstruction, the Civil Code could expressly clarify protection for identifying attributes. This incremental approach is more feasible than immediately establishing an entirely new personality right specifically for AI.

5.2. Improving Consent Mechanisms and Defining Autonomy Over the Reconstruction and Exploitation of Digital Identity

The second direction is to clarify the meaning and scope of consent in the context of generative AI. Article 32 of the Civil Code treats consent as an important principle governing the use of an individual's image. Generative AI, however, raises a distinct question: does consent to the use of an image, video, recording, or dataset also include consent to use it to create an artificial version representing the individual? As a matter of principle, these two forms of consent should not be treated as identical.

An individual's publication of an image, or authorization to use it for a particular purpose, does not automatically mean that the individual has agreed to the use of that data to create a digital replica or to generate new statements, conduct, or circumstances associated with him or her. For example, consent to use an image in an advertising campaign should not automatically be extended into a right to generate numerous new AI videos or to continue exploiting a digital replica after the original authorized use has ended. The issue concerns not only what data are used, but also how the individual has authorized his or her identity to be reconstructed and used. Accordingly, for the creation and exploitation of digital replicas, particularly in commercial activities, the scope of consent should be sufficiently specific. Agreements should clarify which attributes may be reconstructed, the purposes of use, the types of content that may be generated, the scope and duration of exploitation, possibilities for modification, transfer to third parties, and continued retention or use of the digital replica after the original relationship ends. This does not mean that every use of AI requires an entirely new form of

consent; rather, it ensures that consent is understood within the purpose that the individual could reasonably anticipate.

At the same time, three legal layers affecting identity reconstruction must be clearly distinguished. First, the collection and processing of input data must have an appropriate basis under personal-data-protection law. Second, the use of image, voice, or other identifying attributes to create and exploit a representation of an individual must be assessed under civil law. Third, output content must comply with AI-transparency obligations where required by law. These layers are complementary but not interchangeable. Lawful data processing does not automatically confer a right to reconstruct identity; similarly, labeling content as AI-generated satisfies a transparency requirement but does not create a right to use the depicted person's image or voice.

Vietnamese civil law may therefore develop toward protecting individual autonomy over identity reconstructed by digital means. This autonomy need not immediately be established as a new and independent personality right; it may instead function as an interpretive principle for existing rights. Its core content is the individual's ability, within reasonable limits, to decide whether others may reconstruct and exploit the attributes by which that person is identifiable, for what purpose, and for how long. Such autonomy must nevertheless be limited to preserve an appropriate balance with other legitimate rights and interests. Not every use of an image or simulation of a person requires consent. Uses serving the public interest, journalism, research, education, art, criticism, or satire should be assessed by reference to purpose, degree of identifiability, likelihood of confusion, impact on the individual, and the necessity and proportionality of restricting expression. The law should protect autonomy without turning it into an absolute power to prohibit every form of expression relating to an individual.

On this basis, improving the consent mechanism does not require replacing the existing legal framework. In the short term, the scope of consent should be interpreted strictly by reference to the authorized purpose, and consent to data use should not be presumed to constitute unlimited consent to identity reconstruction. In the longer term, civil-law reform may more clearly define the content of individual autonomy over the creation and exploitation of digital identity, particularly in contractual and commercial relationships.

5.3. Developing a Civil-Liability Framework Based on Conduct, Degree of Contribution, and Capacity to Control Risk

The third direction concerns identifying the subjects of liability. Deepfake content may result from a sequence of activities: model development, provision of AI services, system

customization, prompting, content generation, uploading, and continued distribution through platforms. Not every actor in this chain has the same degree of participation, control, or causal connection to the harm. Liability determined solely by an actor's formal position in the technological chain would therefore fail to reflect the actual nature of the conduct. The starting point should remain the general principles of civil liability. A person who directly uses AI to create and disseminate content that infringes personality rights should bear responsibility where the legal conditions for civil liability are satisfied. In this situation, AI is merely the means through which the conduct is carried out. The use of sophisticated technology does not alter the principle that a person is responsible for his or her unlawful conduct and the consequences caused by that conduct.

For a model developer or provider of a general-purpose AI tool, the mere fact that the technology is capable of being used to create deepfakes should not, by itself, be sufficient to establish liability. A model may be used for many lawful purposes, and the developer does not necessarily know or control every output generated by users. If liability arose solely because the technology could be misused, its scope would become excessively broad and risk turning developers into guarantors for all user conduct. This does not mean, however, that intermediary actors should always be excluded from liability. The legal assessment changes where an actor substantially participates in creating or amplifying a risk; knows or ought to know of specific infringing content; has a real and reasonable capacity to limit the consequences within its sphere of control; yet fails to respond proportionately. For example, the position of a general-purpose model developer that has no knowledge of a specific item of content is fundamentally different from that of an actor that continues to facilitate or amplify the content after receiving sufficiently clear notice of the infringement.

Rather than assigning liability on the basis of labels such as "developer," "provider," or "platform," assessment should therefore use functional criteria: the actor's specific conduct; degree of contribution to the creation or aggravation of harm; causal connection; the extent to which the actor knew or ought to have known of the risk; actual and legal capacity to exercise control; and the response taken after notification of infringing content. The greater the actor's control and the more direct the connection between its conduct and the harm, the stronger the basis for considering liability. Conversely, general technical capability without participation, knowledge, or control in relation to the specific conduct should not automatically result in liability.

This approach is feasible because it does not necessarily require the immediate creation of a separate civil-liability regime for AI. These criteria can first be used to concretize the application of general principles of civil liability in disputes involving multiple actors. Only if practice demonstrates that existing principles are inadequate for actors with substantial control who fall outside traditional causal relationships should more specialized liability rules be considered. In addition to identifying responsible actors, the assessment of damage should reflect the characteristics of AI-generated content. A deepfake may continue to cause harm even after it has been proven false because it has already been viewed, shared, stored, or reposted. Accordingly, determining the consequences of the conduct should take into account not only whether recipients believed the content to be genuine, but also the nature and seriousness of the infringement, sensitivity of the content, scope and duration of dissemination, likelihood of reposting, actual impact on the individual's personal or professional life, and reasonable costs incurred by the victim to mitigate the consequences.

For infringements of honor, dignity, and reputation, Article 92 of the Civil Code remains an important basis for determining damage and compensation. When applied to deepfakes, however, the scale of dissemination and persistence of content in the digital environment should be considered as factual circumstances in assessing the seriousness of the harm. This enables existing law to adapt to technological change without immediately requiring an entirely separate compensation mechanism.

Taken together, the three proposed directions form a coherent structure: broadening protection for attributes that make an individual identifiable; clarifying the individual's decision-making authority over the reconstruction and exploitation of identity; and allocating responsibility according to conduct, degree of contribution, and capacity to control risk. In the short term, most of these solutions can be implemented through interpretation and application of existing personality rights and general principles of civil liability. In the longer term, if dispute practice reveals structural limitations, amendments to the Civil Code may broaden protection for identifying attributes and clarify autonomy over digital identity. This incremental approach is more appropriate than immediately establishing a separate legal regime for deepfakes, while preserving the balance among personality-rights protection, technological development, and other legitimate social interests.

6. Conclusion

Generative AI changes the ways in which personality rights may be infringed because technology not only uses pre-existing information but can also create new images, voices, and

content capable of identifying a particular individual. The legal issue is therefore no longer confined to whether original data or images have been used without authorization; it extends to control over the reconstruction and exploitation of personal identity in the digital environment. Vietnamese law already provides important foundations through the personality rights recognized in the 2015 Civil Code, the 2025 Law on Personal Data Protection, and the 2025 Law on Artificial Intelligence. Nevertheless, existing rules still reveal limitations in relation to synthetic images, voices, and other identifying attributes, and they do not yet fully resolve the scope of consent or the allocation of responsibility among actors involved in creating and disseminating AI-generated content.

Accordingly, the appropriate direction for reform is to develop existing personality rights in a technology-neutral manner, clarify individual autonomy over the reconstruction and exploitation of digital identity, and determine civil liability on the basis of conduct, degree of contribution, and capacity to control risk. This approach enables civil law to adapt to generative AI without immediately establishing a separate legal regime for deepfakes, while maintaining a balance among personality-rights protection, freedom of expression, the public interest, and technological development.

References

Bosher, H. (2026). Do deepfakes, digital replicas and human digital twins justify personality rights? The Journal of World Intellectual Property. https://doi.org/10.1111/jwip.70020

Chesney, R., & Citron, D. K. (2019). Deep fakes: A looming challenge for privacy, democracy, and national security. California Law Review, 107, 1753–1820. https://doi.org/10.15779/Z38RV0D15J

European Parliament & Council of the European Union. (2016). Regulation (EU) 2016/679 of 27 April 2016 on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data (General Data Protection Regulation). Official Journal of the European Union, L 119, 1–88.

European Parliament & Council of the European Union. (2024). Regulation (EU) 2024/1689 of 13 June 2024 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act). Official Journal of the European Union.

Floridi, L. (2018). Artificial intelligence, deepfakes and a future of ectypes. Philosophy & Technology, 31(3), 317–321. https://doi.org/10.1007/s13347-018-0325-3

National Assembly of Vietnam. (2015). Civil Code No. 91/2015/QH13, dated 24 November 2015.

National Assembly of Vietnam. (2025a). Law on Personal Data Protection No. 91/2025/QH15, dated 26 June 2025.

National Assembly of Vietnam. (2025b). Law on Artificial Intelligence No. 134/2025/QH15, dated 10 December 2025.

UNESCO. (2021). Recommendation on the ethics of artificial intelligence.

U.S. Copyright Office. (2024). Copyright and artificial intelligence, Part 1: Digital replicas. Library of Congress.

Vaccari, C., & Chadwick, A. (2020). Deepfakes and disinformation: Exploring the impact of synthetic political video on deception, uncertainty, and trust in news. Social Media + Society, 6(1), 1–13. https://doi.org/10.1177/2056305120903408

Zerilli, J. (2024). Appropriation of personality in the era of deepfakes. In E. Lim & P. Morgan (Eds.), The Cambridge handbook of private law and artificial intelligence (pp. 227–249). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781108980197.012

VINH TE CANAL (1819-1824) CONSTRUCTION AND THE DEFENSE STRATEGY IN SOUTHERN VIETNAM

Dr. Duong The HIEN
An Giang University - Vietnam National University Ho Chi Minh City, Vietnam
Email: dthehien@agu.edu.vn
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-8791-673X

ABSTRACT

This paper examines the historical context, construction process, and strategic military significance of the Vinh Te Canal (1819-1824) under the reigns of Kings Gia Long and Minh Mang. Spanning nearly 90 kilometers parallel to the Vietnamese-Cambodian border as the largest man-made waterway in nineteenth-century Vietnam, the Vinh Te Canal was far more than a hydraulic infrastructure designed for flood control, salinity flushing, and agricultural expansion in the Chau Doc-Ha Tien region. Utilizing Imperial Archives (*Chau ban*), the Veritable Records of Dai Nam (*Dai Nam thuc luc*), and classical geographical gazetteers, this study illuminates the Nguyen Dynasty's acute geopolitical vision in transforming this fluvial artery into a formidable military moat. The Vinh Te Canal functioned as a critical natural defense line, enabling rapid naval force mobilization, effectively securing the Southwestern frontier gateways, and deterring external security threats. Furthermore, the canal facilitated the establishment of military outposts, garrison settlements, and the consolidation of borderland communities. The findings demonstrate that the construction of the Vinh Te Canal represented a hallmark of the Nguyen Court's dual strategy of integrating economic development with national defense, permanently safeguarding territorial sovereignty in Southern Vietnam.

Keywords: *Vinh Te Canal, Defense strategy, Nguyen Dynasty, Southern Vietnam, Sovereignty protection.*

1. INTRODUCTION

Southern Vietnam under the Nguyen Dynasty occupied an exceptionally vital geo-political and geo-military position in the national defense strategy and sovereignty expansion (Ngo, 2018). During the early nineteenth century, the security landscape along the Southwestern frontier was highly complex, driven by internal political instability in Cambodia and persistent expansionist pressure from Siam (Duong, 2024). To fortify the frontier, enhance fluvial transportation, and promote land reclamation, Emperors Gia Long and Minh Mang made a strategic decision: the excavation of the Vinh Te Canal (1819-1824). Spanning nearly 90 kilometers parallel to the Vietnamese-Cambodian border, connecting the Hau River to the Gulf of Thailand, the Vinh Te Canal was far more than a monumental hydraulic project

designed for soil desalination, flood relief, and agricultural expansion across the Chau Doc-Ha Tien region (Nguyen, 2015).

Furthermore, this infrastructure project exemplified the Nguyen Court's acute defense doctrine by transforming a man-made waterway into a formidable "military moat." The Vinh Te Canal functioned as a strategic corridor enabling rapid naval mobilization, effectively securing frontier gateways, while laying the groundwork for establishing military posts, garrison settlements, and frontier civilian communities. This paper analyzes the context, construction process, and strategic defense significance of the Vinh Te Canal (1819-1824), thereby illuminating the Nguyen Dynasty's harmonious synthesis of economic development and national security consolidation in permanently safeguarding territorial sovereignty in Southern Vietnam.

2. RESEARCH AND FINDINGS

2.1. Geo-political Context and the Strategic Decision to Excavate the Vinh Te Canal (1819-1824)

During the first half of the nineteenth century, the geo-political and geo-military space of Southern Vietnam particularly the Southwestern frontier corridor connecting Chau Doc to Ha Tien held vital importance for the expansion of sovereignty and national security preservation under the Nguyen Dynasty. Situated in the lower Mekong basin, this frontier directly bordered the Kingdom of Cambodia and faced persistent expansionist pressure from Siam (Thailand) (Ngo, 2018). Continuous internal political crises and instability within Cambodia transformed this frontier buffer zone into a fiercely contested arena of influence between two regional powers: Hue and Bangkok (Duong, 2024). Confronted with Siamese military invasion threats, alongside cross-border banditry and coastal piracy, the Nguyen Imperial Court faced an urgent imperative to construct an integrated defense perimeter safeguarding the Southwestern gateway.

However, the natural topography of this frontier prior to 1819 presented formidable obstacles to defense logistics and administrative control. The Chau Doc–Ha Tien area comprised desolate swamps and dense reed marshes, heavily affected by soil salinity and acidity, while entirely lacking a direct fluvial waterway linking the Hau River to the Gulf of Thailand. Transporting military supplies, deploying war fleets, or dispatching reinforcements between border outposts required circuitous maritime routes along hazardous coastlines, leaving forces vulnerable to ambushes or weather disruptions (Nguyen, 2015). This

geographical fragmentation severely constrained the imperial army's rapid mobility during border security emergencies.

Faced with these geopolitical and environmental challenges, Emperors Gia Long and Minh Mang, together with Southern administrators most notably General Thoai Ngoc Hau demonstrated forward-looking strategic vision by authorizing the monumental excavation of the Vinh Te Canal (1819-1824). This decision targeted not only economic goals such as soil desalination, freshwater irrigation for tens of thousands of agricultural hectares, and fluvial trade expansion but a vital national security objective: creating a strategic corridor. Designed to connect the Hau River at Chau Doc directly to the Gulf of Thailand at Ha Tien, the Vinh Te Canal formed a massive military moat parallel to the frontier, fortifying the defense perimeter and establishing an enduring marker of Nguyen sovereignty across Southwestern Vietnam.

2.2. Scale, Organizational Engineering, and Construction Techniques

The Vinh Te Canal (1819-1824) represented the largest and most complex artificial hydraulic engineering project in nineteenth-century Vietnamese history, reflecting the pinnacle of Nguyen Dynasty organizational skill and construction engineering. Initiated under Emperor Gia Long (1819) and completed under Emperor Minh Mang (1824), the canal spanned nearly 90 kilometers in length, with an average surface width of 30 to 40 meters, and a water depth exceeding 2.5 meters (Ngo, 2018). According to detailed records in the *Veritable Records of Dai Nam* (*Dai Nam thuc luc*) and *Imperial Archives of the Nguyen Dynasty* (*Chau ban*), the project required excavating and moving millions of cubic meters of earth and rock across swamps, dense forests, and hard clay strata (Duong, 2024). Completing a giant man-made canal through a desolate frontier within five years demonstrated the Hue Court's superior administrative capability.

The organizational art and management of the labor force at the Vinh Te Canal highlighted the exceptional administrative talent of Director General Thoai Ngoc Hau. The state mobilized a record labor force exceeding 80,000 personnel, comprising imperial troops, Viet villagers, and local ethnic Khmer laborers (Phan, 2020). To maintain order and progress, Thoai Ngoc Hau divided workers into military-style units (*co*, *doi*), designated specific construction segments, and implemented rotational shifts to prevent labor exhaustion. Logistics were meticulously organized, ranging from grain transport and tool supply to establishing field medical stations caring for workers' health (Nguyen, 2015).

Throughout construction, the workforce confronted and overcame severe environmental hardships. The Southwestern borderland was plagued by tropical endemic

diseases (*chuong khi*), harsh weather, saline water intrusion, wild animals, and pirate raids. Combining traditional knowledge with engineering methods, Nguyen personnel utilized manual excavation alongside water flushing for soil acidity, constructed embankment dikes against erosion, and reinforced canal banks. The seamless coordination between military forces and civilian populations, and between Viet and Khmer communities under the fair and compassionate leadership of Thoai Ngoc Hau, ensured the project's successful completion, leaving an enduring masterpiece of hydraulic engineering.

2.3. Dual Functionality: "Military Moat" Border Defense and Economic Corridor

The Vinh Te Canal fulfilled a dual function, serving as a fortified "military moat" safeguarding national security and an essential economic corridor driving Southern Vietnam's development. Militarily, running parallel to the Vietnamese-Cambodian border, the canal created a physical barrier deterring external incursions (Ngo, 2018). Its presence enabled Nguyen naval forces to rapidly deploy war fleets from Chau Doc to Ha Tien and vice versa without relying on maritime routes (Nguyen, 2015). Along its banks, the court established a dense network of military outposts and customs stations, transforming the waterway into a defense-in-depth perimeter that thwarted Siamese expansionist campaigns in subsequent conflicts (Duong, 2024).

Socio-economically, the Vinh Te Canal induced an ecological and agricultural transformation across Southwestern Vietnam. Serving as a major hydraulic work, it flushed acidity and salinity from hundreds of thousands of swampy hectares in the Long Xuyen Quadrangle, bringing abundant fresh water from the Hau River for irrigation (Phan, 2020). With irrigation and fluvial transport established, the once-desolate Chau Doc–Ha Tien area transformed into a prosperous agricultural basket, attracting landless peasant migrants from Central Vietnam to establish thriving villages (Nguyen, 2015).

The integration of defense and economic functions along the Vinh Te Canal was further exemplified through the policy "fortresses preceding settlements" (*tien don hau ap*) and military garrison models. Border garrisons along the canal quickly became nuclei for new civilian communities, where soldiers performed defense duties while assisting residents in farming. The canal also opened a bustling fluvial trade corridor, linking domestic commerce with international maritime routes in the Gulf of Thailand. This harmonious synthesis of national defense and economic development transformed the Vinh Te Canal into a comprehensive strategic asset, consolidating the principle of "a prosperous populace ensures a strong nation" along the frontier.

2.4. Strategic Significance, Historical Legacy, and Frontier Governance Lessons

The completion of the Vinh Te Canal (1819-1824) confirmed the Nguyen Dynasty's outstanding strategic vision in establishing and preserving national territorial sovereignty. Far more than a fluvial transport work, the canal served as a permanent "aquatic sovereignty marker," clearly delineating Vietnam's territorial boundaries in Southwestern Vietnam (Ngo, 2018). By transforming a complex borderland into a fortified, prosperous defense line, the Nguyen Court asserted absolute administrative and military control over Cochinchina, dispelling boundary disputes from neighboring political entities (Duong, 2024).

The historical legacy of the Vinh Te Canal remains profound in both tangible and intangible dimensions. Tangibly, the canal continues to function as a vital fluvial artery, providing fresh water and alluvial soil for agricultural production across present-day An Giang and Kien Giang provinces. Intangibly, the work remains tied to General Thoai Ngoc Hau and his wife Chau Thi Te, who are venerated by local communities as pioneering deities (Phan, 2020). Ancient epigraphs, such as the *Vinh Te Mountain Stele*, stand as historical monuments marking the creative labor and sacrifices of tens of thousands of Nguyen Dynasty workers.

From a historical perspective, the construction and operation of the Vinh Te Canal offer profound lessons for national frontier governance. It demonstrates the organic connection between economic-hydraulic infrastructure development and national defense spatial security; the importance of mobilizing national unity and accommodating ethnic minorities; and the geo-strategic foresight required to proactively structure defense perimeters. These historical lessons retain significant theoretical and practical value, guiding modern strategies to safeguard Vietnam's Southwestern border sovereignty in an era of international integration.

3. CONCLUSION

The investigation into the construction process and strategic significance of the Vinh Te Canal (1819-1824) affirms the outstanding geopolitical vision and superior statecraft of the Nguyen Dynasty in safeguarding territorial sovereignty in Southern Vietnam. Initiated under Emperor Gia Long and completed under Emperor Minh Mang under the direct supervision of Director General Thoai Ngoc Hau, this monumental artificial hydraulic work running parallel to the frontier was not only a nineteenth-century engineering marvel but also a core pillar of national security policy (Duong, 2024). By directly connecting the Hau River to the Gulf of Thailand, the Vinh Te Canal transformed a desolate frontier swamp into an integrated defense perimeter, enabling rapid naval force mobilization and effective control over Southwestern border gateways (Nguyen, 2015).

Furthermore, this infrastructure project exemplified the Nguyen Court's acute defense doctrine that harmoniously synthesized national security with socio-economic development (Ngo, 2018). The canal operated as a fortified "military moat" deterring Siamese incursions, while simultaneously functioning as a vital freshwater artery for soil desalination, turning the Long Xuyen Quadrangle into a prosperous agricultural basket (Phan, 2020). The establishment of the Vinh Te Canal laid the groundwork for the "fortresses preceding settlements" (*tien don hau ap*) policy, accelerating civilian resettlement, founding new villages, and constructing a resilient human wall along the border. The canal permanently served as an enduring "aquatic sovereignty marker," clearly delineating national boundaries and cementing Dai Nam's administrative control over the region.

The historical lessons derived from the Vinh Te Canal on integrating hydraulic infrastructure development with national security spatial planning, fostering inter-ethnic solidarity, and structuring population-based frontier defense perimeters retain profound theoretical and practical value (Phan, 2020). The monumental success of this project not only established an enduring foundation for the historical development of Southern Vietnam but continues to offer vital strategic insights for modern efforts to safeguard Vietnam's Southwestern border sovereignty amidst contemporary international integration.

REFERENCES

Duong, T. H. (2024). *Military defense policies in the Southwestern borderlands of Vietnam under the Nguyen Dynasty (1802–1867)* [Unpublished doctoral dissertation]. Hanoi National University of Education.

Ngo, B. K. (2018). *The Southern frontier defense strategy under Emperor Minh Mang (1820–1841)*. Publishing House of Social Sciences.

Nguyen, T. C. (2015). The system of riverine military posts in the Mekong Delta during the 19th century. *Journal of Historical Studies*, *472*(8), 35–44.

Phan, V. H. (2020). Land reclamation and defense integration: Garrison settlements (*don dien*) in An Giang under the Nguyen Dynasty. *Vietnam Social Sciences Bulletin*, *215*(3), 52–61.

DEVELOPMENT AND VALIDATION OF EDUTAINMENT INSTRUCTIONAL PACKAGES FOR TEACHING ECONOMICS AT SENIOR SECONDARY SCHOOL IN NIGERIA

Dr. Saliu,M.R.
Department of Curriculum and Instruction Niger State College of Education Minna.
Kure Isah Danjuma PhD
Ibrahim Badanasi Babangida Lapai
University Minna Niger State.
Dr Sobowale Favour Mosunmola
Department of Educational Technology,
Federal University of Technology Minna, Nigeria

Abstract

This study developed and validated an Edutainment Instructional Package (EIP) to address poor student performance caused by conventional, teacher-centered teaching methods and the abstract nature of Economics concepts, specifically Demand, among Senior Secondary School (SS1) students in Nigeria. Using the ADDIE instructional design model, EIP packages integrating audio, video, and interactive game formats were created using software including Macromedia Flash 8.0, Fireworks, and Cinema 4D. Validation was conducted across three stages: content validation (university lecturers, secondary school teachers, and examination body officers), expert validation (computer programmers and educational technology experts), and field trial validation with students. Data were collected via the Demand Achievement Test (DAT, $r = 0.92$) and a student questionnaire ($r = 0.94$). While explicit formal hypotheses were framed through research questions regarding the development steps, standard conformity, and sequential content coverage, findings showed that 92.5% of students agreed the content was suitable and sequential, 82.0% confirmed its high interactivity, 94.5% preferred EIP over traditional instruction, and 92.0% praised the feedback system. The EIP successfully meets acceptable instructional design standards, fosters active participation, and enhances academic achievement by making difficult Economics concepts easier to comprehend. It was recommended that Economics teachers should adopt EIP for student-centered learning, receive training on innovative instructional technologies, and governments should allocate funds for EIP development across various subject areas.

Keywords: Edutainment Instructional Package, Demand, Economics, ADDIE Model, Secondary School, Nigeria.

Introduction

Education is a process that involves teaching and learning which is the basis for the development and empowerment of every nation, this is, because it builds people's character

and plays a significant role in transmitting one's culture, beliefs and values in society (Anunobi et al., 2017). Education helps in creating innovations and meeting the growing needs of every nation. In the absence of good education, a nation can hardly develop. Education is therefore more crucial not only to equip the new generations with skills so essential for earning a livelihood but also to create among them an awareness to social and environmental realities and inculcate in them scientific temper, independence of mind and spirit which are of paramount importance for them to become responsible citizens (Nkok, 2020; Jamie,2018). As a result of development that comes with education, innovations on Information and Communication Technology were introduced, this includes entertainment.

Entertainment can be used to achieve educational goals because it can influence to a great extent the traditional educational environments with both negative and positive impact on the performance of students at all levels of education. As noted by Stephen and Christoph (2020) infrequent exposure is not likely to produce lasting consequences, but parents, particularly need to be urged to protect their children against the kinds of repeated exposures that excessive play with violent video games or immersion in violent television programs is likely to produce a disarray behaviour. Furthermore, Aiyedun (2020) noted that most children who are exposed to violence through media (entertainment) had poorer school performance and its impact on their psychological adjustment was detrimental. It is therefore imperative to merge education with entertainment which has brought about edutainment.

The teaching strategies in education have evolved where edutainment has taken its place in the world of education. Anna (2017) sees edutainment as a hybrid genre that relies heavily on visual material, on narrative or game-like formats computer games-education-implication for game developers, and on more informal, less didactic styles of address. Kamo and Ekaterina (2020) stated that edutainment software is a type of software for educating students through entertainment. Edutainment allows students to learn by using various combination of multimedia elements (text, images, video, sound and animation) by simply using a computer mouse to point and click on a particular word, picture or button. This makes the stories as well as information come alive on a computer screen (Pratiwi et al., 2019).

Taylor (2020) defined edutainment as education that has been placed within the framework of entertainment. The introduction of computers and the Internet has affected traditional educational environments, enabled implementation of a large variety of edutainment types in the learning process thus radically transforming educational paradigm by strengthening the

relationship between learning, new media and play. Edutainment instructional package in this research work is divided into three category they are audio video and game.

Audio Instructional Package is a designed instructional to make economics concept easier for the student to comprehend. The package contain a voice narration of the concept of demand which students will have to listen to in order to comprehend and work out questions that the instructor will give based on the presentation (Misbah, 2018). The video Instructional package contains a presentation of demand in a dramatic display where the students will watch it and answer all questions that follows it. Finally the game instructional Package contains demand concept in a game form. The students participate actively by watching the video clip instruction first and thereafter, instructor will introduce the game to them. If the students get it correctly they will move to the next question with reward of clapping and signs of star reward will be given.

The development of edutainment instructional package was guided by the ADDIE model of Instruction as explained in the work of Awodun and Oyeniyiet (2020) who explain how each step should be carried out and give various activities that must be considered in each step of the cycle. Instructional Design is the very heart of effective teaching and learning. Unless teachers plan and design teaching activities, incidental learning will be the result, and at the end of it all, teachers will fail to do the evaluation of what they have done in class, something which thoroughly depends on clearly set and known objectives which are located in the analysis, the very first step of designing. Therefore, Instructional Design remains of extreme importance to teachers and curriculum developers. Therefore, the idea of instructional design remains of extreme importance to teachers and educationists as held by Stephen and Christoph (2020) who contends that teachers as instructional designers are expected to be familiar with the epistemological underpinnings of several theories and their consequences on the process of instruction. They need to design strategies that will result into effective learning. While there could be a range of instructional design models, ADDIE is considered to be the most common instructional design model (Eze *et al.*, 2020). Among a range of studies concerning ADDIE model of Instruction (e.g. Anunobi et al., 2019; Awodun and Oyeniyi, 2020), none looked at the extent of its applicability in the teaching-learning transaction.

Bawa et al. (2020) maintains that one way to avoid mismatching instructional method with particular audience is to consider demographic characteristics and preferences of the learners. This is in harmony with Anna (2017) who maintain that teachers should make use of established range of individual demographic differences among learners as an opportunity in

their teaching in that varied range of approaches can be used to meet the needs of students according to their individual differences. The instructional design should therefore consider individual differences of the learners. Alexander *et al.* (2017) study suggested that using a systematic approach such as ADDIE to develop a valid and effective interactive wed-based module was still viable. Similarly, Anunobi et al. (2017) adopted ADDIE model allowed development of the package to take less time and effort as it starts with specific set of prescribed objectives.

In the same vein, Alexander et al. (2017) carried out a study on development and validation of a computer- assisted instructional package for learning basic science in Nigeria. The overall reaction from the validating team revealed that the developed package (CAIP) is valuable for learning physics concept in Basic science. Similarly, Awodun and Oyeniyi (2020) conducted a study on design, development and validation of a web-based instructional package for teaching ceramics concepts in basic technology for junior secondary school students in Nigeria. The results revealed that comments received from experts and student representatives confirmed that the content, navigation mode, interactivity, structure, colour used and authoring tools used were relevant and it was of good quality for the intended users.

Aim and Objectives of the Study

The aim of this study is to develop an edutainment instructional package for teaching Economics among secondary school students in Niger State. Specifically, the study achieved the following objectives:

i. Determine the steps involved in development of edutainment instructional packages for secondary school students.
ii. Find out is the development of the EIP conform to acceptable standards of Economics teachers, educational technology experts and computer programmers.
iii. Find out about the content of the developed Edutainment Instructional Package (EIP) sufficiently and appropriately covered the chosen areas of Economics (Demand) in a sequential manner?

Research Questions

i. What are the steps involved in development of edutainment instructional packages for secondary school students.
ii. Does the development of the EIP conform to acceptable standards of Economics teachers, educational technology experts and computer programmers?

iii. Does the content of the developed Edutainment Instructional Package (EIP) sufficiently and appropriately covered the chosen areas of Economics (Demand) in a sequential manner?

Methodology

Research Design

The research design adopted for this study is ADDIE Model. Edutainment Instructional Package (EIP) for senior secondary Economics students is a design-based approach. It is a form of computer-assisted instructional package developed by the researcher and a programmer using ADDIE model instructional design. The stages of ADDIE model is shown in Figure 1.

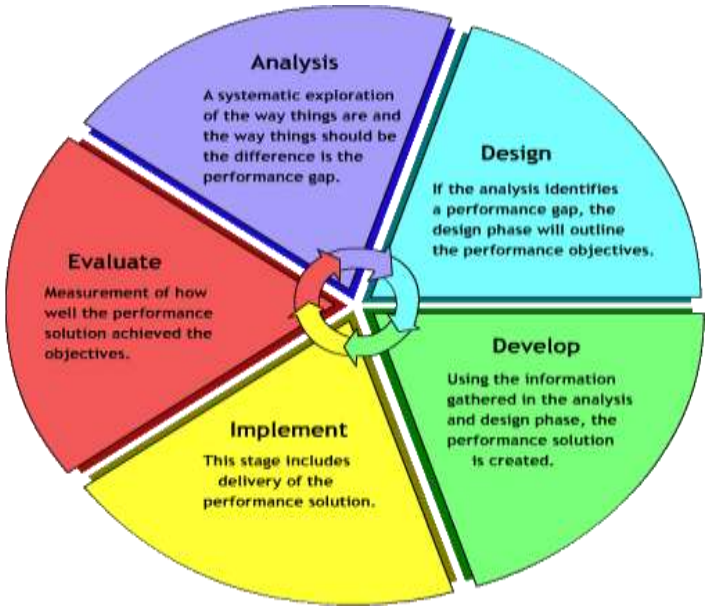


Figure 1: Instructional Design Model: Fillinicorp.wordpress.com

Research Instruments

Four instruments were used for data collection in this study. They include: Edutainment Instructional Packages (EIP), Demand Achievement Test (DAT) Questionnaire on Student' Attitude toward Edutainment Instructional Packages.

Reliability of the Instruments

After the validity of the instruments, the modified questionnaires was trial tested using SSS2 economics students from Maikunkele Day Secondary School that is, school that are part of the population but not part of the sample size. Test-Retest reliability was used to determine the structured questionnaires and data generated from the pilot study using DAT and it was analysed using Pearson Product Moment Correlation Coefficient to determine the internal consistence and reliability coefficient index of 0.92 and QSAEIP was equally pilot tested on an intact class of 30 economics students from Maikunkele Day Secondary School reliability coefficient index was obtained which is 0.94 using Cronbach Alpha. This indicates that the instruments are reliable for the study. Siegel (2005) opined that an estimate value of correlation coefficient of an instrument should not be less than 0.75 correlation coefficient. The rationale behind the trial testing is to enable researcher to determine and diagnose problems encounter and forestall such problems during the real field work for the final administration of the instrument in the schools to be experimented. Test Re-test method was used to analysed the data using Pearson Product Moment Correlation Coefficient (PPMC) formular to determine the internal consistency for the Demand Achievement Test (DAT). Cronbach Alpha was used to analyse the data generated from QSAEIP.

Method of Data Collection

The researcher visited the selected schools with letter of introduction from the head of department to the various school principals on notification of the intention of the researcher before carrying out the study. There was two days training for the research assistants where they were trained on how to handle the three groups. They were exposed to the purpose of the study concepts to be taught and procedure for administering the instrument so as to ensure homogeneity of instructional situation across the three groups. Students in the two experimental groups were taught using Edutainment Instructional Package (EID) while those in control group were taught using Audio-based Edutainment Instructional Package.

The researcher visited the six secondary schools, and with the help of research assistants, the pretest and posttest was administered. The test was scored following the marking schemes. The data collected was subjected to data analysis.

Data Analysis Techniques

The analysis and interpretation of data collected through the questionnaire was analyzed using inferential and descriptive statistics. The frequencies were converted to mean, standard deviation and simple percentage to answer research questions. The questionnaire items were ranked 4 as Strongly Agree, 3 as Agree, 2 as Disagree and 1 as Strongly Disagree for questionnaire items that were positively expressed and vice versa for the negatively expressed items.

Results

Research Question 1: What are the steps involved in the development of Edutainment Instructional Package for secondary schools students in Niger State?

Development of Edutainment Instructional Package (EIP)

The ADDIE model of instructional design is a five-step process to developing iterative learning and training activities. The ADDIE model of instructional design is as ubiquitous to learning design as Kirkpatrick is to learning evaluation.

Originally developed in 1975 by Florida State University for the U.S. Army, ADDIE remains the default instructional design process for many organizations. This model was originally created as a very detailed process, however, these days most instructional designers will only be familiar with its five main stages: Analysis; Design; Development; Implementation and Evaluation

All five phases are equally important, but in practice, most effort is often put into the Design and Development stages, while the Analysis, Implementation, and Evaluation phases are often less well done. This could be caused by time constraints on L&D for rapid development, or our tendency to start (and complete) tangible work and skimming over the critical, yet unseen, elements.

Analysis: This is the need/task analysis stage. At this stage, the researcher has seen the poor performance of students in Economics and having looked at the WAEC chief examiner's report on some of the concepts that students fail such as demand and supply. Therefore, the researcher decided to seek for a way to improve the students' performance in demand and supply concept of Economics. From the researcher's experience as a teacher, most students prefer to learn in a conducive environment by combining education with entertainment. The necessity for a researcher-made edutainment instructional package was based on the fact that Edutainment Instructional Package was not commonly developed, produced and used for teaching and learning in Nigeria. Even when they are available, they may not be suitable for Nigerian

curriculum. As a result of this, developing an edutainment instructional package for Economics instruction by the researcher to enhance effective teaching of Economics becomes necessary.

Design: This is the second stage in the development of EIP. In this stage, Economics scheme of work on demand and supply began was used to prepare the content of the chosen concept. From the prepared demand and supply concept, Demand Achievement Test (DAT) was developed based on SSI Economics curriculum on demand and supply concept covered in the EIP. To elicit response from students during the field trial validation of the package, a researcher-developed questionnaire was used. Furthermore, all the items in the questionnaire were constructed to elicit responses from various validators (expert, teachers, computer specialists, educational technology specialists and students) concerning the use of the package. The questionnaire was divided into six parts, namely, content, interactivity, navigation, feedback, screen design and students' preference toward the use of interactive EIP package compared to normal classroom instruction methods of learning. The 4-point Likert scale consisting of 30 questions was used in the questionnaire, namely, 4 as Strongly Agree, 3 as Agree, 2 as Disagree and 1 as Strongly Disagree.

Research Question 2

Does the development of the EIP conform to acceptable standards of Economics teachers, educational technology experts and computer programmers?

In answering this question, the processes of developing EIP using ADDIE model were discussed.

Development Stage: The EIP was designed and produced using some video/audio editing mobile application software. The software used are:- Adobe Premium Pro and Power-Director for video editing; Video-compress for compressing video files; Slideshow maker to create video from slide and audio files; and Video to MP3 Converter. The final packaging into the CD was done using Macromedia flash after the content and the instructional objectives for the lessons have been selected. The following steps was duly followed for the design and production of the instructional package: Collection of relevant videos on Demand; Collection of relevant pictures; Editing and splitting of collected videos using pinnacle 15; Editing of pictures –Photoshop software was used for editing, colouring, and cropping the pictures to desired shape and saved in JPENG format; Narration –using Audacity software to further capture the learner’s attention and Designing and packaging of the presentation- Macromedia version 8.0 was used for the design and final packaging of the presentation.

Implementation Stage: Immediately after the content expert validation by Economics teachers, subject officials from external examination body and test measurement experts is done, implementation stage begun. The EIP was pilot tested on randomly selected SS1 Economics students from a selected secondary school in Minna. Before the administration of DAT, questions were extracted from past questions paper on demand and 50 were found suitable to form the final DAT. Each of the questions of the DAT had four options (A - D) as possible answers to the question. Students were required to indicate their correct answers by ticking one of the letters (A - D) that corresponds to the correct option in each item. On the scoring of the multiple-choice items, '1' was awarded for each correct answer and '0' for each wrong answer. The test was administered once on the pilot samples. After the test, the data obtained from the pilot study were analysed using Pearson Product Moment Correlation Coefficient and 0.78 reliability coefficient was obtained which was considered adequate for the research study.

The instrument used for field trial validation of the package was a researcher-developed questionnaire. All the items in the questionnaire were constructed to elicit responses from various validators (expert, teachers, computer specialists, educational technology specialists and students) concerning the use of the package. The questionnaire was divided into six parts, namely, content, interactivity, navigation, feedback, screen design and students' preference toward the use of interactive EIP package compared to normal classroom instruction methods of learning.

The lessons in the package were assigned to each student to watch a video projected in the computer laboratory.

Evaluation: The DAT was pilot tested on randomly selected SS1 Economics students. Each of the questions of the DAT had four options (A - D) as possible answers to the question. Students were required to indicate their correct answers by ticking one of the letters (A - D) that corresponds to the correct option in each item. On the scoring of the multiple-choice items, '1' was awarded for each correct answer and '0' for each wrong answer.

For the EIP, the students were trial tested to work on the computer systems to ensure the functionality of the package in terms of content visual quality, interactivity, the navigation, and feedback from the game package, screen design, students' preference towards the package and general attitude to the package. At the end of this stage, a 30-item questionnaire consisting of tables 1-6 was administered to 34 intact class Economics students and retrieved immediately

after they had responded to it. The students' responses were analysed using simple percentages. The results of this are presented in Table 1-6.

Validation of Instrument

The instrument used for field trial validation of the package was a researcher-developed questionnaire. All the items in the instrument were constructed to elicit responses from various validators (expert, teachers, computer specialists, educational technology specialists and students) concerning the use of the package. The questionnaire was divided into six parts, namely, content, interactivity, navigation, feedback, screen design and students' preference toward the use of interactive EIP package compared to normal classroom instruction methods of learning. The 4-point Likert scale consisting of 30 questions was used in the questionnaire, namely, 4 as Strongly Agree, 3 as Agree, 2 as Disagree and 1 as Strongly Disagree.

Procedure for Validating the Edutainment Instructional Package (EIP)

The validation of EIP was done in three stages: (i) content validation (Economics specialists); (ii) experts validation (computer programmers & educational technology experts); and (iii) field validation trial (individual learners).

Contents Validation

The Economics contents of the package were validated by four Economics experts from Ahmadu Bello University, Zaria and Federal University of Agriculture Umudike, three subject officers from National Examination Council (NECO), measurement and evaluation expert from NECO, and three Economics teachers from three secondary schools in Abuja before the package were developed. They were requested to carry out the validation of the contents of the instrument by ensuring that all items were derived from the content that would be presented to the students. The face validity concerning the background of the students was also considered. Subject matter of the EIP adequately and sufficiently covered the Nigerian secondary school Economics curriculum. After the package was developed, it was validated to determine the appropriateness of the package for teaching the chosen topics; clarity and simplicity of the packages as well as its suitability for the level of the students; the extent to which the contents cover the topics they are meant to cover; possible errors in suggested answers; and the structuring of the package. After the validation, some sentence errors and spelling mistakes were corrected. Some paragraphs and formatting errors discovered were also corrected. The test items and contents of the package were also corrected and modified based on suggestions and recommendations of the experts.

Expert Validation

The developed package was given to four computer programmers to determine the appropriateness of the package in terms of language, typography, legibility, navigation, interface, animations, functionality, packaging, and durability. Their suggestions and commendations were used for modifying the package. Similarly, five educational technology experts were requested to validate the package in terms of its suitability for instruction, simplicity, unity among illustrations, emphasis on key concepts, colour use, and text. The experts' comments were used to correct some mistakes while their suggestions were used to improve the package. Based on the experts' suggestions some of the font sizes were increased, some background colours were changed to avoid distraction; the package was burned on CD, copied in flash-drive to ensure good storage.

Field Trial Validation

The Edutainment Instructional package (EIP) was trial-tested on 40 SS1 Economics students from a selected senior secondary school in Abuja. The 40 students from an intact class of the school were made to watch the video (simulation package) and play the Who Wants to be A Millionaire (WWTBAM) computer game package installed in the computers in the school computer laboratory. The simulation package consists of the introductory part and four lessons (Lesson 1-4) in this order: Lesson 1: Abiotic and Biotic Factors; Lesson 2: Types of Habitat; Lesson 3: Energy Flow; Lesson 4: Food chain and Food web.

The lessons in the package were assigned to each student to watch a video projected in the computer laboratory. The Game Package (WWTBAM) on the other hand consists of 15 questions that were played by individual student after watching the simulation package to test the students' understanding of the package. The sampled students were exposed to Economics using the EIP for 80 minutes duration per lesson which lasted for three days. The students were allowed to work on the computer systems to ensure the functionality of the package in terms of content visual quality, interactivity, navigation, and feedback from the game package, screen design, students' preference towards the package and general attitude to the package. At the end of this stage, a 30-item questionnaire consisting of tables 1-6 was administered to the students and retrieved immediately after they had responded to it. Some students were also interviewed orally to determine their preference and interest in the package. The students' responses were analysed using simple percentages.

Research Question 3

Does the content of the developed Edutainment Instructional Package (EIP) sufficiently and appropriately covered the chosen areas of Economics (Demand) in a sequential manner?

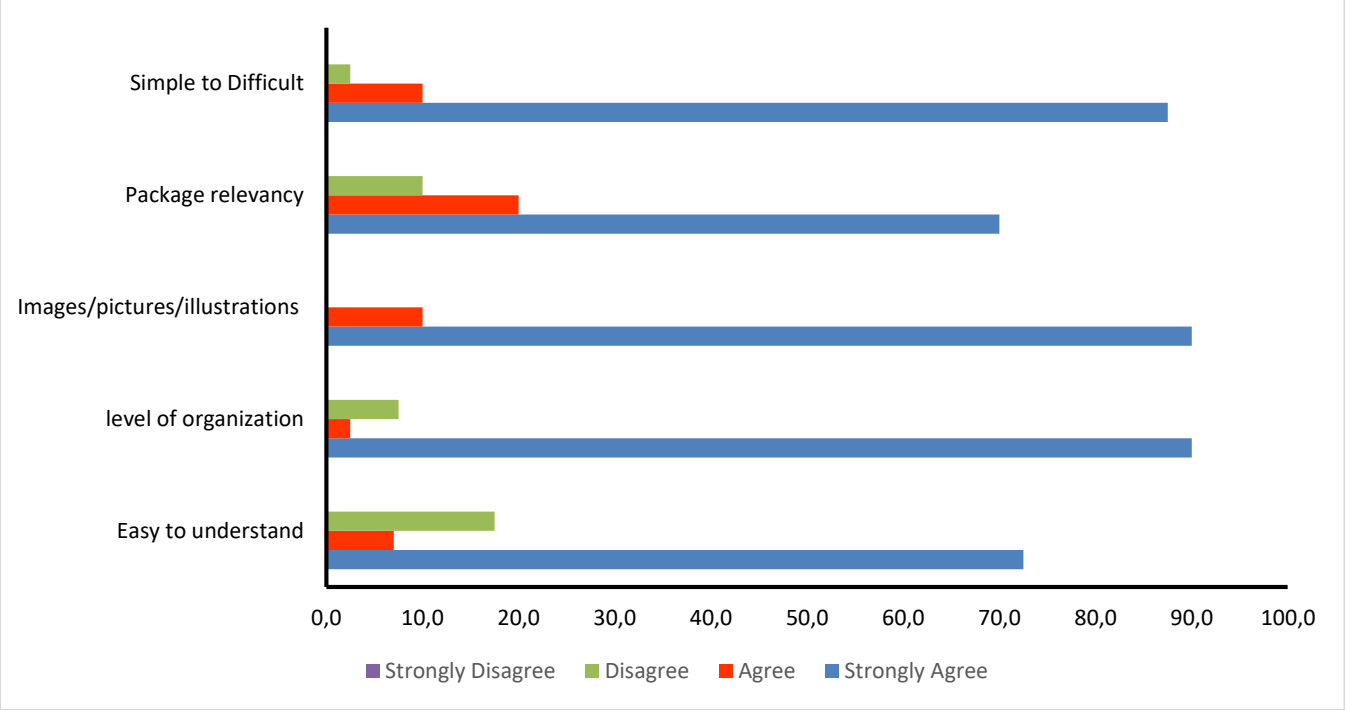


Figure 2: Measure of sufficiency and appropriateness of Edutainment Instructional Package (EIP)

From Figure 2, 82.0% of the students strongly agreed while 10.5% agreed that the content of the package was suitable for the learning of Economics. Students liked the content of the package because it is well organized and easy to understand. Therefore, none of the student strongly disagrees with the statement items on the contents of the package.

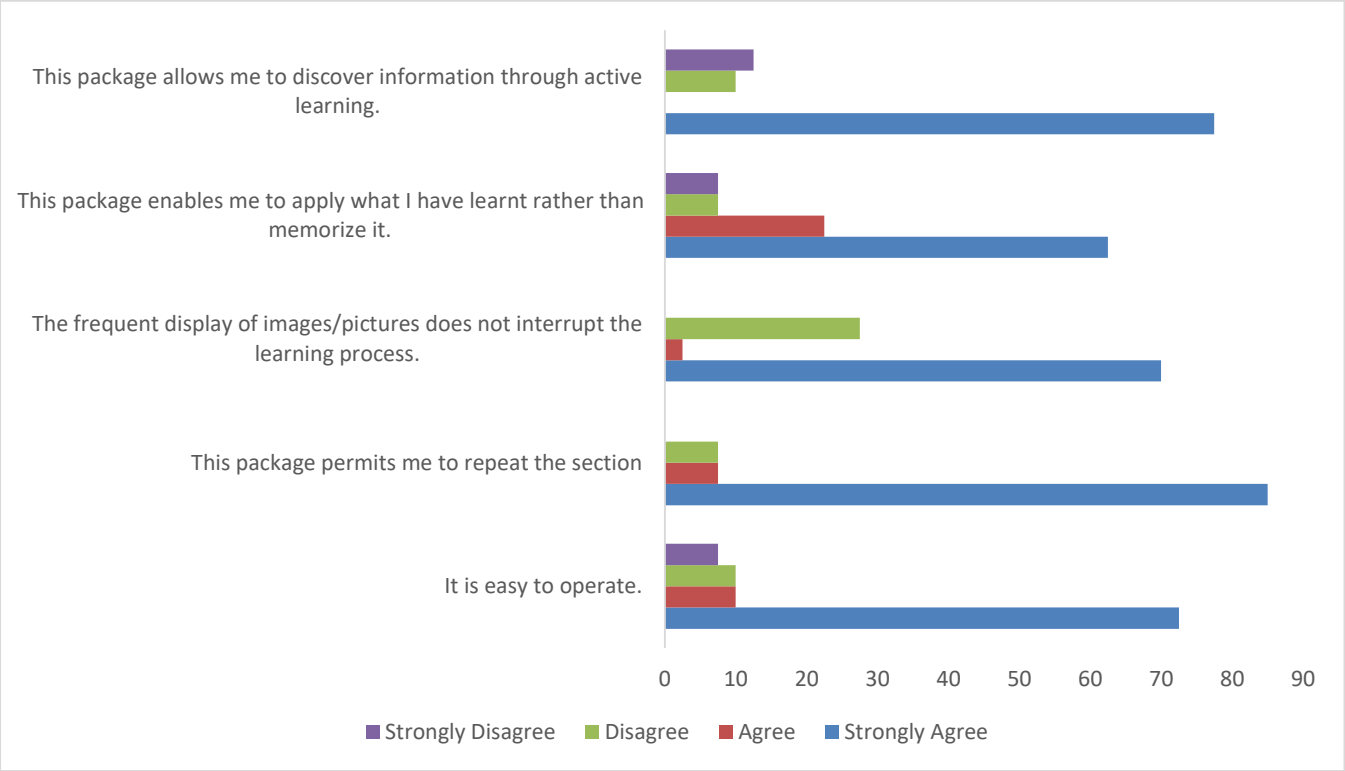


Figure 3: Measure of interactivity of Edutainment Instructional Package (EIP)

From Figure 3, 73.5% of the students strongly agreed while 8.5% agreed that the package was interactive for the learning of Economics. Students liked the package because it enables them to apply what was learnt rather than memorize it. Meanwhile, 12.5% of the student disagrees with the statement items on the interactivity of the package and 5.5% strongly disagreed.

Table 3: Navigation of the Package

S/No	Statement	Response			
		Strongly Agree	Agree	Disagree	Strongly Disagree
1	From the main menu, learners are allowed to register his/her name.	32(80.0)	3(7.5)	4(10.0)	1(2.5)
2	The logout key enables me to exit from the lesson/programme.	17(42.5)	3(7.5)	14(35.0)	6(15.0)
3	The previous key enables me to revisit the previous section(s) of the lesson.	23(57.5)	6(15.0)	10(25.0)	1(2.5)
4	The next key directs me to go to the next section of the lesson.	33(82.5)	3(7.5)	4(10.0)	0(0.0)
5	The option keys allow me to select the correct option.	40(100.0)	0(0.0)	0(0.0)	0(0.0)

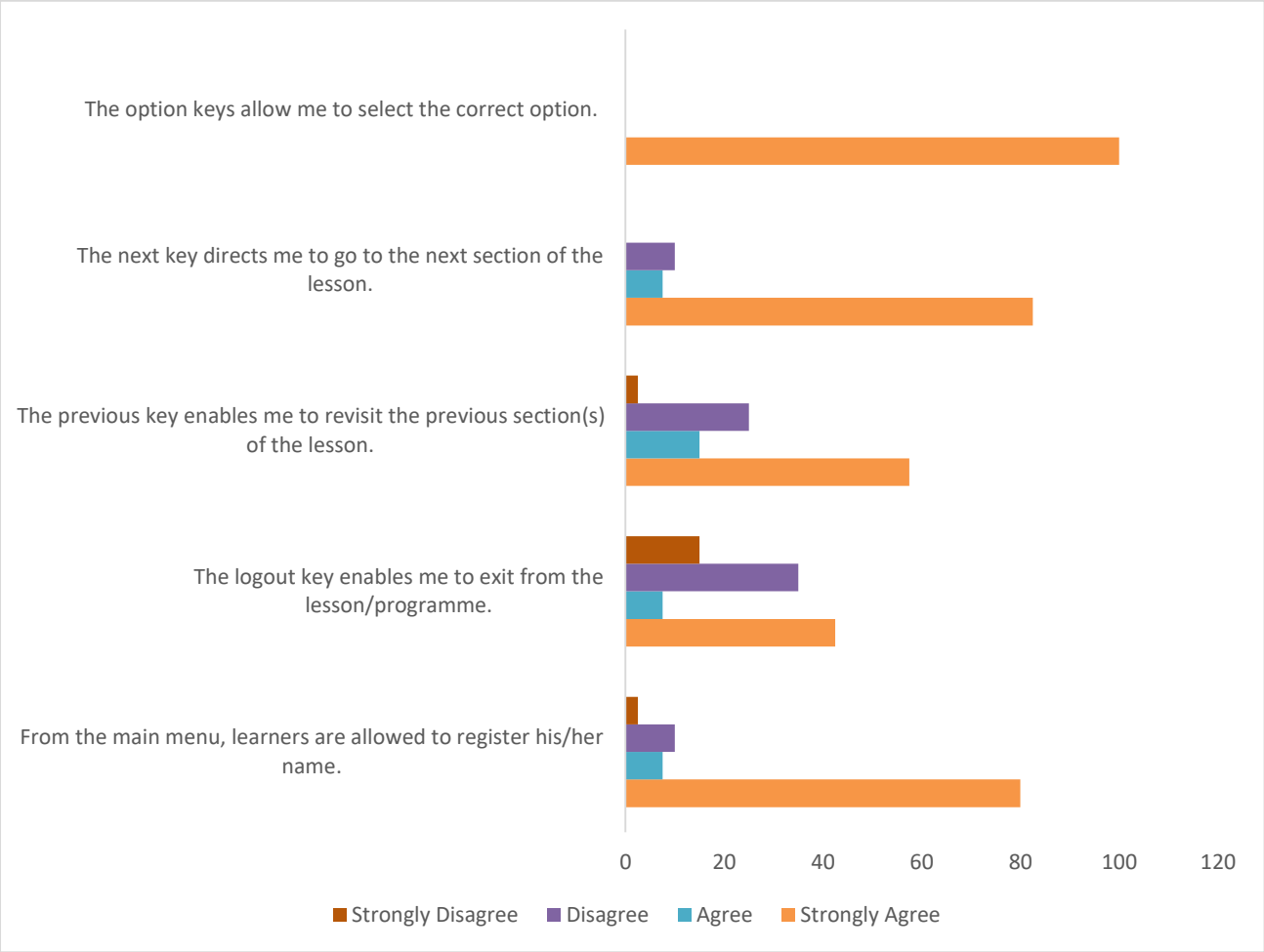


Figure 4: Measure of interactivity of Edutainment Instructional Package (EIP)

From Figure 4, 72.5% of the students strongly agreed that the package option keys allow them to select the correct option while 7.5%% agreed. Meanwhile, 16.0%none of the student disagrees with the statement items on the navigation of the package while 4.0% strongly disagreed.

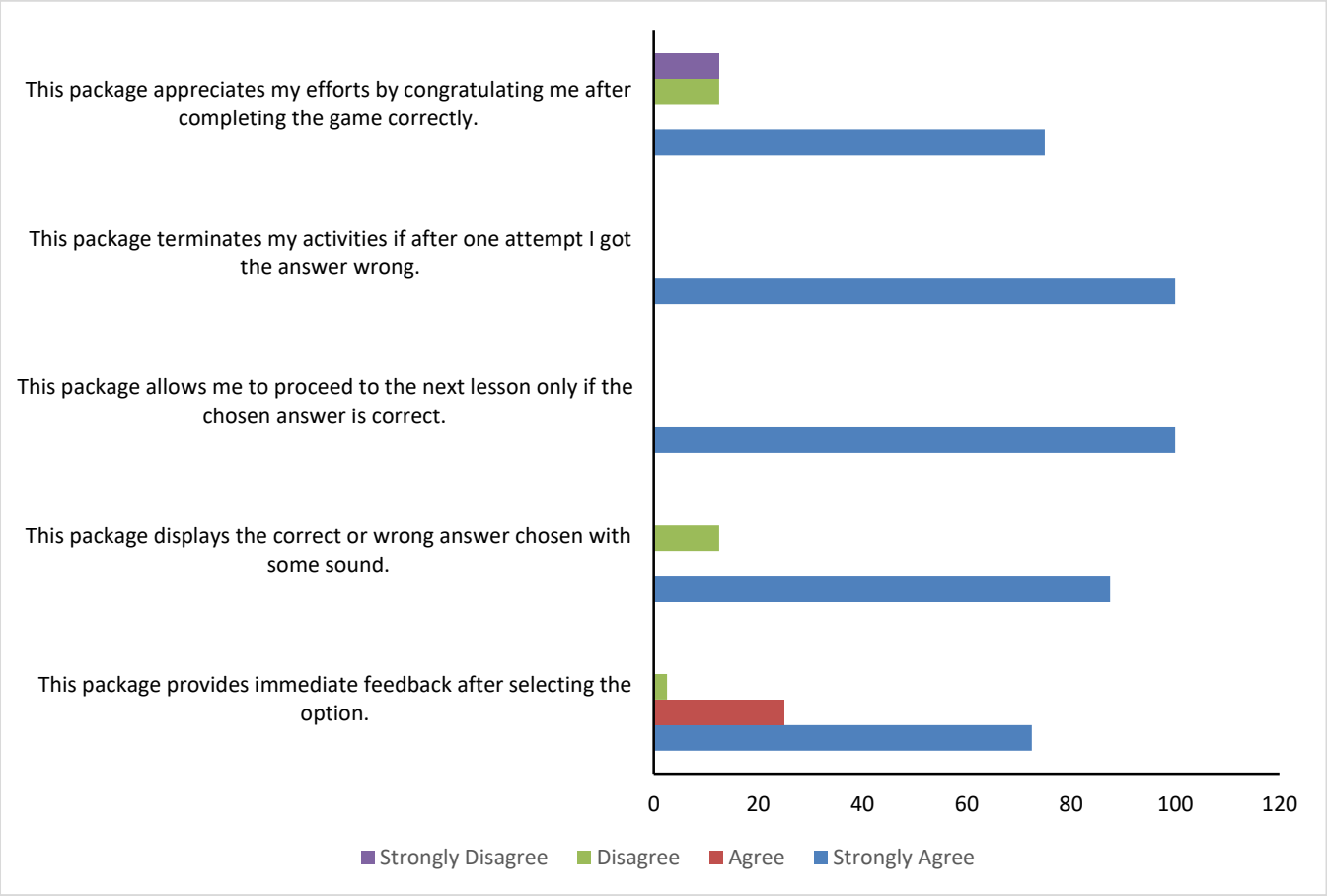


Figure 5: Measure of in Feedback from the Edutainment Instructional Package (EIP)

From Figure 5, a total of 87.0% of the students strongly agreed while 5.0% agreed that the package displays the correct or wrong answer chosen with some sound which allows feedback from the package. Meanwhile, 5.5% of the student disagrees with any of the statement items on the feedback of the package while 2.5% strongly disagreed.

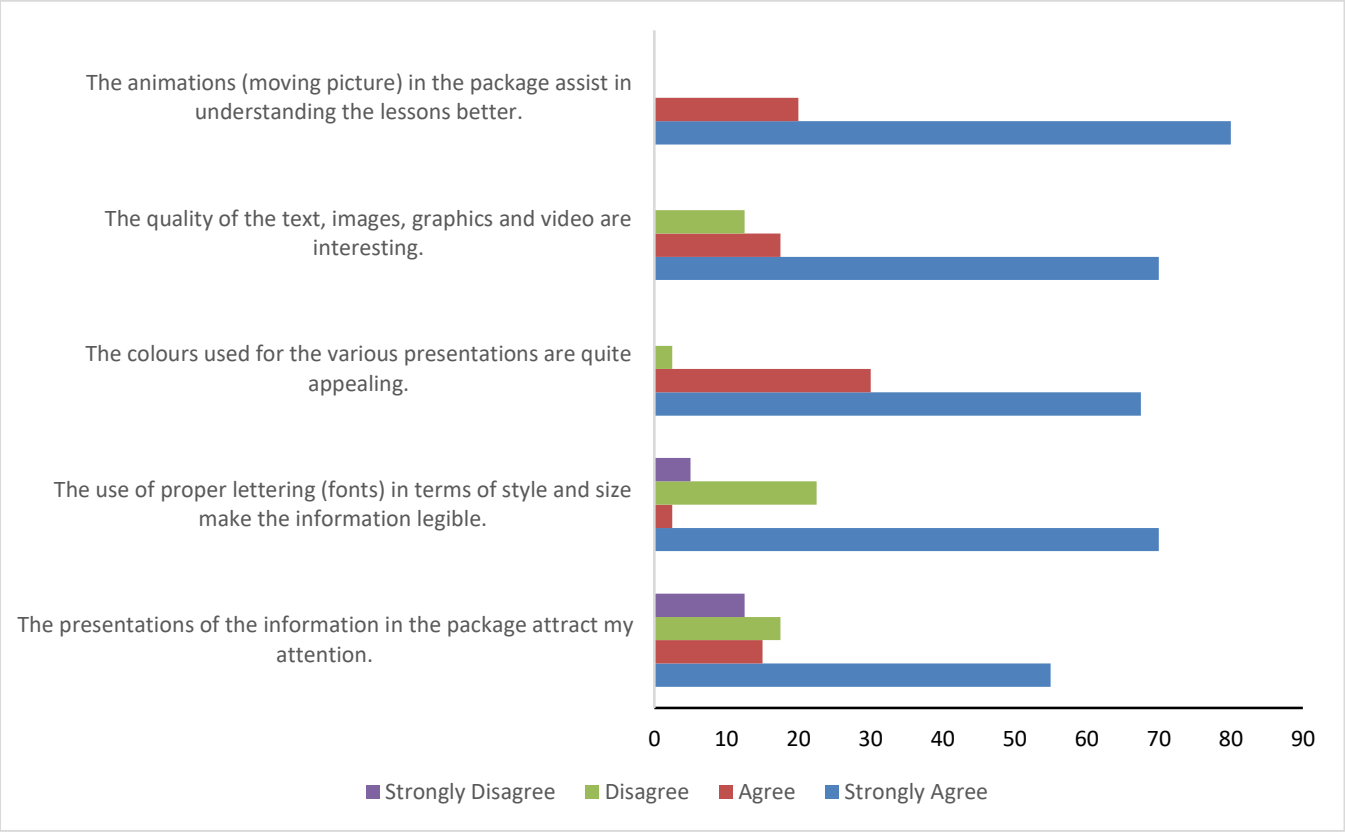


Figure 6: Measure of Screen Design from the Edutainment Instructional Package (EIP)

Results from Figure 6 shows that 68.5% of students strongly agreed on the nature of the screen design of the package while 17.0% agreed. They also agreed that the presentation of information is attractive. Meanwhile 11.0% and 3.5% respectively of the respondents had a negative view on the statement items concerning the screen design of the package expressed in disagreed and strongly disagreed.

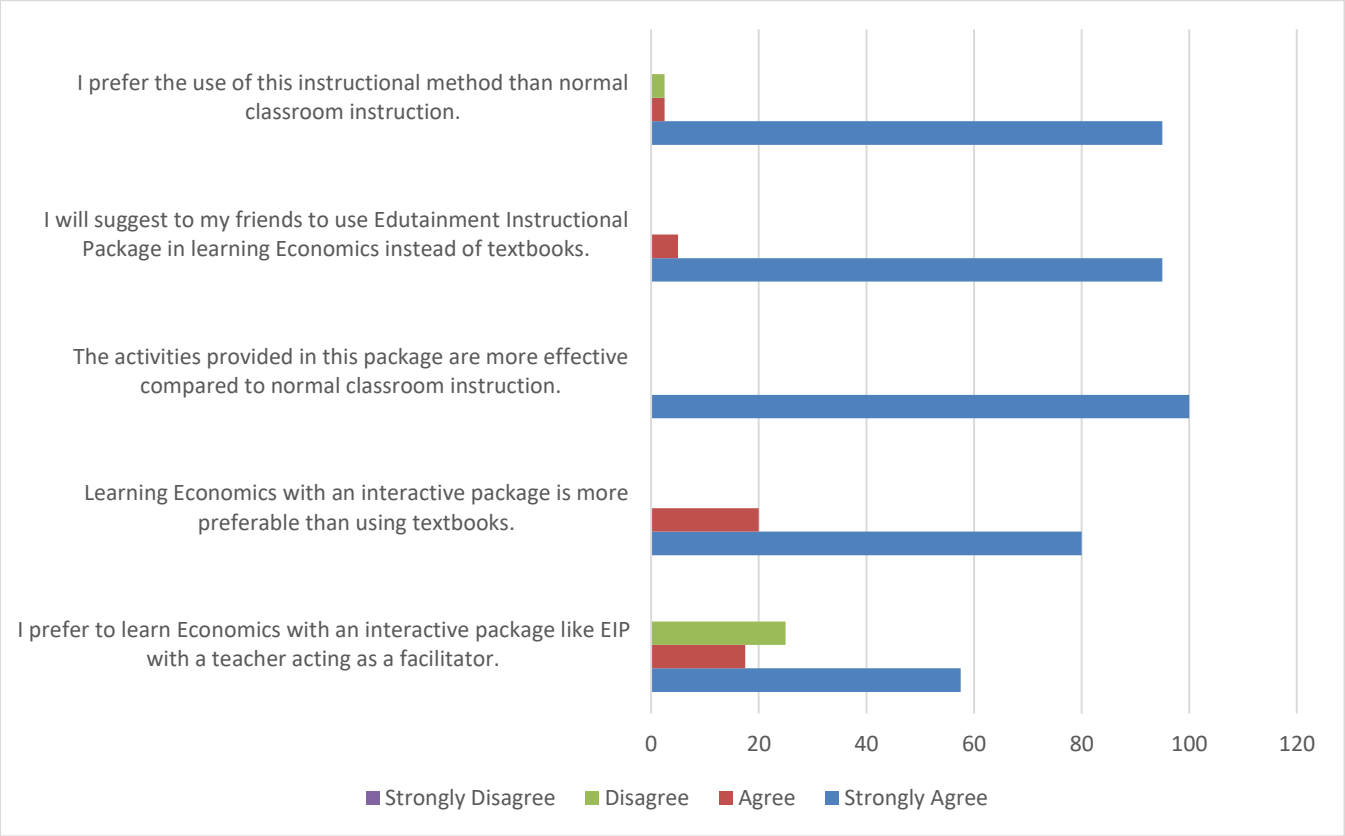


Figure 7: Measure of Students' Preferences toward the use of the Edutainment Instructional Package (EIP)

Results from Figure 7 shows that 85.5% of students strongly agree while 9.0% on the use of Edutainment instructional package than normal classroom instruction. They also agreed that the activities provided in this package are more effective compared to normal classroom instruction. Meanwhile, none of the student had negative view on the preference towards the use of EIP.

Discussion of Findings

The development and validation of Edutainment Instructional Package was carried out in this study and it was observed that the content, navigation mode, interactivity, screen design of the package and feedback from the package was of good quality for the intended users with high preference level by the students. This was supported Awodun and Oyeniyi (2020) who observed that comments received from experts and student representatives confirmed that the content, navigation mode, interactivity, structure, colour used and authoring tools used were relevant and it was of good quality for the intended users. It was also supported by Eze *et al.* (2020) who carried out a study on Effect of Edutainment Instructional Approach on Students'

Academic Achievement and Retention in Building Technology in Technical Colleges. The overall reaction from the validating team revealed that the developed package (EAIP) is valuable for learning.

The model adopted for the design of the instructional package was ADDIE instructional design model which was considered by other researchers to be the most commonly used by researchers like (Stephen and Christoph, 2020). The usage by previous studies made it suitable for edutainment as an instructional in the package for teaching Economics.

Conclusion

After the development and the validation of the EIP package to determine its suitability for teaching demand to SS1 Economics students, it was revealed that students' performance in Economics increased as each student actively participated in the learning process. This enabled the researcher to conclude that EIP will be very useful for better students' achievement in Economics and that EIP can be used to minimize the belief that some concepts in Economics are difficult to teach by teachers and learn by students.

Recommendations

Based on the findings of this study, the following recommendations were made:

1. Teachers should adopt EIP for classroom instruction as it is student-centred instruction that engages the students to learn better.
2. Teachers should be trained on how to develop and use innovative technologies like EIP to facilitate better teaching and enhance students' academic achievement.
3. The government should make the fund available to school management to develop EIP in any subject area since students' academic achievement and retention could be enhanced through this medium of instruction.

References

Adamu, T. I., Ibrahim M. S., Adamu, T. A. & Ibrahim A. (2018). Use of audio-visual materials in teaching and learning of classification of living things among secondary school students in Sabon Gari LGA of Kaduna State, *International Journal of Technology in Education*, 6(2), 33-37.

Adedamola, A. K. (2018). The use of multimedia in teaching biology and its impact on students' learning outcomes. *International Journal of Research*, 9 (2), 157 – 165.

Aiyedun, F. (2020). Students' achievement, retention and interest in climate change in Lokoja, Kogi State. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development (IJTSRD)*, 1(3), 233 – 257.

Alexander, J. L., Ayres, K. M., Smith, K. A., Shepley, S. B. & Mataras, T. K. (2017). Using video modeling on an iPad to teach generalized matching on a sorting mail task to adolescents with autism. *Research in Autism Spectrum Disorders*, 7(11), 1346–1357.

Al-khafaji, N. J., Al-shaher, M. A. & Al-khafaji, M. J. (2017). M-Learning application for autistic children using android platform. *SEEK Digital Library: Institute of Research Engineers and Doctors*, 2(3), 978–981.

Anna, B. (2017). Design of English Conversation Edutainment Game for Japanese University Students. Unpublished Thesis Master Thesis. University of Toyama, Japan.

Anunobi, V. N., Gambari, A. I., Alabi, T. O. & Abdullahi, M. B. (2017). Development and validation of web-based courseware for junior secondary school basic technology students in Nigeria. *The Online Journal of New Horizons in Education*, 7(2), 23-89.

Awodun, A. O. Oyeniyi, A. D. (2020). Effects of instructional simulation on students' academic performance in basic science in junior secondary school in Ekiti State, Nigeria. *International Journal of Research and Analytical Reviews*, 2(3), 67 -79.

Bamidele E. F. & Yoade F. B. (2017). Effects of modes of computer animation instructional packages on students' achievement in Osun State secondary schools' biology. Effect of animation teaching strategy on secondary school. *Universal Journal of Educational Research*, 4(2), 56 - 79.

Bandura, A. (2004). Self-evaluative and self- efficacy mechanisms governing the motivational effects of goal systems. *Journal of Personality and Social Psychology*, 45, 1017-1028.

Bawa, S., Nzegwu-Ossayogi, L.O., & Koroka, M.U.S. (2020). Effects of video based instructional package on achievement of secondary school biology students in Suleja, Niger State, Nigeria. *Journal of Information, Education, Science and Technology*, 6(3), 214-219.

Davies, W. (2018). What is edutainment and why is it important? Retrieved from www.humorcials.com/edutainment-defined.

Eze., T. I., Magnus G. E. & Jacinta, I. O. (2020). Effect of Edutainment Instructional Approach on Students' Academic Achievement and Retention in Building Technology in Technical Colleges. *International Research in Higher Education*, 5(1), 26-78.

Fatin A. & Mohamed Y. (2019). Design of English conversation edutainment game for japanese university students. *The Asian Conference on Education 2019 Official Conference Proceedings*, 2(1), 56-99.

Jamie, A. (2018). *Benefit of edutainment: in Learning*. Norway: ETC Publishers.

Joan, K. & Borup, K. (2020). Making your screen come alive: National geographic Publisher.

Kamo, C. & Ekaterina, Z. (2020). Edutainment as contribution to future education of foreign languages in higher schools. *International E-Journal of Advances in Education*, 6 (16), 89-97.

Misbah, J. (2018). *Edutainment: A new face of education: in Technology*. Hungary: Mind Speak Publishers.

Nkok, D. (2020). Effect of computer simulation on students' achievement and retention in sexual reproduction in plants in Niger State, Nigeria. *International Journal of Research*, 3(2), 124 - 142.

Pratiwi, K. S., Achmad, F., Roosganda, E., Otto, F. & Haiyan, A. (2019). The influence of edutainment method on student literation ability. *Information Technology and Others*, 3(1), 45-89.

Stephen, G. H. & Christoph, H. (2020). Educational assessment evaluation and accountability covid 19 and schooling: evaluation assessment and accountability in times of crises. *American Academy of Pediatrics Technical Report*.

Taylor, F. (2020). Implication for educational practice of the science of learning and development. *Applied Development Science*, 24 (2), 97-140.

IMPROVEMENT OF INDOOR AIR QUALITY THROUGH INTEGRATED LANDSCAPE DESIGN FOR A SUSTAINABLE HOSTEL ACCOMODATION IN UNIVERSITY OF ABUJA

Haruna Baba Danjuma[1]
[1]Federal University of Technology, Minna, School of Architectural Technology, Department of Architecture, Niger State, Nigeria.
[1]ORCID ID: https://orcid.org/0009-0009-3112-9097
J.O. Onuwe[2]
[2]Federal University of Technology, Minna, School of Architectural Technology, Department of Architecture, Niger State, Nigeria.
[2]ORCID ID: https://orcid.org/0009-0002-3529-825X

ABSTRACT

Indoor air quality (IAQ) significantly influences students' health, comfort, and productivity within hostel environments. In many Nigerian university hostels, overcrowding, poor ventilation, and inefficient spatial layouts contribute to unhealthy indoor conditions and increased pollutant exposure. This study investigates the influence of hostel design layouts on IAQ, with emphasis on integrated landscape and passive design strategies. The research employed a qualitative approach through the review of selected case studies: Tietgen Student Hall (Denmark), Green Hostel Village (Hong Kong), Brock Commons Tallwood House (Canada), and Student Housing Regensburg (Germany). The analysis considered variables such as spatial configuration, ventilation pathways, building orientation, and landscape integration to evaluate their effects on airflow, thermal comfort, and pollutant control. Findings show that courtyard-based layouts, spatial openness, and integrated green spaces enhance natural ventilation and indoor environmental quality. Conversely, compact hostel forms depend more heavily on mechanical systems due to limited passive airflow. The study concludes that hostel layout plays a crucial role in IAQ performance and recommends climate-responsive planning strategies, including courtyard integration and cross-ventilation, for sustainable hostel development at the University of Abuja and similar tropical regions.

Keywords: Hostel Design Layout, Indoor Air Quality, Integrated Landscape Design, Passive Ventilation, Sustainable Design, University Hostel.

INTRODUCTION

1.0 Background to the Study

Indoor air quality (IAQ) is a major component of indoor environmental quality that affects occupants' health, comfort, and productivity (Shoukry *et al*., 2024). In university hostels, where students spend long periods indoors, poor air quality can negatively influence health, cognitive performance, and academic productivity (Dimitroulopoulou *et al*., 2025). High levels of pollutants such as carbon dioxide (CO_2), particulate matter ($PM_{2.5}$), and volatile organic compounds (VOCs) have been associated with respiratory discomfort and reduced learning

efficiency (Gomes *et al*., 2025). Conventional IAQ improvement methods mainly depend on mechanical ventilation and HVAC systems. However, these approaches are often energy-intensive and may not provide sustainable long-term solutions. Consequently, attention has shifted toward passive and nature-based approaches, including biophilic and landscape-integrated design strategies that improve environmental performance and occupant well-being (Asojo *et al*., 2025). Features such as vegetation, courtyards, and vertical greenery have shown potential for enhancing air filtration, regulating microclimates, and supporting natural ventilation (Kaushik & Siddiqui, 2025).

Despite these developments, the application of such strategies in Nigerian university hostels remains limited. Many hostels experience inadequate ventilation, overcrowding, and inefficient spatial layouts, resulting in poor IAQ and increased health risks for occupants (Ibrahim *et al*., 2025). These conditions are further worsened in tropical climates due to high temperatures and humidity levels. Against this background, hostel layout and spatial configuration have emerged as important factors influencing indoor air quality. Building orientation, ventilation pathways, and the integration of green spaces directly affect airflow and pollutant dispersion within hostel environments. This study examines the influence of hostel design layouts on indoor air quality, with emphasis on how integrated landscape strategies can improve natural ventilation and environmental conditions in student housing. The study contributes to sustainable and climate-responsive hostel design by promoting healthier and more environmentally efficient student accommodations within Nigerian universities.

2. LITERATURE REVIEW

Reviewed conference proceedings and indexed studies increasingly highlight the link between architectural design, indoor air quality (IAQ), and occupants' well-being in student housing environments. Existing literature shows that hostel layout, ventilation systems, and landscape integration strongly affect indoor environmental quality, especially in tropical climates such as Abuja. Proceedings from the Asian Conference on Indoor Environmental Quality (ACIEQ) emphasized the importance of sustainable ventilation strategies and climate-responsive building design in improving IAQ within institutional buildings (Sharma, Goyal and Mittal, 2020). The study noted that passive ventilation and environmentally integrated planning are more sustainable alternatives to energy-intensive mechanical systems.

Similarly, Orola (2020) found that hostel spatial configuration significantly influences indoor pollutant levels, airflow efficiency, and occupants' health in warm humid Nigerian climates. Variables such as occupancy density, corridor arrangement, and window-to-wall ratios were

identified as major factors affecting IAQ. Poorly ventilated spaces were also linked to respiratory discomfort and reduced environmental satisfaction. Studies on hostel design in Nigerian universities further confirm the role of spatial planning in indoor environmental performance. Akande, Lembi and Momoh (2021) reported that overcrowding and poor ventilation design negatively affected thermal comfort in student hostels at the Federal University of Technology, Minna. The authors recommended climate-responsive layouts that support natural ventilation.

Likewise, Ezeokoli *et al*. (2020) observed that poor IAQ in private hostels in Ifite-Awka, Nigeria, resulted mainly from inadequate ventilation and poor building orientation. The study stressed the need to integrate environmental quality considerations into architectural design processes. Similarly, Nduka et al. (2021) linked poor ventilation in student hostels to symptoms associated with sick building syndrome, including headaches and respiratory discomfort, emphasizing the need for environmentally responsive hostel planning. Existing literature has also focused on naturally ventilated and sustainable hostel environments. Uzuegbunam *et al*. (2024) established that building orientation, window placement, and ventilation pathways significantly influence thermal comfort and perceived air quality in tropical student hostels. In the same vein, proceedings from the 18th International Conference on Indoor Air Quality and Climate showed that passive ventilation strategies and spatially informed design can improve IAQ through airflow optimization (Conzatti and Kuchai, 2024).

Overall, the reviewed studies indicate that building orientation, ventilation pathways, spatial configuration, and passive environmental strategies are critical determinants of IAQ and occupants' comfort. However, limited research has specifically examined the role of integrated landscape design and hostel layouts in improving IAQ within Nigerian university hostels. This gap provides the basis for the present study on sustainable hostel accommodation at the University of Abuja.

3. RESEARCH METHODOLOGY

3.1 Research Design

A case study research design was employed to facilitate a detailed and context-specific analysis of hostel buildings and comparable residential environments. Case study research allows for the investigation of complex real-life phenomena within their physical and environmental context, making it appropriate for examining the interaction between building layout and IAQ (Yin, 2018). This approach also supports design-based inquiry by enabling the integration of spatial analysis with environmental interpretation (Groat & Wang, 2013).This study adopts a

qualitative research approach based on the examination of selected case studies to investigate the influence of hostel design layouts on indoor air quality (IAQ). Qualitative methods are particularly suitable for exploring relationships between spatial configuration and environmental performance, as they enable in-depth interpretation of contextual and design-related variables (Creswell, 2014). In architectural and environmental design research, such approaches are widely used to understand how built form influences occupant experience and environmental conditions (Groat & Wang, 2013).

3.2 SELECTION OF CASE STUDIES

A purposive sampling strategy was adopted to select relevant case studies that align with the research aim. Purposive sampling is effective in qualitative research where cases are chosen based on their relevance to the research problem rather than random selection (Patton, 2015). The selection criteria included: Student hostels or high-density residential buildings, Locations within tropical or comparable climatic conditions, Availability of architectural layout documentation, & Evidence of IAQ challenges or improvements. This strategy ensures that the selected cases provide meaningful insights into the relationship between design layout and indoor air quality.

3.3 DATA COLLECTION METHODS

Data were obtained primarily from secondary sources, including architectural drawings, published case studies, journal articles, and institutional reports. The use of secondary data is common in qualitative architectural research, particularly where direct field measurements are not feasible (Johnston, 2017). These sources provided detailed information on spatial organization, ventilation strategies, occupancy patterns, and the integration of landscape elements within building layouts.

3.4 ANALYTICAL FRAMEWORK

The study employed a thematic and spatial analysis framework to evaluate the selected case studies. Thematic analysis enables the identification of recurring patterns and relationships within qualitative data (Braun & Clarke, 2006), while spatial analysis allows for the interpretation of architectural configurations and their environmental implications. Key variables examined include building orientation, room arrangement, window placement, ventilation pathways, and the incorporation of courtyards or green spaces. These factors are widely recognized as critical determinants of natural ventilation and indoor environmental quality (Szokolay, 2014).

3.5 DATA ANALYSIS

A qualitative content analysis technique was used to interpret the collected data and establish relationships between hostel design layouts and IAQ outcomes. Content analysis provides a systematic approach for analyzing textual and visual data, enabling the extraction of meaningful design insights (Krippendorff, 2018). Cross-case comparison was subsequently conducted to identify similarities and differences among the case studies, thereby strengthening the analytical depth and generalizability of the findings (Yin, 2018).

3.6 VALIDITY AND LIMITATIONS

To enhance the credibility of the study, multiple case studies were analyzed to allow for triangulation of findings, which improves the reliability of qualitative research outcomes (Patton, 2015). Nevertheless, the study is limited by its reliance on secondary data and the absence of direct quantitative IAQ measurements. Despite this limitation, the qualitative approach provides valuable insights into the role of architectural design in shaping indoor air conditions and offers a conceptual basis for integrating IAQ considerations into hostel design.

4. RESULTS AND DISCUSSION

4.1 Case Study Analysis Framework and Findings

The case study analysis investigated how hostel design layouts affect indoor air quality (IAQ) within student housing. Architectural and environmental variables from literature on sustainable hostel design and indoor environmental quality were used to assess the selected case studies. The evaluation focused on spatial configuration, ventilation performance, landscape integration, and passive environmental strategies. Variables examined included building form, room arrangement, corridor type, ventilation pathways, window operability, building orientation, and façade permeability because of their influence on airflow and thermal regulation. Landscape features such as courtyards, vegetation, and green buffers were also analyzed due to their contribution to air filtration, passive cooling, and microclimate improvement. IAQ performance was assessed through indicators including airflow efficiency, thermal comfort, pollutant dilution, and air stagnation potential.

Tietgen Student Hall in Denmark demonstrated strong passive ventilation through its circular courtyard layout, which enhanced airflow and cross-ventilation. Likewise, the Green Hostel Village in Hong Kong showed that clustered blocks and integrated green spaces improve natural ventilation and reduce indoor heat buildup. In contrast, Brock Commons Tallwood House in Canada relied heavily on mechanical ventilation because its compact high-rise configuration restricted passive airflow. Student Housing Regensburg in Germany achieved

balanced environmental performance through linear block planning, semi-open courtyards, and wind-responsive orientation.

Overall, the findings indicate that courtyard-based layouts, spatial openness, and integrated landscape features provide better passive IAQ performance than compact and mechanically dependent configurations. Effective cross-ventilation systems and green spaces improve airflow, thermal comfort, and pollutant control, offering valuable design insights for the proposed University of Abuja hostel. The table 1 below shows the comparatıve results of the examined case studies.

Figure 1: *Tietgen Student Hall*
Source: *Author's work (2026)*

Figure 2: Tietgen Student Hall
Source: *Author's work (2026)*

Figure 3: *Green Hostel Village*

Source: *Authors's work (2026)*

Figure 4: *Green Hostel Village*

Source: *Authors's work (2026)*

Figure 5: *Brock Commons Tallwood House House*

Source: *Authors's work (2026)*

Figure 6: *Brock Commons Tallwood House*

Source: *Authors's work (2026)*

Figure 7: *Regensburg Housing*

Source: *Authors's work (2026)*

Figure 8: *Regensburg Housing*

Source: *Authors's work (2026)*

Table 1: Comparative Case Study Analysis of Hostel Design Layouts and Indoor Air Quality Performance

SN	Parameter	Tietgen Hall	Green Hostel Village	Brock Commons	Regensburg Housing
1.	Building Form	Circular courtyard	Clustered/open	High-rise tower	Linear blocks
2.	Cross Ventilation	High	Very High	Low	Moderate–High
3.	Ventilation Pathways	Radial + central	Open + distributed	Limited	Linear + courtyard
4.	Landscape Integration	Central courtyard	Extensive greenery	Minimal	Moderate
5.	Airflow Efficiency	High	Very High	Low	Moderate–High
6.	Pollutant Dilution	High	Very High	Moderate	High
7.	Thermal Comfort	High	Very High	Moderate	High
8.	IAQ Dependence	Passive	Passive	Mechanical	Passive

Source: *Author's Work (2026)*

4.2 DISCUSSION OF FINDINGS

The comparative analysis reveals a strong relationship between hostel design layout and indoor air quality outcomes, thereby directly supporting the aim of this study;

Firstly, courtyard-based and porous layouts (as seen in Tietgen Hall and Green Hostel Village) demonstrate the highest IAQ performance. These configurations promote continuous airflow, enhance cross-ventilation, and create pressure differentials that facilitate pollutant removal. The presence of internal voids and open spaces significantly reduces the likelihood of stagnant air zones.

Secondly, landscape integration emerges as a critical enhancer of IAQ. In the Green Hostel Village, vegetation not only contributes to air filtration but also modifies microclimatic conditions, thereby improving thermal comfort and supporting natural ventilation processes. This confirms that landscape elements are not merely aesthetic but function as active environmental regulators.

In contrast, compact and vertically stacked layouts, such as Brock Commons, exhibit limited natural ventilation potential. While mechanical systems compensate for airflow deficiencies, such dependence raises concerns regarding sustainability, energy consumption, and resilience in the event of system failure. This highlights a key limitation of high-rise hostel typologies in achieving passive IAQ optimization.

Furthermore, the Regensburg case demonstrates that moderate-density layouts with proper orientation and courtyard integration can achieve balanced IAQ performance. This suggests that optimal IAQ does not necessarily require complex forms but rather strategic spatial planning and environmental responsiveness.

Overall, the findings indicate that:

Spatial openness and permeability are fundamental to effective IAQ

Cross-ventilation pathways significantly enhance pollutant dilution

Landscape integration strengthens passive environmental performance

Building height and compactness negatively affect natural airflow

Table 2: Observed influences on IAQ from observed design variable

SN	Design Variable	Most Effective Case Study	Observed Influence on IAQ
1.	Courtyard-Based Spatial Configuration	Tietgen Student Hall	Improved airflow circulation and pollutant dilution
2.	Landscape Integration	Green Hostel Village	Enhanced microclimate regulation and air filtration
3.	Natural Ventilation Efficiency	Green Hostel Village / Tietgen Hall	Increased cross-ventilation and reduced indoor heat accumulation
4.	Wind-Oriented Building Layout	Student Housing Regensburg	Enhanced passive airflow and thermal comfort
5.	Mechanical Ventilation Dependence	Brock Commons Tallwood House	Reduced passive IAQ performance and increased energy reliance
6.	Spatial Openness & Permeability	Tietgen Hall / Green Hostel Village	Reduced air stagnation and improved environmental comfort

Source: *Author's Work (2026)*

4.3 INTERPRETATION OF RESULTS

The comparative analysis indicates that hostel layouts characterized by courtyard integration, spatial permeability, and landscape-oriented planning demonstrate superior indoor air quality performance compared to compact and mechanically dependent building configurations. The Tietgen Student Hall and Green Hostel Village exhibited the strongest passive ventilation performance due to their open spatial arrangements, effective airflow pathways, and integrated landscape systems. Conversely, Brock Commons Tallwood House showed limited passive IAQ performance because of its compact vertical form and dependence on mechanical ventilation systems.

The findings further suggest that building orientation, courtyard integration, and vegetation placement significantly influence airflow efficiency, pollutant dilution, and thermal comfort within hostel environments. Consequently, the incorporation of passive environmental strategies and landscape-integrated planning is essential for improving indoor air quality in sustainable student hostel developments, particularly within tropical climatic regions such as Abuja, Nigeria.

4.4 IMPLICATION FOR DESIGN

From these findings, it becomes evident that improving IAQ in the proposed University of Abuja hostel should prioritize: Courtyard-based or cluster layouts, Strong indoor–outdoor spatial connections, Integration of vegetation and green buffers & Orientation-driven ventilation strategies

5 CONCLUSION

This study examined how hostel design layouts influence indoor air quality (IAQ) through a qualitative review of selected student housing case studies. The findings indicate that spatial configuration, ventilation design, building orientation, and landscape integration significantly affect airflow, thermal comfort, and pollutant dispersion within hostel environments.The analysis showed that courtyard-based and landscape-integrated layouts, as observed in Tietgen Student Hall and Green Hostel Village, achieved better passive ventilation and indoor environmental performance. Conversely, compact high-rise layouts such as Brock Commons Tallwood House depended heavily on mechanical ventilation due to limited natural airflow. Student Housing Regensburg further demonstrated that proper orientation and semi-open courtyards can enhance wind-driven ventilation and indoor comfort.

Overall, the study confirms that hostel layout is a major determinant of IAQ performance. Features such as open spatial planning, cross-ventilation pathways, and integrated green spaces improve airflow efficiency and reduce indoor pollutant buildup. For the proposed University of Abuja hostel, the adoption of courtyard planning, passive ventilation strategies, and landscape integration is essential for achieving healthier and more sustainable indoor environments within a tropical climate.

RECOMMENDATİONS

Based on the findings, the study recommends the following:

i. Hostel designs should incorporate courtyard-based and open layouts to improve natural ventilation.
ii. Landscape features such as vegetation and green buffers should be integrated to enhance air quality and thermal comfort.
iii. Buildings should be oriented according to prevailing wind directions to maximize airflow.
iv. Hostel layouts should include effective ventilation pathways through operable windows and permeable façades.

v. Passive environmental strategies should be prioritized to reduce dependence on mechanical ventilation systems.

vi. Universities and design professionals should develop IAQ-focused guidelines for sustainable hostel design in tropical regions.

ACKNOWLEDGMENTS

The corresponding author expresses profound gratitude to God Almighty for His grace, strength, and guidance throughout the course of this research work. Special appreciation is extended to the supervisor of this work in person of Dr. Onuwe, of the Department of Architecture, School of Architectural Technology, Federal University of Technology, Minna - for his valuable guidance, constructive criticisms, and professional support during the development of this conference paper. The contributions of all scholars and researchers whose published works provided the theoretical and empirical foundation for this study are duly acknowledged. Finally, the author gratefully acknowledges the organizers of the Beykoz Conference for creating an enabling platform for academic discourse and knowledge sharing. Their efforts towards advancing research and innovation are deeply appreciated.

REFERENCE

Akande, O.K., Lembi, J.J. and Momoh, M.S. (2021) 'Evaluation of thermal comfort in the design of student hostel at Federal University of Technology Minna, Nigeria', *Journal of Construction Research,* 3(2), pp. 1–10. Available at: https://doi.org/10.30564/jcr.v3i2.4137

Asojo, A. and Hazazi, F. (2025) 'Biophilic design strategies and indoor environmental quality: A case study', Sustainability, 17(5), p. 1816. Available at: https://doi.org/10.3390/su17051816 (Accessed: 24 May 2026).

Braun, V. and Clarke, V. (2006) 'Using thematic analysis in psychology', *Qualitative Research in Psychology,* 3(2), pp. 77–101. Available at: https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa (Accessed: 24 May 2026).

Conzatti, A. and Kuchai, N. (2024) 'Simple tool for informing shelter design on natural ventilation and indoor air quality: A preliminary study', in *18th Conference of the International Society of Indoor Air Quality and Climate (INDOOR AIR 2024) Conference Proceedings*. Honolulu, USA: International Society of Indoor Air Quality and Climate.

Creswell, J.W. (2014) *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches*. 4th edn. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

Dimitroulopoulou, S., Fan, X., Jacobs, P., Maula, H., Staszowska, A. and Toyinbo, O. (2025) 'Towards equitable and sustainable indoor air quality guidelines: A perspective on mandating indoor air quality for public buildings', Indoor Environments, 2(1), Article 100070. Available at: https://doi.org/10.1016/j.indenv.2024.100070 (Accessed: 24 May 2026).

Ezeokoli, F.O., Omenyi, C.A., Bert-Okonkwo, C.B.N. and Iheama, N.B. (2020) 'The perception of the indoor environment quality (IEQ) of private hostels in Ifite-Awka, Nigeria', *Journal of Energy Research and Reviews*, 5(3), pp. 61–70. Available at: https://doi.org/10.9734/JENRR/2020/v5i330150

Gomes, M.I., Barreiros, A.M., Pinto, I. and Rodrigues, A. (2025) 'Improving indoor air quality in a higher-education institution through biophilic solutions', Sustainability, 17(11), p. 5041. Available at: https://doi.org/10.3390/su17115041 (Accessed: 24 May 2026).

Groat, L. and Wang, D. (2013) *Architectural research methods*. 2nd edn. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

Ibrahim, E.C., Afen, I.J., Ayeni, O., Omuh, I.O. and Ojelabi, R.A. (2025) 'Assessment of indoor air quality and perceived health risks: A case study of students' hostels in Southwestern Nigeria', Universal Journal of Public Health, 13(3), pp. 529–541. Available at: https://doi.org/10.13189/ujph.2025.130301 (Accessed: 24 May 2026).

Johnston, M.P. (2017) 'Secondary data analysis: A method of which the time has come', *Qualitative and Quantitative Methods in Libraries*, 3(3), pp. 619–626. Available at: http://www.qqml.net/index.php/qqml/article/view/169 (Accessed: 24 May 2026).

Kaushik, A.S. and Siddiqui, S.S. (2025) 'Designing for indoor air quality: Using plants and eco-friendly materials', International Journal of Sustainability, 2(2), pp. 13–20.

Krippendorff, K. (2018) *Content analysis: An introduction to its methodology.* 4th edn. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

Nduka, D.O., Oyeyemi, K.D., Olofinnade, O.M., Ede, A.N. and Worgwu, C. (2021) 'Relationship between indoor environmental quality and sick building syndrome: A case study of selected student hostels in Southwestern Nigeria', *Cogent Social Sciences*, 7(1), pp. 1–18. Available at: https://doi.org/10.1080/23311886.2021.1980280

Orola, B.A. (2020) 'Seasonal variations in indoor air quality parameters and occupants' self-reported physical health within a warm humid climatic environment', *Sustainable Buildings*, 5(2), pp. 1–30. Available at: https://doi.org/10.1051/sbuild/2020001

Patton, M.Q. (2015) *Qualitative research and evaluation methods*. 4th edn. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

Sharma, A., Goyal, R. and Mittal, R. (eds.) (2020) *Indoor environmental quality: Select proceedings of the 1st Asian Conference on Indoor Environmental Quality (ACIEQ).* Singapore: Springer.

Shoukry, F., Raafat, R., Tarabieh, K. and Goubran, S. (2024) 'Indoor air quality and ventilation energy in university classrooms: Simplified model to predict trade-offs and synergies', Sustainability, 16(7), p. 2719. Available at: https://doi.org/10.3390/su16072719

Szokolay, S.V. (2014) *Introduction to architectural science: The basis of sustainable design*. 3rd edn. London: Routledge. Available at: https://doi.org/10.4324/9780080999859 the University of Bath's research portal

Uzuegbunam, F.O., Uzuegbunam, T.D., Isiofia, L.A. and Ibem, E.O. (2024) 'Thermal comfort in naturally-ventilated student hostels in hot-humid tropical environment of Enugu, Southeast Nigeria', *International Journal of Research and Innovation in Applied Science*, 9(6), pp. 42–60. Available at: https://doi.org/10.51584/IJRIAS.2024.906005

Yin, R.K. (2018) *Case study research and applications: Design and methods*. 6th edn. Thousand Oaks, CA: Sage Publications.

AN EVALUATION OF BUILDING MATERIALS USED IN IDP CAMP CONSTRUCTION: A CASE STUDY OF SELECTED CAMPS IN ABUJA, NIGERIA

Moses Tsamya[1]
[1]Federal University of Technology, Minna, Nigeria.
[1]ORCID ID: 0009-0009-3234-7790
J.O. Onuwe[2]
[2]Federal University of Technology, Minna, Nigeria.
[2]ORCID ID: 0009-0002-3529-825X

ABSTRACT

The increasing number of internally displaced persons (IDPs) in Nigeria has intensified the demand for adequate emergency shelter systems, particularly within Abuja where several IDP camps continue to accommodate displaced populations. Building materials play a critical role in determining the durability, thermal comfort, affordability, and sustainability of shelters provided in these camps. However, many existing IDP shelters are constructed using temporary and low-performance materials that often deteriorate rapidly and fail to respond effectively to local climatic conditions. This study aims to evaluate the building materials used for construction in internally displaced persons camps in Abuja, Nigeria, with a view to determining their suitability, performance, and sustainability. The study adopted a qualitative research approach involving literature review, field observations, and case study analysis of selected IDP camps within Abuja. Findings reveal that materials commonly used in IDP shelters include corrugated metal sheets, tarpaulin, timber, plywood, and salvaged materials, largely due to their affordability and ease of assembly. However, these materials were found to exhibit poor thermal performance, low durability, limited privacy, and high susceptibility to weather-related deterioration. The study highlights the need for the integration of sustainable materials in the design and construction of IDP shelters in Nigeria. The findings suggest that locally available materials such as compressed earth blocks and bamboo can be used as viable option in improving shelter condition for displaced populations.

Keywords: Building Materials, Emergency Shelter, Internally Displaced Persons (IDPs), Low-performance, Nigeria, Sustainability.

1. INTRODUCTION

The global issue of Internally Displaced Persons (IDPs) has reached unprecedented proportions, with 83.4 million IDPs at the end of 2024 globally, of which 73.5 million were displaced by conflict and violence and 9.8 million by disasters. (IDMC, 2025). Among the most affected regions is Sub-Saharan Africa, which hosts 46% of the world's IDPs with Nigeria remaining one of the countries with a high number of IDPs, largely due to insurgency in the North-East, farmer herder conflicts, and recurrent flooding in some states (IDMC, 2025). These

displacement patterns have led to the establishment of formal and informal IDP settlements across the country, including within the Federal Capital Territory, Abuja.

Shelter is among the most fundamental humanitarian needs. The physical quality of shelter directly influences health outcomes, thermal comfort, safety, psychological well-being, and the dignity of displaced persons (Sphere Association, 2018). In Abuja's IDP camps, however, shelter quality is widely documented as critically deficient. Field assessments and studies such as Askederin, et'al. (2021) and Mohammad and Abdulhamid (2021) consistently describe conditions characterised by overcrowding, structural fragility, exposure to extreme heat and rain, and the use of materials ill-suited to the climatic condition of Abuja.

Building materials play a critical role in determining the structural stability, environmental performance, affordability, and livability of shelter environments In tropical climates such as Abuja, where high temperatures and seasonal rainfall prevail, the selection of appropriate construction materials becomes essential in ensuring occupant comfort, resilience, and sustainability. Nevertheless, many IDP camp structures in Nigeria are characterized by poor material quality, rapid deterioration, overheating, inadequate insulation, and limited adaptability to local environmental conditions. These challenges negatively affect the health, safety, and overall well-being of displaced populations who already experience social and economic vulnerability (Ekhaese *et al.,* .2024)

This study therefore seeks to assess the building materials used for construction in Internally Displaced Persons camps in Abuja, Nigeria, with the aim of identifying their performance characteristics, limitations, and suitability for sustainable humanitarian shelter development. The study contributes to ongoing discussions on climate-responsive architecture by providing insights that may inform future policies, design strategies, and material selection for IDP housing in Nigeria and similar tropical contexts by presenting findings from assessment of building materials used in selected IDP camps in Abuja, evaluating their performance against criteria of durability, thermal comfort, affordability, and sustainability.

2. LITERATURE REVIEW

2.1 Internally Displaced Persons (IDPs) in Abuja

Internally Displaced Persons (IDPs) are persons or groups of persons who have been forced or obliged to flee or to leave their homes or places of habitual residence, in particular as a result of or in order to avoid the effects of armed conflict, situations of generalized violence, violations of human rights or natural or human-made disasters, and who have not crossed an internationally recognized state border (UNHCR 2025). Nigeria has experienced a significant

increase in internal displacement over the past decade, particularly as a result of insurgency and communal conflicts in the North-East region (IDMC, 2025). According to IDMC (2025) report, conflict and disasters triggered new and repeated displacement in Nigeria in 2024 and prolonged the plight of people already displaced. The country was home to 3.7 million IDPs as of the end of the year, among the highest figures in sub-Saharan Africa.

Aduke (2025) highlights that Abuja serves as a host location for several IDP settlements due to its perceived security and administrative importance. Although Abuja is not a primary epicenter of armed conflict, its status as the Federal Capital Territory makes it a destination for many internally displaced persons seeking safety, services, and economic opportunities. As the political and administrative capital of Nigeria, Abuja attracts displaced individuals seeking both security and livelihood prospects. Within the city, there are multiple IDP camps some officially run by government bodies like the National Emergency Management Agency (NEMA), and others that have grown spontaneously as informal settlements. NEMA (2024) reports that registered IDPs across Abuja's camps exceed 15,000, although unofficial figures indicate that the true population is much larger once unregistered persons residing in makeshift settlements are included.

The majority of displaced individuals in Abuja come from states plagued by conflict, such as Borno, Adamawa, Yobe, Plateau, Benue, and Taraba. Although the Federal Capital Territory provides greater safety relative to these home regions, the living circumstances inside IDP camps introduce distinct hardships that especially impact children who are the most vulnerable group within this displaced community (Aduke, 2025).

2.2 Shelter Provision in IDP Camps

Shelter provision remains one of the most critical aspects of humanitarian response in Internally Displaced Persons (IDP) camps, as it directly influences the safety, health, privacy, and overall well-being of displaced populations. (Sphere Association, 2018). According to the UNHCR (2026), shelter provides protection from climatic conditions, enhances safety and security, preserves human dignity, and supports the physical and psychological well-being of affected persons. Similarly, the Sphere Association (2018) emphasizes that adequate shelter is essential for ensuring a life with dignity, protecting individuals from health and environmental risks, and enabling access to other basic services. In Internally Displaced Persons (IDP) camps, effective shelter provision contributes to improved living conditions, social stability, and the overall resilience and recovery of displaced communities (UNHCR, 2026).

In Abuja, the Federal Capital Territory of Nigeria, several informal IDP camps have emerged in response to the increasing displacement caused by insurgency, communal conflicts, and other forms of insecurity in different parts of the country. These camps provide temporary accommodation for displaced persons (Aduke, 2025). However, the adequacy and quality of shelter provision continue to pose significant challenges. Many shelters within the camps are constructed using temporary and low-cost materials such as tarpaulin sheets, timber, plywood, corrugated metal roofing sheets, and salvaged construction components. While these materials provide immediate housing solutions, they often fail to meet acceptable standards of durability, thermal comfort, and environmental suitability (Askederin, et'al., 2021)

Humanitarian housing in Nigeria indicate that overcrowding, inadequate infrastructure, poor ventilation, and deteriorating shelter conditions are common challenges within many IDP camps (Magaji, 2024). According to Bitiyong, et'al. (2019), the rapid establishment of camps and limited financial resources frequently result in the construction of shelters without adequate consideration for climatic conditions, occupant comfort, or long-term sustainability. In Abuja, which experiences a tropical savannah climate characterized by high temperatures and seasonal rainfall, many shelter structures are vulnerable to overheating, moisture penetration, and material degradation. These conditions often reduce the lifespan of shelters and negatively affect the living conditions of camp residents (Askederin et'al., 2021). Ekhaese (2024) show that shelter conditions significantly influence the physical and psychological well-being of displaced populations. Therefore, the selection of appropriate building materials is an important factor in enhancing the performance, resilience, and sustainability of IDP housing.

2.3 Humanitarian Shelter Requirements

Humanitarian shelter requirements are the minimum conditions that shelters must meet to ensure the safety, health, protection, and dignity of people affected by disasters, conflicts, or displacement. Humanitarian shelters should provide adequate protection from environmental conditions such as rain, wind, heat, and cold, while ensuring privacy, security, and sufficient living space for occupants. Shelters should be designed to support the physical and psychological well-being of displaced persons and should be culturally appropriate, environmentally sustainable, and adaptable to local conditions (UNHCR, 2026).

Similarly, the Sphere Association (2018) identifies several key requirements for humanitarian shelters. These include adequate covered living space, protection from climatic hazards, proper ventilation and lighting, structural safety and durability, privacy for households, and accessibility for vulnerable groups such as women, children, older persons, and people with

disabilities. Sphere also stresses that shelters should be located in safe areas with access to essential services such as water supply, sanitation facilities, healthcare, education, and livelihood opportunities. Furthermore, shelter settlements should be planned to reduce overcrowding, minimize health risks, and enhance community cohesion and protection. The standards recognize shelter as a critical component of humanitarian response because it contributes not only to survival but also to human dignity, social stability, and recovery from displacement and disaster (Sphere Association, 2018).

In humanitarian settings such as Internally Displaced Persons (IDP) camps, these requirements are particularly important because they help create a safe living environment, reduce exposure to disease and environmental hazards, protect vulnerable populations from violence and exploitation, and support the overall resilience and well-being of displaced communities (UNHCR, 2026)

3. RESEARCH METHODOLOGY

This study employs a qualitative research methodology. The qualitative approach was selected for its capacity to capture the contextual depth and complexity of material performance within a specific socio-environmental setting. It allows for an in-depth understanding of existing shelter conditions, material usage, and user experiences within selected Internally Displaced Persons (IDP) camps in Abuja.

3.1 Selection of Case Studies

The study utilised purposive sampling to select three IDP camps within the Federal Capital Territory (FCT), Abuja. Selected IDP camps within Abuja were chosen based on criteria including population size, accessibility and duration of establishment. The selected camps were considered representative of the range of shelter conditions and construction practices found within IDP settlements in the Federal Capital. They provide an opportunity to assess the range of materials currently employed in shelter construction. The selected sites are shown in table 1 below:

Table 1: Selected IDP Camps

S/N	IDP Camp Name	Estimated Population	Year Established
1	Wassa IDP Camp	Over 5000	2014
2	Durunmi IDP Camp	Over 3000	2014
3	New Kuchingoro IDP Camp	Over 1500	2014

3.2 Data Collection

Data for this study are collected using both primary and secondary sources. Primary data were obtained through direct field observations, photographic documentation, and visual assessments of shelter structures within the selected camps. Observations focused on identifying the types of building materials used for walls, roofs, floors, doors, and other structural components, as well as assessing their physical condition and performance characteristics.Secondary data were obtained from relevant literature, humanitarian shelter reports, and previous studies relating to IDP housing and building materials. The use of multiple data sources enabled data triangulation, thereby improving the credibility and validity of the findings.

3.3 Data Analysis

Data analysis used descriptive and comparative methods by categorizing field data according to building material types and assessing them based on five performance criteria derived from Sphere (2018) and sustainable construction literature (Kibert, 2016): thermal performance, structural durability, ease of deployment, and environmental sustainability. Comparisons across case studies were then carried out to identify patterns and evaluate material suitability for IDP shelter provision in Abuja.

4. FINDINGS AND DISCUSSION

4.1 Case Study Review

4.1.1 Wassa IDP Camp

Wassa IDP Camp is a resettlement camp located in the Located in the Apoori resettlement area near Apo Mechanic Village in the Abuja Municipal Area Council (AMAC) within the Federal Capital Territory (FCT), Abuja. It was unofficially established in 2014 to accommodate internally displaced persons affected by insurgency and communal conflicts in northern Nigeria. Wassa Camp is the largest IDP camp in Abuja, and accomodates over 5000 residents., largely women and children.

i. Facilities

The camp is dominated by dilapidated housing units and makeshift shelters. The make-shift shelters made with corrugated zinc sheets and tarpaulin. These structures are poorly equipped dilapidated toilets and schools. The camp lack good water supply even though it has five boreholes due to lack of electricity to pump water.

***Figure** Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**1**: Housing Unit in Wassa Camp*
***Figure** Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**2**: Dilapidated Toilet*
***Source**: Author's Work (2026)*

ii. Building Materials

The primary building materials includes tarpaulins, plastic sheeting, wooden poles, corrugated iron sheets, and woven sacks for walls and partitions in makeshift tents. For the few more formal structures built by NGOs and humanitarian organizations, more durable materials such as cement floors and block walls have been used, though these remain the exception rather than the norm.

***Figure** Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**3**: Dilapidated Housing unit*
***Source**: Author's Work (2026)*

4.1.2 Durunmi IDP Camp, Abuja

Durunmi IDP Camp is located within the Federal Capital Territory (FCT), Abuja, and serves as a temporary settlement for internally displaced persons displaced primarily by insurgency and communal conflicts in northeastern Nigeria. The camp is situated within the Phase II

district of Abuja Municipal Area Council (AMAC), close to Area 1 and Garki District. The camp accommodates households with varying family sizes with over 3,000 individuals. The settlement is a self-settled, spontaneous site rather than a government-planned camp established in 2014.

***Figure** Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**4**: Shelters made from Tarpaulin*
***Figure** Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**2**: Dilapidated Toilet*
***Source**: Author's Work (2026)*

i. Facilities

Infrastructure and services within the camp are basic and communal, comprising mainly temporary shelters which includes tents and wooden structures, alongside a small clinic, a temporary school, sanitation facilities, water supply, and vocational training spaces. These facilities were introduced progressively through humanitarian interventions.

***Figure** Hata! Belgede belirtilen stilde metne rastlanmadı.**3**: Settlements made of Zinc and Tarpaulin in Durunmi IDP Camp, Abuja.*
***Source**: Author's Work (2026)*

ii. Building Materials

The primary building materials used in Durunmi IDP Camp consist of temporary and semi permanent shelters constructed from materials such as: timber poles, tarpaulin sheets, corrugated zinc sheets, plywood, fabric coverings, and recycled building components.

4.1.3 New Kuchingoro IDP Camp

New Kuchingoro IDP Camp is located in the Kaura District of Abuja Municipal Area Council (AMAC). It is situated behind the National Stadium and adjacent to Games Village in Abuja making it one of the major displacement settlements located in Abuja. In 2014 the camp came into existence, it was not formally established by the government but rather emerged as an informal settlement when several people living in Borno and Adamawa States, North East Nigeria, fled the Boko Haram violence and relocated to different parts of Abuja. The camp accommodates over 1,500 residents.

Figure 4: Shelters made of Tarpaulin at Kuchingoro IDP Camp, Abuja.
Source: *Author's Work (2026)*

i. Facilities

The New Kuchingoro IDP Camp has a basic and largely informal infrastructure system characterized by temporary timber-framed shelters clad with corrugated zinc sheets and plastic materials. Essential services include borehole water supply, communal pit latrines, and a six-classroom school, while healthcare provision remains limited and relies primarily on periodic outreach programs by humanitarian organizations due to the absence of a permanent medical facility.

Figure 5: Shelters made of zinc at Kuchingoro IDP Camp, Abuja.
Source: *Author's Work (2026)*

ii. Building Materials

Building materials in New Kuchingoro follow the same profile as Durunmi. The shelters within New Kuchingoro IDP Camp are primarily constructed from timber, zinc roofing sheets, tarpaulin, plywood, and reused materials obtained from nearby urban areas.

4.2 Materials Currently in Use

4.2.1 Corrugated Zinc Sheets

Corrugated zinc sheets are among the most common materials used in IDP camps across Nigeria, particularly for roofing and wall cladding. Their popularity stems from their low cost, availability, and ease of installation.

i.Thermal Performance

Corrugated zinc sheets generally exhibit poor thermal performance in hot tropical climates. Due to their high thermal conductivity, zinc sheets rapidly absorb solar radiation during the day and transfer heat into interior spaces. This often results in elevated indoor temperatures, making shelters uncomfortable for occupants, especially during Abuja's long dry season when daytime temperatures ranges between 30°C - 35°C. During the rainy season, zinc roofing also contributes to excessive noise from rainfall, reducing indoor comfort.

ii. Structural Durability

Zinc sheets possess moderate to high durability when properly maintained. They are resistant to insect attack and biological degradation. However, prolonged exposure to moisture can lead to corrosion, particularly where protective coatings are damaged.

iii. Ease of Deployment

One of the greatest strengths of corrugated zinc sheets is their ease of deployment. The sheets are lightweight, easy to transport, and can be installed quickly using simple tools and minimal skilled labour.

iv. Environmental Sustainability

Metal roofing is recyclable and often has a long service life, reducing replacement frequency. However, its poor thermal performance increases reliance on passive cooling adaptations, reducing overall environmental efficiency.

4.2.2 Plastic Materials

Plastic materials used in IDP camps include tarpaulins, polyethylene sheets, plastic panels, recycled plastic boards, and plastic composite products. These materials are widely employed in s because of their portability and versatility.

i. Thermal Performance

The thermal performance of plastic materials varies considerably depending on type and thickness. Conventional tarpaulins and polyethylene sheets often provide limited insulation and may trap heat within enclosed spaces making shelters unbearably hot during dry season

ii. Structural Durability

Prolonged exposure to ultraviolet (UV) radiation from intense sunlight can cause brittleness, cracking, discoloration, and reduced structural integrity.

iii. Ease of Deployment

Plastic materials excel in rapid deployment scenarios. They are lightweight, easily transported, and require minimal labor for installation. Humanitarian agencies frequently utilize plastic sheeting because it allows shelters to be erected within hours of arrival.

iv. Environmental Sustainability

They are non-biodegradable. They contribute to plastic waste accumulation in and around camps, and degraded fragments create litter and potential health/sanitation hazards.

4.2.3 Sandcrete Blocks

Sandcrete blocks are the dominant walling material in Nigeria's formal construction sector and are increasingly used in semi-permanent and permanent IDP camp structures.

i. Thermal Performance

Sandcrete blocks offer relatively good thermal performance due to their thermal mass. The material absorbs heat during the day and releases it gradually, helping moderate indoor temperature fluctuations.

ii. Structural Durability

Among the materials evaluated, sandcrete blocks demonstrate the highest structural durability. Properly manufactured blocks can withstand significant loads, resist weathering, and provide long-term structural stability.

iii. Ease of Deployment

Sandcrete blocks score relatively low in ease of deployment. Construction requires skilled labour, mortar mixing, curing periods, and transportation of heavy materials. These requirements slow construction processes and make sandcrete less suitable for immediate emergency response situations.

iv. Environmental Sustainability

The environmental sustainability of sandcrete blocks is moderate to low. Cement production has a high carbon footprint but blocks are durable. Blocks are recyclable as rubble fill but rarely reused as units

4.2.4 Timber/Plywood

Timber and plywood are commonly used for framing systems, wall panels, flooring, partitions, and roofing support structures in temporary shelters.

i. Thermal Performance

Timber offers better insulation than zinc/plastic due to natural thermal resistance, moderating heat transfer reasonably well, though plywood performs worse if thin or untreated, with heat penetration during peak afternoon sun.

ii. Structural Durability

The durability of timber depends heavily on species selection, treatment methods, and maintenance practices. Untreated timber is vulnerable to termite attack, fungal decay, moisture damage, and weathering.

iii. Ease of Deployment

Timber and plywood perform exceptionally well in terms of deployment. Components can be transported easily, and assembled rapidly using basic tools.

iv. Environmental Sustainability

Timber is generally regarded as one of the most environmentally sustainable construction materials when sourced from responsibly managed forests. It is renewable, biodegradable, and possesses a lower embodied energy than steel or cement-based materials.

4.3 Summary of Performance Evaluation

The assessment reveals that materials currently dominating IDP shelter construction corrugated metal sheets, tarpaulin, untreated timber, plywood, and salvaged components perform poorly across thermal comfort, durability, and sustainability criteria, perpetuating inadequate living conditions for Nigeria's most vulnerable populations.

Corrugated zinc sheets, the dominant material exhibit poor thermal performance posing direct health risks, particularly for elderly occupants, children, and those with pre-existing conditions. Tarpaulin provides negligible thermal insulation requiring repeated replacement and generating significant waste. Timber framing is largely untreated, exhibiting visible biological decay, joint failure, and termite damage.

Sandcrete block structures, while offering superior structural permanence, are associated with higher upfront costs that place them beyond the reach of most IDP camp construction budgets. The widespread use of salvaged materials like timber and plastics, though resourceful, introduces structural unpredictability, hygiene concerns, and aesthetic conditions that compound the psychological burdens of displacement.

Across all material types, a consistent pattern emerges the prioritisation of minimal upfront cost over life-cycle performance, resulting in a cycle of rapid degradation.

5. CONCLUSION

This study has presented a systematic assessment of building materials used in IDP camp construction in Abuja, Nigeria, evaluating current practice against humanitarian shelter standards and identifying evidence-based sustainable alternatives. The findings confirm that materials currently dominating IDP shelter construction corrugated metal sheets, tarpaulin, untreated timber, plywood, and salvaged components perform poorly across thermal comfort, durability, and sustainability criteria, perpetuating inadequate living conditions for Nigeria's most vulnerable populations.The materials currently dominant in IDP camps prioritize speed and cost over habitability, resulting in shelters poorly suited to long term occupancy.

The paper contributes to the architecture and humanitarian engineering discourse by providing a contextually grounded, evidence-based framework for material assessment and selection in Nigerian IDP settings. It calls upon architects, humanitarian agencies, policymakers to champion sustainable, climate-responsive, and dignified shelter solutions for displaced communities.

The findings strongly support the integration of sustainable building alternatives into IDP shelter construction in Abuja. Future work should prioritise life-cycle cost analysis, and post-occupancy evaluation of sustainable shelter systems in the Nigerian humanitarian context.

REFERENCES

Aduke, O. S. (2025). Vulnerabilities of disadvantaged children in IDP camps: Insights from Abuja, Nigeria. LinkedIn. Retrieved 3rd April, 2026 at 4.05am, from https://www.linkedin.com/pulse/vulnerabilities-disadvantaged-children-idp-camps-from-saliu-aduke-hooff

Akanni, O., Ogunde, E., & Obienyi, O. (2025). Nigeria's IDPs and refugee settlement policies: A critical analysis of effectiveness and sustainability. Social Science and Humanities Journal, 9(1), 112–128.

Askederin, F.M et'al (2021). The State of Internally Displaced Persons Camps in Nigeria: A Case Study of Durumi Camp in the Federal Capital Territory of Nigeria. doi:10.21522/TIJAR.2014.08.04.Art006

Bradley, R. A., & Gohnert, M. (2018). Compressed Stabilized Earth Block Shell Housing: Performance Considerations. Practice Periodical on Structural Design and Construction, 23(4). https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000373

Bredenoord, J., & Kulshreshtha, Y. (2023). Compressed stabilized earthen blocks and their use in low-cost social housing. Sustainability, 15(6), 5295.

Bredenoord, J. (2024). Bamboo as a sustainable building material for innovative, low- cost housing construction. Sustainability, 16(6), 2347. https://doi.org/10.3390/su16062347

Bitiyong Zemo, J. A., & Ibrahim, S. G. (2019). The plight of internally displaced persons in unofficial camps in the Federal Capital Territory of Nigeria, Abuja. African Journal of Social Sciences and Humanities Research, 2(3), 28–37.

Cabeza, L. F., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G., & Castell, A. (2014). Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 29, 394–416.

Gwénola P., Oliver J., & Moncef K. (2025). Rebuilding Ngarannam: A Background Study Prepared By The Nigeria Window Of The Regional Stabilization Facility For The Lake Chad Basin. UNDP

Internal Displacement Monitoring Centre, IDMC (2025). Global report on internal displacement 2024.

Kibert, C.J. (2016). Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery (4th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

Malkawi, A.M., Auger, A., & Srinivasan, R. (2019). Thermal performance of compressed earth block construction in hot arid climates. Energy and Buildings, 196, 228–241.

Magaji, T. (2023). The implications of non-domestication of Kampala Convention to the protection of the internally displaced persons (IDPs) in Nigeria. Wukari International Studies Journal, 7(3), 427–447.

Magaji, T. (2024). Internally displaced persons (IDPs) in Nigeria: The roles of international actors. Wukari International Studies Journal, 8(5), 196–207.

Mohammad, S. B., & Abdulhamid, R. (2021). Islam and the plight of internally displaced persons (IDPs) in Abuja, Nigeria. Al-Mada: Journal Agama, Sosial dan Budaya, 4(1), 110–125. https://doi.org/10.31538/almada.v4i1.1180

Orisakwe, I. C., Nwofor, O. K., Njoku, C. C., & Ezedigboh, U. O. (2017). On the analysis of the changes in the temperatures over Abuja, Nigeria. Journal of Physical Science and Environmental Studies, 3(1), 8–17. https://www.pearlresearchjournals.org/journals/jpses/index.html

Sphere Project (2018). The Sphere Handbook: Humanitarian Charter and Minimum Standards in Humanitarian Response (4th ed.).

.Umar, F., Mohammed, U. A., Bukar, Z. B., & Sani, A. N. (2025). Adopting passive design strategies to improve emergency shelters in Maiduguri, Nigeria. American Journal of Environmental Experience Design, 3(1), 44–59.

United Nations High Commissioner for Refugees {UNHCR} (2026). . Emergency Shelter Solution and Standard. The UN Refugee Agency Emergency Handbook

.United Nations High Commissioner for Refugees {UNHCR} (2026). Shelter. UNHCR Nigeria.

Cucumis metuliferus (KİVANO) BİTKİSİNİN POLİFENOLİK EKSTRAKTLARININ FİZİKOKİMYASAL KARAKTERİZASYONU VE ANTİOKSİDAN KAPASİTESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. Hamza Belkhodja
Laboratory of Bioconversion, Microbiology Engineering and Health Safety, University of Mustapha Stambouli, Mascara, 29000, Algeria
ORCID ID: 0000-0002-1937-2897

ÖZET

Oksidatif stres, UV ışınlarına maruz kalma, sigara içme ve toksinler gibi faktörlerin etkisiyle serbest radikal üretimi ve antioksidan savunmaları arasındaki dengesizlikten kaynaklanır. Bu çalışma, *Cucumis metuliferus* (Cucurbitaceae) meyvesinin fizikokimyasal analizi, polifenolik özütlerinin fitokimyasal karakterizasyonu ve antioksidan aktivitesinin değerlendirilmesi yoluyla meyvenin değerini ortaya koymaktadır. Meyve, yüksek su içeriği (%92,16 ± 0,26) ve orta düzeyde protein (%1,96), lipit (%1,71), karbonhidrat (%3,48), C vitamini (%4,81), β-karoten, A vitamini ve potasyum, kalsiyum, fosfor ve kükürt dahil olmak üzere mineraller göstermiştir. Sulu dekoksiyon en yüksek özüt verimini (%3,33) sağlarken, bunu yakından metanolik maserasyon izlemiştir. Fitokimyasal tarama, iridoidler, alkaloidler ve kumarinlerin yokluğuyla birlikte flavonoidlerin, tanenlerin ve terpenoidlerin varlığını doğrulamıştır. Metanolik dekoksiyon özütü, toplam polifenoller (140,37 mg GAE/g), flavonoidler (87,16 mg QE/g) ve yoğunlaştırılmış tanenler açısından en zengin olanıdır. Antioksidan testleri (DPPH, TAC, FRAP, β-karoten ağartma) güçlü aktivite göstermiştir. Metanolik dekoksiyon özütü, DPPH temizleme (IC_{50} 0,033 mg/ml; %88,86 inhibisyon), toplam antioksidan kapasitesi ve lipid peroksidasyon korumasında üstün performans gösterirken, sulu dekoksiyon özütü FRAP'ta en iyi performansı göstermiştir. Bu bulgular, *C. metuliferus* özütlerinin oksidatif stresle ilişkili bozuklukları önlemek için umut vadeden doğal antioksidan kaynakları olduğunu desteklemektedir.

Anahtar kelimeler: Cucumis metuliferus, Fitokimyasallar, Antioksidan potansiyeli.

PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION AND EVALUATION OF THE ANTIOXIDANT CAPACITY OF POLYPHENOLIC EXTRACTS OF *Cucumis metuliferus* (KIWANO)

ABSTRACT

Oxidative stress arises from an imbalance between free radical production and antioxidant defenses, driven by factors like UV exposure, smoking, and toxins. This study valorizes *Cucumis metuliferus* (Cucurbitaceae) through physicochemical analysis of the fruit, phytochemical characterization of its polyphenolic extracts, and evaluation of their antioxidant activity. The fruit showed high water content (92.16 ± 0.26%), with modest levels of proteins

(1.96%), lipids (1.71%), carbohydrates (3.48%), vitamin C (4.81%), β-carotene, vitamin A, and minerals including potassium, calcium, phosphorus, and sulfur. Aqueous decoction yielded the highest extract recovery (3.33%), followed closely by methanolic maceration. Phytochemical screening confirmed the presence of flavonoids, tannins, and terpenoids, with absence of iridoids, alkaloids, and coumarins. The methanolic decocted extract was richest in total polyphenols (140.37 mg GAE/g), flavonoids (87.16 mg QE/g), and condensed tannins. Antioxidant assays (DPPH, TAC, FRAP, β-carotene bleaching) demonstrated strong activity. The methanolic decocted extract excelled in DPPH scavenging (IC_{50} 0.033 mg/ml; 88.86% inhibition), total antioxidant capacity, and lipid peroxidation protection, while the aqueous decocted extract performed best in FRAP. These findings support *C. metuliferus* extracts as promising natural antioxidant sources for preventing oxidative stress-related disorders.

Keywords: *Cucumis metuliferus,* Phytochemicals, Antioxidant potential.

EFFICACY OF ROSEMARY AND THYME ESSENTIAL OILS ON PEAR (*Pyrus communis* L.) EXPLANT EVOLUTION ON *IN VITRO* ESTABLISHMENT PHASE

Dr. Chokri BAYOUDH[1]
[1]LR21AGR03-Production and Protection for a Sustainable Horticulture, Regional Research Centre on Horticulture and Organic Agriculture (CRRHAB), 4042 Chott-Mariem, IRESA, Tunisia, ORCID N°: 0000-0002-7531-2979
Mrs Yassmine GHRAIRI[2]
[2]Higher Institute of Biotechnology of Monastir (ISBM), University of Monastir, 5000 Monastir, Tunisia.
Mrs Afifa MAJDOUB[3]
[3]Regional Research Centre on Horticulture and Organic Agriculture (CRRHAB), 4042 Chott-Mariem, IRESA, Tunisia.
Pr. Taoufik BETTAIEB[4]
[4]Laboratory of Horticultural Sciences, National Agronomic Institute of Tunisia, University of Carthage, 43 Avenue Charles Nicolle, 1082 Tunis, Tunisia.

Abstract

In Tunisia, pear (*Pyrus communis* L.) is a valuable specie, with highly appreciated fruits by consumers. Nowadays this crop is widely threatened by fire blight, a severe bacterial disease caused by *Erwinia amylovora*. Classical propagation techniques (cuttings and grafting) of local pear varieties are delicate and less effective. The use of *in vitro* culture technique would permit rapid propagation and long-term conservation of this crop. Commonly, *in vitro* propagation steps of local pear, mainly initiation or establishment step, is currently achieved by natural or synthetic growth regulators (cytokins and auxins), which are, often, expensive and toxic to handlers and to the environment. Substituting these products with essential oils (EOs) of certain plants could be effective for the initiation step and without harmful effects on humans or environment. Thus, studies were conducted on the effects of rosemary (R_mEO) and thyme (T_hEO) essential oils on the *in vitro* initiation of local pear (*Pyrus communis* L.). The main objective was to evaluate the influence of these two essential oils on the *in vitro* initiation step and the explant establishment and evolution of young cultures through this phase. For that purpose, MS basal medium enriched with various doses (25 µl.L^{-1}, 50 µl.L^{-1} and 100 µl.L^{-1}) of rosemary (R_mEO) and thyme (T_hEO) essential oils were studied. During the initiation phase, rosemary (R_mEO) and thyme (T_hEO) essential oils influenced explant development and reduced bacterial and fungal contaminations, particularly at the highest concentrations. In this context, T_hEO essential oil was found to be more efficient in reducing mainly explants fungal contaminations (8% à 17%). Whereas, R_mEO at 50 and 100 µl.L^{-1} completely inhibited bacterial and fungal contaminations observed on the explants. In addition, R_mEO at a dose of 100 µl.L^{-1} ensured the highest rate of explant establishment (27%).

Keywords: Essential oils (EOs), *in vitro* initiation, local pear, establishment rate, rosemary, thymus.

ACUTE POISONING CASES IN SOUTH-EASTERN MOROCCO (2020–2025): EPIDEMIOLOGY, CLINICAL PRESENTATION, AND THERAPEUTIC MANAGEMENT

El Houssain Marouani [a,b], Salma Ait El haj [b], Chaima El Haydougui [b], Imane Imilouane [b], Abdessamad Mouhssine [b] ,Adnane Hakem [b], Brahim El Houate [b], Omar El Hiba [a,*,†] , Abdelaati El Khiat [a,b,*,†]

[a] Laboratory of Anthropogenic, Biotechnology and Health, Nutritional Physiopathologies, Neuroscience and Toxicology Team, Faculty of Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida 24000, Morocco

[b] Laboratory of Biology, Environment and Health Sciences Team, Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques, Ministry of Health, B.P. 45000, Ouarzazate, Morocco

ABSTRACT

Background: Acute poisoning represents a major global public health challenge, causing around 300,000 deaths per year. Despite the seriousness of this issue, epidemiological data remain limited in the Drâa-Tafilalet region of Morocco.

Objective: This study aimed to analyse the epidemiological, clinical, therapeutic and clinical course profiles of food, drug and gas poisoning cases treated at the Ouarzazate Provincial Hospital.

Methods: We conducted a retrospective, descriptive, cross-sectional study over a five-year period (October 2020 – December 2025).The sample comprised 97 patients admitted for poisoning. Data were analysed using SPSS, applying Fisher's and Student's t-tests for correlations ($p < 0.05$).

Results: The majority of patients were women (55.7 %) and young adults (mean age: 28.64 ± 20.78 years), mainly from urban areas (76.3 %). Food poisoning was the most common cause (74.2 %), followed by gas poisoning (13.4 %) and drug poisoning (12.4 %). Most cases were accidental (87.6 %) and occurred at home (66 %), with a peak in incidence in August (22.7 %). Clinically, gastrointestinal symptoms predominated (82.5%). Significant associations were observed between neurological signs and gas poisoning ($p < 0.001$), as well as between cardiovascular symptoms and food poisoning ($p = 0.004$). The outcome was favourable for 95.9 % of patients, and no deaths were recorded.

Conclusion: The study highlights the high prevalence of summer food poisoning and the specific clinical profiles associated with different toxins. These results demonstrate the need to strengthen prevention measures in the home and to establish a regional food poisoning register to optimise management protocols

Keywords: Acute poisoning, Ouarzazate, epidemiology, clinical toxicology, carbon monoxide, food safety.

CLINICAL–LABORATORY DISCORDANCE IN OBSTETRIC MALPRACTICE: MEDICO-LEGAL INSIGHTS FROM TWO CASES

Elmas Shaqiri [(1)], Tefta Shaqiri [(2)], Suela Tanushi [(3)], Gentian Vyshka [(4)]

1. Department of Pathology and Forensic Medicine, Faculty of Medicine, University of Medicine in Tirana, Albania
2. Intermedica Laboratory Service, Tirana, Albania
3. General Ambulatory Medical Facility no. 1, Tirana, Albania
4. Biomedical and Experimental Department, Faculty of Medicine, University of Medicine in Tirana, Albania

INTRODUCTION

Pregnancy monitoring remains a field of high medico-legal risk when clinical decision-making is not systematically supported by correlation with laboratory-biochemical data. We present two independent cases in which the failure to obtain or complete laboratory assessment during obstetric follow-up led to severe, preventable consequences: Wernicke Encephalopathy from an undetected B_1 deficiency, and Preeclampsia/Gravid Nephropathy diagnosed too late.

AIMS / OBJECTIVES

To highlight, through two cases, the importance of the real — not merely formal — integration of laboratory-biochemical data into obstetric clinical decision-making, and to discuss the medico-legal implications of failing to act on abnormal findings.

MATERIALS AND METHODS

Descriptive retrospective study of two clinical cases documented between 2019–2022. Clinical and laboratory data (Thiamine/TPP, 24h proteinuria, serum albumin, uric acid) and outpatient/inpatient medical records were analyzed, correlating findings with national protocols (Ministry of Health) and international guidelines (RCOG, ACOG, European Federation of Neurological Societies).

RESULTS

Case I: a 34-year-old patient with hyperemesis gravidarum developed Wernicke Encephalopathy after complete absence of Thiamine/TPP testing across three hospitalizations, with no B1 prophylaxis prior to glucose administration. *Case II:* a 32-year-old patient with preeclampsia/nephropathy diagnosed too late, with progressive proteinuria (500→15,573 mg/24h) and declining albumin (2.80→3.30 g/dl), resulting in preterm delivery and neonatal death. According to family members, the patient's husband administered Thiamine on his own after physicians declined to do so, with reported symptom improvement.

CONCLUSIONS

Both cases illustrate the same systemic defect: the availability of laboratory tests was not matched by their integration into protocol-driven decision-making. Medico-legal expert review identified breaches of the duty of care, failure to act on abnormal findings, and a direct causal link to the harm suffered, confirming preventable professional liability. We propose integrating automatic clinical-laboratory "flags" (suspected B_1 deficiency in hyperemesis gravidarum >3 weeks; progressive proteinuria/hypoalbuminemia) into antenatal care protocols, as a concrete tool for preventing medico-legal harm.

KEYWORDS: Thiamine, Wernicke Encephalopathy, transketolase, preeclampsia, gestational nephropathy, forensic medicine.

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

GLOBAL METAL CONTAMINATION: ENVIRONMENTAL PATHWAYS, HUMAN HEALTH RISKS, AND SUSTAINABLE REMEDIATION

Prof. Gabrijel ONDRASEK
University of Zagreb Faculty of Agriculture, Svetosimunska c. 25, 10000 Zagreb/Croatia/EU
ORCİD: ID/0000-0001-8398-0099,
gondrasek@agr.hr,
Asst. Prof. Jelena HORVATINEC ISAKOVIĆ
University of Zagreb Faculty of Agriculture, Svetosimunska c. 25, 10000 Zagreb/Croatia/EU
ORCİD: ID/0000-0003-1819-0888,
jhorvatinec@agr.hr,

Abstract

Metal contamination is an escalating global environmental and public health issue driven by rapid industrialization, urbanization, intensive agriculture, mining, and wastewater discharge. Toxic metals and metalloids such as cadmium (Cd), lead (Pb), arsenic (As), mercury (Hg), chromium (Cr), zinc (Zn), and nickel (Ni) accumulate in soils, water, and air, entering the human food chain through contaminated crops, drinking water, and inhalation pathways. Their persistence, mobility, and bioavailability contribute to oxidative stress, cellular dysfunction, carcinogenesis, and ecosystem degradation. This review summarizes major natural and anthropogenic sources of metal contamination, including agrochemicals, biosolids, wastewater irrigation, mining activities, and airborne particulate emissions. Particular emphasis is placed on the mechanisms governing metal mobility, plant uptake, and redistribution within agroecosystems. Contemporary remediation strategies are critically discussed, focusing on sustainable and bio-based approaches such as phytoremediation, biochar and bioash amendments, and chemical stabilization. Metallophyte plants demonstrate considerable potential for phytoextraction and detoxification of contaminated soils, while engineered biochars and alkaline bioashes improve metal immobilization and reduce bioavailability. In addition, recent advances in artificial intelligence and machine learning provide innovative tools for predicting metal dynamics, optimizing remediation efficiency, and supporting environmental risk assessment. Integrating AI-driven modelling with advanced sensing technologies and field-scale remediation practices offers promising opportunities for more precise, cost-effective, and sustainable management of contaminated environments. A multidisciplinary framework combining environmental science, agriculture, toxicology, and computational technologies is essential for mitigating future risks associated with metal contamination and safeguarding human and ecosystem health.

Keywords: Heavy metals; Environmental pollution; Phytoremediation; Soil remediation; Public health; Agroecosystems

IMMUNOMODULATORY EFFECTS OF CADMIUM INDUCED OXIDATIVE STRESS IN BROILERS AND ITS AMMEIORATION WITH ACTIVATED CHARCOAL

IBTISAM HAMEED
DEPARTMENT OF VETERINARY PATHOLOGY
FACULTY OF VETERINARY & ANIMAL SCIENCES
PIR MEHR ALI SHAHARID AGRICULTURE UNIVERSITY RAWALPINDI
PAKISTAN

ABSTRACT

The poultry industry is one of the largest and fastest-growing agro-based sectors in the world. Of all the poultry birds, chickens are the most valuable since they are a mainstay in cuisines all over the world and are valued for their nutritional content and adaptability. Recent concerns of heavy metals presence in chicken meat have brought attention to hidden risks in the food chain. Comprehending the toxicological effects of these metals on the health of chickens is crucial for both poultry producers and consumers. Cadmium being a naturally occurring heavy metal has been of prime importance in terms of producing toxicities among broiler birds exposed after taking feed and water contaminated with this metal. Contaminated feed and water with Cd along with others cause toxicity at certain levels. After its intake in body it is absorbed from the digestive system. After absorption, its accumulation in body tissues and after reaching a certain concentration in body it produces toxic deleterious effects in tissues and organs of bird especially on liver, lungs, thymus, kidneys and spleen. At cellular level it causes, increased formation of reactive oxygen species (ROS) and alterations in the expression of numerous genes that cause cell cycle arrest, differentiation, and death. To, mitigate the toxicities due to cadmium, addition of adsorbents like activated carbons in diet of poultry is useful. Thus, the current study aimed to check the immunomodulatory effects of cadmium intoxication and their amelioration by use of Activated Charcoal (AC). For this purpose, 60 day old broiler chicks were divided into 6 groups each containing 10 birds in each group. One group will be control group, second group was administered with Cadmium Chloride ($CdCl_2$) mixed in drinking water at the dose rate of (50mg/ kg b.w). The third group was administered with (Cadmium Chloride 50mg/kg b.w + Activated Charcoal @ 500mg/kg b.w). The fourth group was administered with (Cadmium Chloride @ 25mg/kg b.w + Activated Charcoal @ 250mg/kg b.w). And the fifth group was provided with Cadmium Chloride @ 12.5mg/kg b.w and Activated Charcoal @ 125mg/kg b.w and for Group 6(G6) Activated Charcoal @ 500mg/kg b.w was used. Chicks from each group were selected randomly (n=6) 10-, 20- and 30-days post treatment for sacrifice and blood was collected for analysis. Organs were then fixed in 10% Neutral Buffer Saline and processed for histopathology.

Keywords: Cadmium Chloride; Immunomodulatory; Amelioration; Activated Charcoal (AC)

STRUCTURAL AND COMPARATIVE DOCKING ANALYSIS OF HUMAN GUT-DERIVED *AKKERMANSIA MUCINIPHILA* AMUC_1100 WITH INNATE IMMUNE RECEPTORS

Manoj-Kumar Arthikala[*1, 2], Yalpi Karthik[1], Pavithra Narendran[*2]
[1]Ciencias Agrogenómicas, Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad León, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), León, Mexico.
[2]The University of Trans-Disciplinary Health Sciences and Technology (TDU), 74/2, Post Attur via Yelahanka, Jarakabande Kaval, Bengaluru, 560 064, India.

Abstract

Outer membrane protein Amuc_1100 from beneficial gut bacterium *Akkermansia muciniphila* is widely used probiotic and presumed to mediate host-microbe communication by receptor-mediated interaction. Although Amuc_1100 has been known able to interact with Tol-like receptor 2 (TLR2), whether it could interact with other receptors remains unexplored. Using comparative structural and protein-protein docking analysis, we aim to explore the potential interaction of B2UR41_AKKM8 (Amuc_1100) with three immune receptors in human: SIGIRR (IL-1R8), IL1RL2 (IL-36R), CLEC7A (Dectin-1). Quality assessment of the structure of the proteins involved suggests an overall reliable model: ERRAT scores for B2UR41_AKKM8, SIGIRR, IL1RL2 and CLEC7A are 85.47%, 94.96%, 92.93% and 96.31% based on Ramachandran plots respectively. Protein-Protein docking was performed using ClusPro with Balanced, Electrostatic-favored, Hydrophobic-favored and Van der Waals + electrostatic. For all chosen pairs of receptors, models with reproducible docking clusters have been generated in four scoring schemes, providing structural plausibility of the interaction interface. According to weighted scores, B2UR41_AKKM8 interact effectively with SIGIRR (-1487.0), IL1RL2 (-1792.7) and CLEC7A (-1833.9). Overall, SIGIRR, IL1RL2 and CLEC7A were suggested to be the candidate interactors of Amuc_1100, providing computational grounds for further biochemical and cellular investigation.

Keywords: *Akkermansia muciniphila*; protein–protein docking; ClusPro; innate immunity; structural modeling.

EVALUATION OF HEAVY METALS AND THEIR HEALTH RISK ASSESSMENT IN FLUTED PUMPKIN (*Telfairia Occidentalis*) LEAF WITHIN MOKWA TOWNSHIP MARKET

Idris Mohammed Aliyu *
Basic Science Department, College of Agriculture P.M.B 109, Mokwa, Niger State.
E-mail: idris2the@gmail.com ORCID: 0009/0000/3480/9121
Abdulwaheed Adeyemi Bello
Department of Animal Health and Production Technology, College of Agriculture P.M.B 109, Mokwa, Niger State.
E-mail: aabello2003@yahoo.co.uk ORCID: 0000/0002/5355/1039

ABSTRACT

This study evaluates the concentrations of some selected heavy metals and also assessed their potential health risks to consumers within Mokwa township of Niger State, Nigeria. Fresh pumpkin leaves samples (*Telfairia occidentalis*) were obtained from the township market in Mokwa and Heavy Metal concentrations were analyzed for zinc, cadmium, lead, manganese, copper, and Nickel using Atomic Absorption Spectroscopy (AAS). Concentrations of Cd, Pb and Zn were significantly high at ($p<0.05$) in vegetable samples when compared with FAO/WHO safe limits. Daily intake of metals (DIM), target hazard quotient (THQ) / hazard index (HI) and target cancer risk (TCR), were then determined to assess the potential health risks of the heavy metals. There were insignificant non-carcinogenic risks for the metals except for Cd which could pose risks when ingested frequently. Target cancer risks were in the increasing order Pb<Cd<Ni<Cu, suggesting moderate cancer risks for Cd and Pb, and high cancer risks for Ni and Cu over a life time period of exposure to heavy metal contaminated vegetables within the study location. This study has shown that the heavy metals in *T.* occidentalis poses low health risks when consumed moderately except for Cd, Ni and Cu when the daily consumption rate is significantly increased over a life time period. Hence, intensive awareness campaigns are recommended to enlighten farmers and retailers on safer ways of cultivation and handling of green leafy vegetables.

Keywords: Bioaccumulation; Heavy Metals; Health risk; Mokwa; Ugu; *Telfairia occidentalis*.

NATIONAL AI INNOVATION, STARTUP AND RESEARCH-TO-MARKET PROGRAMME

DR. MUHAMMAD FAISAL
Allama Iqbal Open University, Islamabad, Pakistan
ORCID: 0000-0002-5797-766X

Abstract

AI policy should not focus exclusively on government adoption. Pakistan needs an ecosystem capable of creating AI companies, intellectual property, research outputs, exportable products and globally competitive AI services.

Pakistan's national AI planning has already emphasized AI skills, research, technology parks and innovation. The next policy phase should strengthen this through agentic AI and sovereign AI innovation.

Policy Recommendation

Establish a **National AI Innovation-to-Market Programme (NAIMP)**.

Priority Research Areas

- multi-agent AI;
- multilingual AI;
- AI cybersecurity;
- sovereign AI;
- robotics;
- AI healthcare;
- AI agriculture;
- climate AI;
- AI for social protection;
- AI education;
- AI governance;
- AI chips and efficient computing.

National AI Grand Challenges

Government should announce annual challenges such as:

Challenge 1: Build a multilingual Pakistani government AI agent.

Challenge 2: Build an AI system for agricultural advisory.

Challenge 3: Build a national AI cybersecurity agent.

Challenge 4: Build a low-cost Urdu voice AI.

Challenge 5: Build an AI system for public-service policy research.

AI Startup Fund

Create competitive funding for startups based on:

- prototype;
- pilot;
- commercialization;
- export readiness.

Research-to-Market Pipeline

University → Research → Prototype → Government Pilot → Industry Adoption → Export

Policy Clause

The Government shall establish mechanisms for translating AI research into commercially viable products, public-sector solutions, intellectual property and export-oriented technology enterprises.

KPIs

- AI startups funded;
- patents/IP generated;
- products commercialized;
- exports;
- university-industry projects;
- government pilots.

Conclusion

Pakistan should aim not only to **consume AI but to produce, orchestrate and export AI**.

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)
salmamakdouf1822@gmail.com

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.

TO WHAT EXTNT IS THE ADOPTION OF ARTICICIAL INTELLIGENCE TRANSFORMING EMPLOYMENT OPPORTUNITIES , WAGES ,INEQUALITY AND SILL REQUIREMENTS IN INDA ?

Master. Pulinati Yathiswar Reddy
UNITED WORLD ACADEMY ,BANGALORE, INDIA
Mr. SWAMI NATHAN PRABHU RAM MUDALIYAR
Teacher for Economics and Global Perspectives

ABSTRACT

Introduction: Artificial Intelligence (AI) is increasingly transforming labour markets by automating routine tasks, augmenting worker productivity, and creating new occupations and industries. This study examines the extent to which AI adoption is reshaping employment opportunities, wage inequality, and skill requirements, with particular emphasis on the Indian economy.

Scope of study: The study explores the economic mechanisms through which AI affects employment, including the substitution effect, whereby firms replace labour with AI-enabled capital, and the compensation effect, whereby productivity gains, lower production costs, and increased demand generate new employment opportunities. It further examines the emergence of skill-biased technological change, which may increase demand for workers possessing analytical, technical, creative, and interpersonal skills while reducing opportunities for workers performing routine and predictable tasks. The study also considers the implications of AI for productivity, economic growth, income distribution, and job quality. In the Indian context, AI presents both significant opportunities and challenges because of the country's large labour force, expanding technology sector, and existing gaps in digital infrastructure and human capital. The study argues

Page 2 of 2 that the employment consequences of AI will depend not only on the pace of technological adoption but also on investments in education, reskilling, digital infrastructure, social protection, and appropriate labour-market regulation. The research concludes that policies promoting AI- enabled inclusive growth are essential to ensure that technological progress contributes to higher productivity and better employment outcomes without exacerbating inequality.

Keywords 1 Artificial Intelligence
Keywords 2 Employment
Keywords 3 Automation;
Keywords 4 Technological Change;
Keywords 5 Labour Market;

Keywords 6 Wage Inequality;

Keywords 7 Skill-Biased Technological Change;

Keywords 8 Productivity;

Keywords 9 Reskilling

Keywords 10 Economic Growth in India;

Keywords 11 Inclusive Growth.

FABRICATION OF GRAPHITIC CARBON NITRIDE-DECORATED $BaAl_2O_4$ NANOCOMPOSITE FOR HIGH-PERFORMANCE ASYMMETRIC SUPERCAPACITOR

Muhammad Rizwan[1], Sahar G. Tawfik[2], Ali El-Rayyes[3], Lamia Abu El Maati [2], Hussain Sawwan[4], Eman Alzahrani[5], Hala M. Abo-Dief[6], Reda A. Haggam[7]

[1]Department of Physics, Government Graduate College Jampur, 33000, Pakistan
[2]Department of Physics, College of Science, Princess Nourah bint Abdulrahman University, Riyadh, P.O. Box 84428, 11671, Saudi Arabia
[3]Center for Scientific Research and Entrepreneurship, Northern Border University, 73213, Arar, Saudi Arabia
[4]Department of Chemical Engineering, College of Engineering, King Khalid University, Abha, 61411, Saudi Arabia
[5]Department of Chemistry, College of Science, Taif University, PO Box 11099, Taif 21944, Saudi Arabia.
[6]Department of Science and Technology, University College-Ranyah, Taif University, P.O. Box 11099 21944 Taif, Saudi Arabia
[7]Department of Chemistry, Faculty of Science, Islamic University of Madinah, Madinah, 42351, Saudi Arabia.

Abstract

One common approach for addressing the escalating need for higher-energy-density supercapacitors is the advancement of asymmetric supercapacitors (ASC_s). This work introduces a hydrothermally produced barium aluminate ($BaAl_2O_4$) and $BaAl_2O_4$/gCN (graphitic carbon nitride) nanocomposite for ASC_s. The $BaAl_2O_4$/gCN nanocomposite-based supercapacitors exhibit favourable electrochemical characteristics with a specific capacitance (C_s) of 640 F/g at 1 A/g, notably exceeding the C_s of pristine $BaAl_2O_4$, 287 F/g. Furthermore, ASC was fabricated using $BaAl_2O_4$/gCN and AC (activated carbon) as the negative electrode. The electrochemical properties of $BaAl_2O_4$/gCN//AC demonstrate optimal activity, attaining a C_s of 127.3 F/g, along with energy density (E_d) of 43.6 Wh/kg as well as a power density (P_d) of 785 W/kg. The presence of gCN in the $BaAl_2O_4$ structure significantly improved the composite system's conductivity and overall efficiency owing to the substantial interfacial area of gCN, which promotes rapid reaction kinetics. These findings demonstrate the promising future of the prepared composite in future energy storage systems.

RATIONAL DESIGN AND BIOLOGICAL EVALUATION OF INDOLE-3-BUTYRIC ACID-DERIVED HYDRAZONES: INTEGRATED EXPERIMENTAL AND COMPUTATIONAL INVESTIGATIONS

Muhammad Ibrahim*, Ummy Rubab, Irfa Sakandar
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

MULTIPHYSICS–JUDD–OFELT ENGINEERING OF HIGH-EFFICIENCY RED LUMINESCENCE IN EU^{3+}-DOPED SILICOPHOSPHATE SOL–GEL GLASSES

El Mahdi Bouabdalli [1, 2, *], Mohamed El Jouad [2], Samira Touhtouh [2], Fouad Belhora [2], Nathalie Gaumer [3], El Kebir Hlil [4] and Abdelowahed Hajjaji [2]

[1]Laboratory of Computer Science and Interdisciplinary Physics (LIPI), Higher Normal School of Fes (ENS-Fes), Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco.
[2]Laboratory of Engineering Sciences for Energy (LabSIPE), National School of Applied Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida 24000, Morocco.
[3]Laboratoire POMA – UMR CNRS 6136, Université d'Angers, 2 bd Lavoisier, 49045 Angers cedex 01, France.
[4]Institut Néel, CNRS et Université Grenoble Alpes, BP 166, 38042, Grenoble, France.
*Email: elmahdi.bouabdalli@usmba.ac.ma

Abstract

Europium-doped silicophosphate glasses have emerged as highly promising materials for next-generation photonic technologies, such as light-emitting diodes (LEDs), optoelectronic components, and laser systems. This study systematically investigates the effects of trivalent europium (Eu^{3+}) incorporation on the structural, physical, and optical properties of silicophosphate glasses synthesized through the sol-gel method. Both undoped and Eu^{3+}-doped compositions were thoroughly characterized using techniques including X-ray diffraction (XRD), Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy, UV–visible absorption spectroscopy, steady-state photoluminescence (PL), and time-resolved luminescence decay measurements. XRD analysis confirmed that all prepared samples exhibited a fully amorphous structure. FTIR spectroscopy indicated that the incorporation of Eu^{3+} modifies the silicate phosphate network by disrupting Si–O–Si linkages, resulting in an increased optical band gap. Photoluminescence spectra displayed the characteristic $^5D_0 \rightarrow {}^7F_J$ (where J = 0–4) transitions of Eu^{3+} ions, with broadened emission bands typical of amorphous glass matrices. Judd–Ofelt (J-O) analysis facilitated the determination of optical intensity parameters (Ω_2 and Ω_4) and crucial radiative properties, including spontaneous emission probabilities (A), stimulated emission cross-sections (σ_e), calculated radiative lifetimes (τ_{cal}), and branching ratios (β_R). Notably, the high branching ratio of 52.71% for the hypersensitive $^5D_0 \rightarrow {}^7F_2$ transition underscores the strong potential of these glasses for red-emitting laser applications. Moreover, the calculated CIE 1931 chromaticity coordinates (x = 0.63, y = 0.36) are situated close to the ideal red-emission point (0.67, 0.33), affirming the generation of bright and spectrally pure red light. Overall, these findings demonstrate that Eu^{3+}-doped silicophosphate sol-gel glasses exhibit excellent structural integrity alongside enhanced luminescent performance, rendering them highly suitable for red-emitting photonic devices and solid-state laser applications.

Keywords: Europium; Silicophosphate glasses; Sol–gel process; Optical properties; Structural properties; XRD; FTIR spectroscopy; Band gap energy; Photoluminescence; Luminescence decay; Judd–Ofelt analysis; Radiative properties; Photonic technologies.

STRUCTURE–PROPERTY CORRELATIONS IN EU^{3+}-DOPED STRONTIUM PHOSPHATE GLASSES FOR PHOTONIC AND PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS

El Mahdi Bouabdalli [1, 2, *], Mohamed El Jouad [2], Samira Touhtouh [2], Ilyass El kadmiri [1,3], Nathalie Gaumer [4], Mostapha Siniti [5] and Abdelowahed Hajjaji [2]

[1]Laboratory of Computer Science and Interdisciplinary Physics (LIPI), Higher Normal School of Fes (ENS-Fes), Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco.
[2]Laboratory of Engineering Sciences for Energy (LabSIPE), National School of Applied Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida 24000, Morocco.
[3]Laboratory of Materials, Waves, Energy and Environment, Team of Acoustic, Photonic and Materials, Faculty of Sciences, University Mohamed First Oujda, Oujda, Morocco.
[4]Laboratoire de Photonique d'Angers (LPhiA – EA 4464), Université d'Angers, 2 Bd Lavoisier, F-49045 Angers Cedex 01, France.
[5]CUR''EnR&SIE'', Faculty of Sciences El Jadida – Chouaib Doukkali University, El Jadida 24000, Morocco.
*Email: elmahdi.bouabdalli@usmba.ac.ma

Abstract

Europium-doped strontium phosphate glasses (PSrEux) were synthesized using the conventional melt-quenching technique with Eu_2O_3 concentrations of 0.0, 0.5, 1.0, and 1.5 mol. at. % to investigate the impact of Eu^{3+} incorporation on their structural, thermophysical, and photoluminescent properties. X-ray diffraction (XRD) confirmed that all compositions were fully amorphous. Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy revealed the characteristic vibrational modes of the phosphate network, including symmetric and asymmetric P–O–P stretching, symmetric stretching of $(PO_3)^{2-}$, and P=O bending vibrations. Physical measurements indicated a slight increase in density (from 2.059 to 2.082 g/cm^3) alongside a decrease in molar volume (from 62.441 to 62.083 cm^3/mol), suggesting progressive structural densification with increasing Eu_2O_3 content. Differential thermal analysis (DTA) demonstrated comparable thermal stability across the series, confirming that these materials are suitable for high-temperature and optoelectronic applications. Photoluminescence (PL) spectra displayed the characteristic emission lines of Eu^{3+}, prominently featuring the intense red $^5D_0 \rightarrow {}^7F_2$ transition. Judd–Ofelt (J–O) analysis provided key intensity parameters (Ω_λ) and asymmetry ratios (R). The observed increases in Ω_2 and R-values indicated enhanced local structural asymmetry and stronger Eu^{3+}–O^{2-} covalent interactions. Radiative properties, including transition probabilities (A), stimulated emission cross-sections (σ_e), branching ratios (β), and radiative lifetimes, were derived using the J–O formalism. All samples exhibited single-exponential decay curves of the $^5D_0$ level, confirming homogeneous emission behavior. The CIE 1931 chromaticity coordinates ($x \approx 0.660$, $y \approx 0.340$) closely align with the standard red-emission target (0.67, 0.33). Overall, these findings demonstrate that Eu^{3+}-doped strontium phosphate glasses possess strong and stable red photoluminescence, combined with robust

structural and thermal performance, making them promising candidates for next-generation photonic devices such as solid-state lasers, optical amplifiers, and advanced display technologies.

Keywords: Strontium phosphate glasses; Europium oxide; Melt-quenching technique; Structural characterization; FTIR spectroscopy; Photoluminescence properties; Thermophysical properties; Judd–Ofelt analysis; Radiative properties; CIE chromaticity; Red-emitting materials.

MEASUREMENT AND ANALYSIS OF S-PARAMETERS OF A MICROSTRIP TRANSMISSION LINE USING SMITH CHART

Ramavath Bhargavi
Dr.P.C.Praveen Kumar
Dr. J. Salai Thillai Thilagam
Department of Electronics and Communication Engineering
G. Pulla Reddy Engineering College (Autonomous), Kurnool, Andhra Pradesh, India-518007
salaithillai.ece@gprec.ac.in ORCID ID: 0000-0001-9743-9690

Abstract

Microstrip transmission lines are fundamental building blocks in modern radio-frequency (RF) and microwave systems because of their compact structure, low fabrication cost, ease of integration with printed circuit boards, and compatibility with microwave integrated circuits. Accurate characterization of microstrip transmission lines is essential for evaluating impedance matching, signal transmission, reflection, and insertion loss at high frequencies. This paper presents the design, simulation, and S-parameter analysis of a 50-Ω microstrip transmission line using a dielectric substrate with relative permittivity of 4.4 and thickness of 1.6 mm. The proposed transmission line is designed with a strip width of 3.06 mm and length of 34.2 mm. The structure is analyzed over a frequency range of 1–5 GHz using a 2001-point linear frequency sweep. The scattering parameters S11, S21, S12, and S22 are evaluated to investigate the reflection and transmission characteristics of the line. The normalized impedance is extracted from the reflection coefficient and represented using a Smith Chart. The study also investigates the influence of transmission-line dimensions and operating frequency on impedance matching and signal transmission. The methodology provides a practical framework for RF and microwave circuit characterization and can be extended to experimental Vector Network Analyzer measurements.

Keywords: Microstrip transmission line, S-parameters, S11, S21, Smith Chart, impedance matching, return loss, insertion loss, RF circuits, microwave engineering.

SENSORY ATTRIBUTES AND PROXIMATE COMPOSITION OF WHEAT-UNRIPE PLANTAIN CAKE

ALAGBU OGOCHUKWU PHILOMINA
DEPARTMENT OF FOOD TECHNOLOGY, FEDERAL POLYTECHNIC,OKO, ANAMBRA STATE, NIGERIA

ABSTRACT

This research investigated the proximate composition and sensory attributes of cake formulations developed by using wheat flour with unripe plantain flour across three distinct inclusion ratios: 70:30 (WP1), 60:40 (WP2), and 50:50 (WP3). Sensory evaluation conducted via standard hedonic scoring demonstrated widespread panel acceptance across all composite formulations. Sample WP1 recorded the highest overall acceptability rating (7.16), while WP2 and WP3 scored 6.82 and 6.70, respectively, confirming that substantial replacement levels retain high consumer appeal.Subsequent proximate analysis performed on key composite treatments revealed significant variations in nutritional density. Sample WP1 delivered higher crude protein (16.58%), crude fat (15.02%), moisture (24.17%), ash (11.67%), and crude fiber (8.50%) content compared to sample WP3 which yielded 4.61% protein, 13.82% fat, 22.22% moisture, 6.83% ash, and 5.33% fiber, alongside a higher carbohydrate density (46.63% versus 23.26% in WP1).

Comparative evaluation indicates that blending unripe plantain flour into conventional formulations yields a nutritional profile comparable and in key micronutrient and fiber indicators, superior to standard 100% wheat controls. These results confirm that unripe plantain flour serves as a highly functional, nutrient-enhancing composite ingredient. Incorporating unripe plantain into bakery products offers food processors a practical pathway to reduce industrial dependence on imported wheat, improve dietary fiber and mineral intake in processed foods and diversify local agricultural utilization without compromising product appeal.

Keywords: Composite flour, Unripe plantain, Food fortification, Proximate composition, Sensory acceptability

EXPLORING SUSTAINABLE AND INNOVATIVE PEDAGOGIES IN MOTOR VEHICLE MECHANICS WORK TRADE: A STUDY OF TECHNICAL COLLEGES IN OYO STATE

Sulaiman Tunbosun WAHAB
Department of Technology Education,
Faculty of Vocational, Innovation and Engineering Education,
Emmanuel Alayande University of Education, Oyo, Oyo State, Nigeria.
wahabst@eauedoyo.edu.com & tunswab012@gmail.com
Mukaila Abiodun YISA
yisama@tasued.edu.ng
Oriola Olatunji FADAIRO
fadairooo@tasued.edu.ng
Department of Industrial Technical Education,
College of Vocational and Technical Education,
Tai Solarin University of Education, Ijebu-Ode, Ogun State, Nigeria.

Abstract

This study examined sustainable and innovative pedagogical practices in Motor Vehicle Mechanics Work (MVMW) trade in technical colleges in Oyo State, Nigeria. The study specifically determined the extent to which sustainable pedagogical practices and innovative instructional strategies were integrated into MVMW teaching and examined their relationships with students' academic performance and environmental awareness. A descriptive survey research design was adopted for the study. The study was conducted in selected Government Technical Colleges in Oyo State, and data were collected from MVMW teachers and senior students using a structured questionnaire. Mean and standard deviation were used to answer the research questions, while Pearson Product-Moment Correlation (PPMC) was used to test the null hypotheses at the 0.05 level of significance. The findings revealed that sustainable pedagogical practices and innovative instructional strategies were integrated into MVMW teaching to a high extent. However, the results showed no significant relationship between innovative pedagogical strategies and students' academic performance, and no significant relationship between sustainable pedagogical practices and students' environmental awareness. The study concluded that although sustainable and innovative pedagogical practices were being adopted to a considerable extent, their implementation had not translated into significant improvements in the selected student outcomes. The study recommends continuous professional development for MVMW teachers, improved provision of modern instructional facilities and greater use of project-based and experiential learning approaches to enhance students' practical competencies and environmental awareness.

Keywords: Sustainable pedagogy, innovative pedagogy, Motor Vehicle Mechanics Work, technical colleges, academic performance, environmental awareness.

THE ECONOMICS OF TEACHER READINESS IN THE AGE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: DIGITAL COMPETENCE, EMPLOYABILITY AND PRODUCTIVITY AMONG PRE-SERVICE TEACHERS

Felix Oluremi IDOWU,
Department of Arts and Social Sciences Education
Faculty of Education
University of Ibadan, Ibadan, Nigeria
Email: felixo.idowu@gmail.com
Dr Oluwaseun OYEWOLE,
Department of Arts and Social Sciences Education
Faculty of Education
University of Ibadan, Ibadan, Nigeria
Email: o.oyewole@ui.edu.ng

ABSTRACT

As artificial intelligence (AI) penetrates all areas of global education, it is gradually posing new challenges and prompting a re-evaluation of the traditional economics of teacher training. This paper investigates into the inherent contradictions and mutual constraints within the triangular relationship between pre-service teacher training and teachers' digital literacy, employability, and productivity from an economic perspective, revealing its significant role in promoting teacher employment and improving teacher productivity. Drawing from extensive empirical studies from selected countries including Finland, Indonesia, Kazakhstan, Ghana, Nigeria, and Southern Africa, this paper consistently points out that in the new wave of scientific and technological revolution represented by AI, teacher training will become another crucial economic factor influencing my country's productivity and human resources. In-depth analysis of teachers reveals significant differences in teacher training across various backgrounds. The most prominent differences are inadequate basic education, curriculum deficiencies, and a lack of ethical awareness among teachers, all of which constitute major obstacles to the economic effectiveness of teacher education. Only by constructing teacher training as an integrated model that unifies technological competence, a sense of self-efficacy in teaching, and an intrinsic awareness of educational ethics can teacher training truly be elevated to a new level, rather than merely focusing on the acquisition of technical skills. With the gradual advancement of insurance and institutional passports, we not only emphasize integrating AI literacy into core teacher training curricula, but also express a deep concern about the current inequalities in educational infrastructure, and rethink the economic value of teacher preparation, transcending the constraints of simple employability indicators.

Keywords: Artificial Intelligence; Pre-service Teachers; Educational Economics; Human Capital; Teacher Education; Digital Competence; Productivity; AI Literacy; Global Education; Employability.

DRINKING WATER CHALLENGES AND THE CURRENT STATE IN GEORGIA

Gela Sandodze
Assistant Professor
Georgian Technical University
Faculty of Mining Geology and Mountain Sustainable Development
Gela.sandodze@gmail.com

ABSTRACT

This article reviews the current state and principal challenges of drinking-water supply in Georgia, focusing on water resources, supply infrastructure, water quality, disinfection, seasonal variation in abstraction flows, and risks associated with climate change. Georgia has substantial surface and groundwater resources, but their availability and safe use depend on spatial and seasonal conditions, abstraction regimes, treatment technologies, pumping and storage infrastructure, and the efficiency of distribution networks. The article also considers the transition to a new legal framework for water-resources management, based on river-basin management, quantitative and qualitative monitoring, water balances, and risk-oriented planning. Particular attention is given to chlorination, major natural and anthropogenic contaminants, low-flow conditions, the role of water-supply operators, and monitoring at critical control points. Official statistics indicate increasing connection to water-supply systems, while transportation losses remain substantial. As a research perspective, the article proposes an integrated Water Safety Plan/GIS model that combines hydrological, hydrogeological, laboratory, infrastructure, demand, and climate data to support preventive risk management and early identification of vulnerable locations.

Keywords: drinking water; surface water; groundwater; water supply; abstraction flow; disinfection; chlorination; water quality; water-resources management; climate change.

1. INTRODUCTION

Safe, sufficient, and continuous drinking-water supply is a fundamental condition for public health and sustainable development. Contemporary drinking-water safety approaches consider not only laboratory results at the consumer's tap but also the management of risks throughout the entire chain, from the catchment to the consumer. The World Health Organization emphasizes health-based targets, Water Safety Plans, and independent oversight (WHO, 2022, 2026).

Georgia has a favorable natural resource base. According to the National Environment Agency (NEA), the country has approximately 26,000 rivers, 43 artificial reservoirs, and important freshwater groundwater resources. Nevertheless, the abundance of water resources does not automatically guarantee adequate quantity, quality, and continuity of supply in every

settlement. Spatial differences, seasonal low-flow conditions, climate change, infrastructure losses, and source contamination create interconnected challenges (NEA, n.d.).

According to Geostat, in 2024, 28 enterprises operated in the water-supply sector. The population connected to water-supply systems reached 2.79 million people, or 75.4% of the population. Water supplied to the household sector amounted to 243.4 million m^3, while transportation losses reached 581.9 million m^3 (Geostat, 2025). These figures show that, alongside quantitative access, infrastructure efficiency is a major component of water-supply sustainability.

The purpose of this article is to provide a systematic review of the current state and major challenges of drinking-water supply in Georgia, examine the applicable management framework, and identify research directions capable of integrating water quantity and quality into a unified, risk-based assessment.

2. RESEARCH AND FINDINGS

2.1. MAIN DRINKING-WATER SOURCES IN GEORGIA

The main drinking-water sources in Georgia are surface water and groundwater. The current water-resources management framework considers both as components of an integrated national water-management system (Parliament of Georgia, 2023/2026). Surface-water sources include rivers, lakes, reservoirs, and other water bodies. Their principal advantage is relatively high potential flow, but they are more exposed to precipitation, floods, erosion, turbidity, microbiological contamination, and agricultural runoff. Consequently, surface water used for drinking purposes often requires multistage treatment and disinfection.

Groundwater frequently has more stable quality, but naturally occurring chemical components may reach elevated concentrations. Potential concerns include iron, manganese, fluoride, ammonium, and nitrates. Shallow aquifers are particularly vulnerable to contamination from surface, agricultural, and household activities. Source-specific assessment is therefore necessary when selecting and managing drinking-water sources.

2.2. LEGAL AND INSTITUTIONAL REQUIREMENTS

The main provisions of Georgia's new Law on Water Resources Management entered into force on 1 September 2026, while the 1997 Law on Water was repealed. The new framework emphasizes river-basin management, stronger quantitative and qualitative monitoring, state accounting, water-balance assessment, and reduction of climate-related risks (Parliament of Georgia, 2023/2026).

The law treats water abstraction as a form of water use and establishes permitting mechanisms for special water use. An important principle is environmental flow: abstraction regimes should take account of the quantity and regime of water required to maintain river ecosystems and the well-being of people dependent on them. Therefore, drinking-water abstraction should not be planned solely according to consumer demand; ecological and hydrological functions must also be considered. Transitional provisions provide for the gradual introduction of technical regulations and subordinate acts during 2026–2027, making verification of the current applicable requirements important for individual projects.

2.3. WATER-SUPPLY INFRASTRUCTURE

A water-supply system may include an intake, headworks, treatment and filtration facilities where necessary, clean-water reservoirs, pumping stations, transmission mains, and distribution networks. Depending on terrain, supply can be gravity-fed, pumped, or combined. Gravity systems can be energy-efficient but require appropriate pressure management, whereas pumped systems depend on the reliability of electricity and equipment. Reservoirs provide storage, cover peak demand, support emergency operation, and stabilize pressure. At the same time, prolonged retention, inadequate hygiene, or loss of structural tightness can contribute to deterioration of water quality. Reservoirs should therefore be treated as critical control points within a Water Safety Plan.

2.4. DISINFECTION AND CHLORINATION

Drinking-water disinfection may involve chlorine and chlorine compounds, chlorine dioxide, ozone, ultraviolet radiation, and other methods. Technology selection depends on source quality, system size, water retention time, and the operator's technical capacity (WHO, 2022, 2026).

Chlorination is particularly important in centralized systems because chlorine provides residual disinfectant protection and can reduce microbiological risks within the distribution network. Its effectiveness depends on dose, contact time, temperature, pH, and organic-matter content. Insufficient dosing may fail to ensure microbiological safety, whereas excessive dosing can increase taste and odor problems and the risk of disinfection by-products.

Georgia's drinking-water technical regulation, approved by Government Resolution No. 58, establishes requirements for organoleptic, microbiological, virological, parasitological, chemical, and radiological safety and requires suppliers to control compliance, conduct monitoring, record data, and provide access to information (Government of Georgia, 2014).

2.5. MAJOR CONTAMINANTS

Drinking-water hazards can be grouped into microbiological, chemical, physical, and radiological categories. Microbiological hazards include bacteria, viruses, and parasites. Chemical risks may be natural or anthropogenic. Naturally occurring components can originate from geological formations and hydrogeochemical processes, including arsenic, fluoride, manganese, and iron.

Agricultural activity can introduce nitrates, phosphates, and pesticides. Nitrate contamination is particularly important for groundwater because the renewal of some aquifers is a long process. Urban and domestic wastewater can contribute organic matter, nitrogen, phosphorus, and microbiological agents. Industrial activity, mining, waste, road runoff, construction, and accidental discharges add further risks. Natural events such as landslides, debris flows, and floods can rapidly alter turbidity and microbiological loads.

2.6. ABSTRACTION FLOWS, LOW-FLOW CONDITIONS, AND CLIMATE CHANGE

Drinking-water sustainability should be evaluated not only by average annual resources but also by minimum seasonal flow and its relationship to demand. Comparing average, minimum, and peak flows is essential. If source flow decreases during summer or drought while population or tourism demand increases, shortages may occur even where average annual resources appear adequate.

Identification of critical low-flow points requires long-term hydrological series, abstraction volumes, minimum flows, population and seasonal demand data, and climate scenarios. Low flow can simultaneously increase quantitative and qualitative risks because concentrations of some contaminants may rise and disinfection conditions may change. Climate change adds uncertainty through more frequent droughts, changes in snow and glacier contribution, increasing temperatures, and intense precipitation. Recent WHO guidance highlights the need to account for water scarcity and extreme events in drinking-water safety management (WHO, 2026).

2.7. WATER-SUPPLY OPERATORS AND MONITORING

Georgian Water & Power (GWP) is an important operator of the Tbilisi water-supply system. Public company information identifies the Natakhtari, Bulachauri, Saguramo, , Mukhrani Valley, and Zhinvali water-supply facilities, as well as headworks, filtration, and pumping stations (Georgian Water & Power, n.d.). The United Water Supply Company of Georgia is one of the principal regional operators and maintains a laboratory network through regional

and service centers for water-quality control (United Water Supply Company of Georgia, n.d.).

Operator performance should be assessed through four connected dimensions: water availability, quality, service continuity, and infrastructure efficiency. Laboratory compliance alone cannot describe system sustainability if water is not delivered in sufficient quantity or interruptions are frequent.

In 2025, NEA reported surface-water monitoring at 238 locations and freshwater groundwater monitoring at 72 points. The agency also conducts hydrological observations and laboratory analyses, with its laboratory accredited under ISO 17025 (NEA, 2025).

Critical control points may include intakes, wellheads, treatment and filtration stages, disinfection points, clean-water reservoirs, important network nodes, low-pressure zones, emergency-repair areas, and the consumer tap. For each point, the hazard, control parameter, critical limit, monitoring frequency, and response procedure should be defined.

2.8. INTEGRATED WATER SAFETY PLAN/GIS MODEL

The principal research innovation proposed in the article is a spatial-temporal model for integrated assessment of drinking-water quantity and quality. The proposed digital system combines hydrological flow, groundwater levels, water-quality data, abstraction volumes, infrastructure condition, climate indicators, and demand. A GIS database can represent sources, wells, headworks, reservoirs, pumping stations, pipelines, hydrological stations, quality-monitoring locations, and settlements vulnerable to low-flow conditions.

The model is conceptually aligned with the WHO Water Safety Plan approach and the EU Drinking Water Directive 2020/2184. The Water Safety Plan methodology treats drinking-water safety as a preventive, risk-based process covering the complete chain from catchment and abstraction through treatment, storage, and distribution to the final consumer (WHO, 2023, 2026). Directive 2020/2184 similarly emphasizes risk assessment at the catchment level, throughout the water-supply system, and in relation to domestic distribution systems (European Parliament & Council of the European Union, 2020).

For Georgia, the proposed Water Safety Plan/GIS model integrates these risk-based approaches with spatial information. Its conceptual sequence is: catchment → water resource → abstraction point → water-quality risks → treatment/disinfection → reservoir/pumping or gravity system → distribution network → consumer. Each stage can be evaluated according to hazard, probability, impact, and control capacity. GIS visualization can identify critical

abstraction points, high-risk catchment areas, potential contamination sources, low-flow segments, infrastructure-risk zones, and areas with water-quality problems.

The proposed model can be organized into three levels: (1) Water Safety Plan level—identification and management of risks and preparation of safety plans for important water-supply systems; (2) GIS level—spatial integration of water resources, contamination sources, infrastructure, monitoring results, and risk zones; and (3) monitoring and decision-support level—regular data updates, identification of critical points, development of early-warning indicators, and support for management decisions. Time-series analysis and machine-learning methods could be explored for low-flow forecasting by combining precipitation, temperature, snow cover, abstraction, and hydrological data. A practical outcome could be a national drinking-water risk atlas at municipal level.

3. CONCLUSION

Georgia's drinking-water sector has a substantial natural resource base but faces interconnected challenges involving source protection, seasonal flow variability, water quality, infrastructure condition, disinfection, distribution losses, and climate change. Surface and groundwater require different risk-management approaches, and water-supply sustainability cannot be assessed by resource abundance or laboratory compliance alone.

The new water-resources management framework creates a basis for integrated, basin-based, and risk-oriented management. Its implementation increases the importance of combining quantitative and qualitative monitoring, water-balance assessment, environmental-flow considerations, operator performance, and climate risks. Preventive management across the full catchment-to-consumer chain is particularly important because treatment at a single stage cannot compensate for weak source protection or unstable network conditions.

The article proposes an integrated Water Safety Plan/GIS model as a research and management direction for Georgia. By combining hydrological, hydrogeological, laboratory, infrastructure, climate, and demand data, the model could support early identification of low-flow and contamination risks, prioritization of control measures, and evidence-based investment decisions. Further research should focus on developing the database, defining indicators and critical thresholds, testing spatial and temporal models, and evaluating the model in both large urban and regional water-supply systems.

4. REFERENCES

European Parliament & Council of the European Union. (2020). *Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption (recast). Official Journal of the European Union, L 435*, 1–62. EUR-Lex – Directive (EU) 2020/2184

Georgian Water & Power. (n.d.). *Company history and water supply infrastructure information.* Georgian Water & Power
Government of Georgia. (2014, January 15). *Government Resolution No. 58 on approval of the technical regulation for drinking water.* Legislative Herald of Georgia. Legislative Herald of Georgia – Resolution No. 58
National Environment Agency. (2025, September 18). *World Water Monitoring Day.* National Environment Agency
National Environment Agency. (n.d.). *Water resources.* National Environment Agency
National Statistics Office of Georgia. (2025, June 27). *Survey of water supply enterprises (2024).* Geostat – Survey of Water Supply Enterprises (2024)
Parliament of Georgia. (2026). *Law of Georgia on water resources management.* Legislative Herald of Georgia. Legislative Herald of Georgia – Law of Georgia on Water Resources Management
United Water Supply Company of Georgia. (n.d.). *Water quality control and operational area.* United Water Supply Company of Georgia
World Health Organization. (2022). *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda.* World Health Organization – Guidelines for drinking-water quality
World Health Organization. (2023). *Water safety plan manual: Step-by-step risk management for drinking-water suppliers* (2nd ed.). World Health Organization – Water Safety Plan Manual
World Health Organization. (2026). *Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first, second and third addenda.* World Health Organization – Guidelines for drinking-water quality, 2026 edition

COLLABORATIVE GOVERNANCE IN BUILDING THE HALAL INDUSTRY ECOSYSTEM : EVIDENCE FROM CENTRAL JAVA, INDONESIA

M. Fathrezza Imani[1]
[1]Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Postgraduate, Master of Islamic Economics, Central Java, Indonesia
m.fathrezza.imani25005@mhs.uingusdur.ac.id
Hendri Hermawan Adi Nugraha[2]
[2]Islamic State University of K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Faculty of Islamic Economics and Business, Department of Sharia Economics, Central Java, Indonesia
hendri.hermawan@uingusdur.ac.id

Abstract

The expansion of Indonesia's halal industry increasingly depends on how effectively public institutions, businesses, academia, religious organizations, communities, and other stakeholders coordinate beyond certification-oriented interventions. This article examines how collaborative governance contributes to the formation of an integrated halal industry ecosystem in Central Java, Indonesia, and identifies the institutional conditions that enable or constrain such collaboration. The study adopts a qualitative case-study design based on secondary evidence, including government policy documents, Central Java provincial data, national halal-industry strategies, and peer-reviewed academic studies. The analysis applies the collaborative governance framework of Ansell and Gash and the integrative framework of Emerson, Nabatchi, and Balogh to examine institutional context, stakeholder participation, shared motivation, collaborative capacity, and joint action. The evidence indicates that Central Java has developed important foundations for collaboration through halal certification facilitation, stakeholder involvement, and regional policy support. However, collaboration remains uneven because institutional coordination, digital integration, business literacy, supply-chain connectivity, and access to supporting finance are not yet sufficiently integrated. The analysis positions collaborative governance not merely as a mechanism for accelerating certification but as an institutional architecture for connecting certification, production, finance, innovation, logistics, market access, and consumer protection within a regional halal ecosystem.

Keywords: Collaborative Governance; Halal Industry; Halal Ecosystem; Central Java; Halal Certification; MSMEs; Islamic Economy.

INTRODUCTION

The halal industry has increasingly moved beyond its traditional association with food and religious compliance. It has developed into a multidimensional economic system encompassing food and beverages, pharmaceuticals, cosmetics, fashion, tourism, logistics, financial services, and other activities connected with Muslim consumer markets. This transformation changes the analytical question surrounding halal development. The central issue is no longer simply whether a product satisfies a halal requirement, but whether the institutional, productive, financial, technological, and distributional structures surrounding that

product are sufficiently coordinated to preserve halal integrity and generate economic value. Indonesia possesses an unusual strategic position in this transformation. Its large Muslim population provides a substantial domestic market, while its manufacturing base, extensive MSME sector, and emerging Islamic economic institutions provide a potential foundation for participation in the global halal economy. Nevertheless, demographic advantage does not automatically translate into industrial competitiveness. A large consumer market can coexist with fragmented production systems, limited certification capacity, uneven business literacy, weak supply-chain integration, and insufficient coordination among institutions.

The Indonesian policy architecture has increasingly recognized this challenge. The Indonesia Islamic Economic Masterplan identifies strengthening the halal value chain as one of the major pillars of Islamic economic development and emphasizes the need for coordination across government, industry, finance, research, technology, and other stakeholders. The national policy direction therefore implicitly moves from a sectoral approach toward an ecosystem approach in which the performance of one component depends on its relationship with other components. Halal certification represents an important entry point into this ecosystem. Indonesia's halal assurance framework has been strengthened through Law No. 33 of 2014 concerning Halal Product Assurance and subsequent regulations. The first phase of mandatory halal certification formally took effect on 18 October 2024, while the second phase expands mandatory certification to broader product categories, including products associated with micro and small enterprises, beginning on 18 October 2026. This policy transition creates both opportunities and governance pressures. Certification can increase consumer confidence and provide market legitimacy, but it also requires institutional capacity, business assistance, competent halal personnel, inspection infrastructure, and effective communication.

The challenge becomes more complex at the regional level. National regulation establishes the institutional framework, but implementation frequently occurs through provincial and local governments, business associations, universities, halal centers, religious organizations, community networks, and individual entrepreneurs. Regional governments therefore occupy an important position between national regulatory objectives and local economic realities. Central Java offers a particularly relevant setting for examining this issue. The province combines a large Muslim population with a diverse economic structure and extensive MSME activity. In January 2024, the Central Java Provincial Government reported that approximately 4,700 MSME actors had obtained halal certification and announced the facilitation of around 500 additional halal certificates during 2024. The provincial government also linked certification with consumer confidence, product differentiation, and access to halal markets. These developments demonstrate that halal governance is not an exclusively national policy issue; it has become part of regional economic development. However, the existence of multiple actors does not necessarily constitute collaborative governance. Ansell and Gash (2008) conceptualize collaborative governance as a process in which public agencies and non-state stakeholders participate directly in collective decision-making through deliberative and consensus-oriented arrangements. Emerson, Nabatchi, and Balogh (2012) extend this perspective by emphasizing system context, drivers, collaborative governance regimes, and collaboration dynamics. From this perspective, the presence of government, business,

academia, community, and media actors is insufficient unless they share information, develop mutual trust, mobilize resources, and undertake joint action.

Existing research on Indonesia's halal ecosystem has established the importance of interinstitutional cooperation. Rachman and Sangare (2023), for example, demonstrate that halal certification programs require collaboration between BPJPH and non-state institutions, including universities, educational foundations, community organizations, and associations. Research using the pentahelix perspective similarly indicates that business actors, government, media, academia, and community have different but interconnected roles in halal-industry development. Maulana et al. (2025) found that business actors represent a critical element of the pentahelix model, while government support and halal knowledge are particularly important determinants. Nevertheless, much of the existing literature either examines halal certification, halal supply chains, or the national halal ecosystem separately. This creates an analytical gap. Certification is often treated as an administrative outcome; supply-chain research focuses on operational integrity; and ecosystem studies frequently describe stakeholder roles without sufficiently explaining the governance mechanism connecting them. Consequently, there remains a need to understand how collaboration operates as an institutional mechanism linking these otherwise fragmented components.

This article addresses that gap by examining collaborative governance as an institutional architecture for regional halal ecosystem development. Rather than treating certification as the final objective, the study conceptualizes certification as one component of a broader system involving regulation, production, finance, supply chains, digital infrastructure, knowledge, innovation, and market development.

The study asks three research questions:

1. How is collaborative governance manifested in the development of the halal industry ecosystem in Central Java?
2. What institutional and organizational factors facilitate or constrain collaboration among halal-industry stakeholders?
3. How can collaborative governance be strengthened to create a more integrated and sustainable regional halal ecosystem?

The study makes three contributions. First, it connects collaborative governance theory with halal ecosystem analysis, thereby moving beyond a certification-centered interpretation of halal governance. Second, it provides a regional perspective by examining Central Java as an intermediate governance arena between national policy and local business realities. Third, it proposes an integrated collaborative governance model in which certification, supply chains, finance, knowledge, digitalization, and market access are treated as mutually reinforcing components.

The article is structured as follows. The next section discusses the conceptual foundations of collaborative governance and the halal industry ecosystem. The methodology then explains the qualitative case-study and document-analysis approach. The results identify the principal patterns emerging from the Central Java evidence. The discussion interprets these findings through collaborative governance theory and develops the article's principal theoretical contribution. The final section presents conclusions and implications for research and policy.

LITERATURE REVIEW AND THEORETICAL FRAMEWORK

1. COLLABORATIVE GOVERNANCE

Collaborative governance emerged partly in response to the limitations of hierarchical government and purely market-based coordination. Complex policy problems frequently involve multiple actors possessing different resources, expertise, authority, and interests. No single organization can therefore address the problem independently. Ansell and Gash (2008) define collaborative governance through several defining characteristics: public agencies initiate or participate in collaborative arrangements; non-state stakeholders are directly involved; stakeholders engage collectively in decision-making; processes are formally organized; deliberation is oriented toward consensus; and collaboration is intended to produce or implement public policy or manage public resources. Their model highlights starting conditions, institutional design, facilitative leadership, and collaborative process. Starting conditions include power asymmetry, incentives for participation, and previous histories of cooperation or conflict. Institutional design concerns rules governing participation and transparency. Facilitative leadership is needed to overcome differences among actors. The collaborative process itself involves face-to-face dialogue, trust building, commitment, shared understanding, and intermediate outcomes.

Emerson, Nabatchi, and Balogh (2012) broaden the analysis by presenting collaborative governance as a system consisting of system context, drivers, a collaborative governance regime, and collaborative dynamics. Collaborative dynamics encompass principled engagement, shared motivation, and capacity for joint action. These concepts are highly relevant to the halal industry. The halal ecosystem includes actors whose authority and interests differ substantially. Government agencies possess regulatory authority; halal certification institutions possess technical authority; businesses possess production and market resources; universities provide knowledge and human resources; financial institutions provide capital; religious organizations provide religious legitimacy; communities generate social trust; and digital actors facilitate information and traceability. The challenge is therefore not simply stakeholder participation but coordination among heterogeneous forms of authority.

2. THE HALAL INDUSTRY AS AN ECOSYSTEM

The ecosystem perspective views economic development as the outcome of interactions among interdependent actors rather than isolated firms or sectors. In the halal context, this is particularly important because halal status cannot always be guaranteed at the final production stage alone. It may depend on raw materials, production facilities, storage, transportation, packaging, certification, and information provided to consumers. Recent research on the halal value chain emphasizes the need to understand halal activities across interconnected stages rather than as isolated certification events. Nabila and Pradana (2025), for example, review the halal value-chain literature and demonstrate the multidimensional nature of halal value creation.

Similarly, research on halal supply-chain resilience emphasizes that halal resilience differs from conventional supply-chain resilience because maintaining halal integrity remains necessary even under disruption. Harwati (2025) identifies government policy, certification, and stakeholder responsibility as important components of halal supply-chain resilience. An ecosystem approach therefore requires integration across at least six dimensions:

1) Regulation and Governance;
2) Halal Production and Entrepreneurship;
3) Islamic Finance;
4) Halal Supply Chains and Logistics;
5) Innovation and Digitalization;
6) Market Development and Consumer Awareness.

3. FROM PANTAHELIX PARTICIPATION TO COLLABORATIVE GOVERNANCE

The pentahelix model is frequently used to describe cooperation among government, business, academia, community, and media. Although useful for mapping stakeholders, a stakeholder list does not automatically demonstrate governance collaboration. Collaborative governance provides a deeper analytical lens because it asks how stakeholders interact, how trust is constructed, how decisions are made, how resources are pooled, and how joint action is sustained.

Maulana et al. (2025) provide empirical support for this distinction by showing that stakeholder roles are not equally influential. Their ANP study places business actors as the first priority, followed by media, government, academia, and community, while government support and halal knowledge emerge as particularly important sub-elements. This suggests that an effective halal ecosystem cannot be designed solely through government intervention. Government remains important because it provides regulation and institutional legitimacy, but business capability, knowledge, market incentives, and social networks are equally important.

METHOD

1. RESEARCH DESIGN

This study employs a qualitative case-study design focusing on Central Java, Indonesia. The research uses secondary evidence and qualitative document analysis rather than primary interviews or surveys. This design was selected because the research questions concern institutional arrangements, stakeholder relationships, policy implementation, and governance dynamics rather than statistical estimation of causal effects. The Central Java case is bounded geographically at the provincial level and analytically around the development of the halal industry ecosystem. The period of analysis emphasizes recent developments surrounding the implementation of halal-product assurance policy, particularly the transition from the first mandatory-certification phase in 2024 toward the expanded mandatory-halal regime in 2026.

2. DATA SOURCES

The evidence was derived from four categories of sources, such as :

1) Government and institutional documents were examined, including materials published by BPJPH, the Central Java Provincial Government, KNEKS, and other relevant public institutions.
2) Provincial data were considered, including the Central Java government dataset concerning industries receiving halal-certification facilitation. The provincial data portal identifies this dataset as covering small and medium industries receiving halal-certification assistance from the provincial Department of Industry and Trade.
3) Peer-reviewed academic literature concerning collaborative governance, halal certification, halal ecosystems, pentahelix governance, MSMEs, and halal supply chains was reviewed.
4) Regulatory documents were used to establish the institutional context of halal assurance and its implementation.

3. ANALYTICAL PROCEDURE

The documents were analyzed through thematic analysis. The analytical process consisted of four stages.

1) Relevant documents were identified according to their relevance to collaborative governance and halal ecosystem development.
2) Evidence was coded according to five analytical dimensions:
   - ✓ Institutional Context;
   - ✓ Stakeholder Participation;
   - ✓ Shared Motivation And Trust;
   - ✓ Capacity For Joint Action; And
   - ✓ Ecosystem Outcomes.
3) Evidence was compared across sources to identify convergent and divergent patterns.
4) The findings were interpreted through the collaborative governance frameworks of Ansell and Gash (2008) and Emerson et al. (2012). The analysis does not claim that the secondary evidence represents every halal-industry stakeholder in Central Java. Instead, it seeks to identify institutional patterns that can explain how the regional halal ecosystem is being constructed and where governance gaps remain.

4. RESEARCH VALIDITY

Credibility was strengthened through source triangulation. Claims concerning regional policy and certification facilitation were compared with official government sources, while theoretical and empirical interpretations were grounded in peer-reviewed research. The study also distinguishes between direct evidence from official documents and analytical interpretations derived from the literature. Because no primary interviews were conducted, the study does not attribute opinions or statements to unidentified informants. This methodological limitation is important because it prevents the results from being interpreted as a survey of stakeholder perceptions.

RESULTS AND DISCUSSION

1. THE EMERGENCE OF A REGIONAL COLLABORATIVE ARCHITECTURE

The evidence indicates that Central Java's halal ecosystem is increasingly characterized by multiple institutions participating in certification, business assistance, knowledge dissemination, and economic development. The provincial government has explicitly supported halal certification for MSMEs. In January 2024, the provincial government reported approximately 4,700 certified MSME actors and planned to facilitate approximately 500 additional certificates during that year. This intervention illustrates a shift from a purely regulatory model toward a facilitative model. Rather than relying exclusively on businesses to navigate certification independently, government provides assistance intended to reduce implementation barriers.

At the national level, BPJPH provides the regulatory and institutional framework for halal assurance, while universities, halal centers, religious organizations, associations, and other organizations participate in education, assistance, and certification-related processes. Previous Indonesian research has found that BPJPH's implementation of halal certification relies substantially on collaboration with non-state organizations. Thus, the regional halal ecosystem can be represented as a network rather than a hierarchy:

National regulation → provincial facilitation → local implementation → business adoption → market recognition.

2. CERTIFICATION AS AN ENTRY POINT RATHER THAN AN END POINT

A central finding is that halal certification should be interpreted as an entry mechanism into the halal ecosystem rather than the final outcome of ecosystem development. Certification creates formal recognition of halal compliance, but its economic value depends on whether certified businesses can translate compliance into improved market access, productivity, branding, finance, and supply-chain participation.

This argument is consistent with empirical evidence showing a positive relationship between halal certification and MSME performance. A study involving 925 Indonesian MSMEs found that halal certification was positively associated with operational and financial performance, with operational performance mediating part of the relationship between certification and financial performance. Consequently, a regional government program that measures success solely through the number of certificates issued risks adopting an overly narrow performance indicator. A more meaningful evaluation should consider whether certification leads to stronger business capability and participation in halal value chains.

3. BUSINESS ACTORS AS CENTRAL ECOSYSTEM PARTICIPANTS

The evidence also indicates that business actors occupy a particularly important position in collaborative governance. Businesses ultimately implement halal requirements within production and distribution systems and convert certification into economic value. Maulana et al. (2025) find that business actors represent the highest-

priority element within the pentahelix model of halal-industry development. Their study also identifies government support and business-level halal knowledge as important priorities. This finding has an important governance implication. Businesses should not be treated merely as policy recipients. They should participate in designing regional programs, identifying practical barriers, developing market-oriented solutions, and evaluating whether government assistance is producing meaningful economic outcomes.

For MSMEs, this is particularly important because certification requirements may interact with resource constraints. Research on Indonesian MSMEs identifies government support, compatibility, and competitive intensity as significant factors influencing the intention to obtain halal certification, while halal knowledge and consumer pressure do not always produce significant effects. Therefore, simply increasing halal awareness may not be sufficient. Collaborative governance must address structural barriers such as administrative complexity, business compatibility, financial capacity, technical assistance, and market incentives.

Although collaboration exists, the evidence indicates that coordination is not yet fully integrated. The Indonesian halal ecosystem contains multiple institutions with partially overlapping responsibilities. BPJPH provides the regulatory framework, while local governments, universities, halal centers, religious organizations, business associations, and community institutions may provide assistance. Previous research identifies the need for stronger cross-sectoral synergy because certification implementation involves regulations, budgets, technical capacity, and multiple institutional actors. This produces a paradox. Indonesia has more institutional actors participating in the halal ecosystem than before, but greater institutional density can generate coordination costs if responsibilities, information systems, and performance indicators are not aligned. In collaborative-governance terms, participation does not automatically generate collaboration. Collaboration requires institutional design that makes interaction predictable, information accessible, and collective outcomes measurable.

4. DIGITALIZATION AND TRACEABILITY AS MISSING LINKS

Halal certification increasingly requires reliable information about ingredients, suppliers, production processes, documentation, and traceability. The challenge therefore extends beyond obtaining a certificate to maintaining halal integrity across the value chain. Recent research on Indonesian halal cosmetics identifies the absence of effective traceability systems as a major barrier to halal supply-chain implementation and highlights technological collaboration as an important strategic response.

For Central Java, this suggests that the regional halal ecosystem should not be developed exclusively through face-to-face assistance. Digital platforms could connect certification information, business assistance, raw-material suppliers, financing, logistics, marketplaces, and consumer information. The important point is that digitalization should not be understood merely as an administrative convenience. It can

become governance infrastructure by reducing information asymmetry and enabling different institutions to work with a shared information base.

The halal ecosystem also requires stronger integration between halal production and Islamic finance. A certified MSME may still face difficulties expanding production if it lacks working capital, investment financing, or access to financial institutions. Conversely, Islamic financial institutions may have difficulty identifying suitable halal-sector businesses without reliable business and certification information. The ecosystem perspective therefore requires the development of institutional bridges between halal certification and financing. This is consistent with the broader policy direction of integrating the real-sector halal economy with Islamic finance. The national masterplan emphasizes ecosystem integration rather than the isolated development of financial and real-sector institutions.

5. A COLLABORATIVE GOVERNANCE MODEL FOR CENTRAL JAVA

The findings support a model with five interconnected layers.

1) **Institutional foundation**
   National regulation, BPJPH, provincial government, and local government establish the legal and administrative framework.
2) **Collaborative infrastructure.**
   Halal centers, universities, religious organizations, business associations, communities, and media facilitate knowledge, mentoring, and communication.
3) **Enterprise capability.**
   MSMEs and larger businesses transform regulatory requirements into production, innovation, branding, and market strategies.
4) **Ecosystem connectivity.**
   Islamic finance, halal logistics, digital platforms, suppliers, marketplaces, and export-support institutions connect businesses with upstream and downstream markets.
5) **Economic and social outcomes.**
   The expected outcomes include consumer trust, business competitiveness, employment, market expansion, value creation, and broader Islamic economic development.

6. REINTERPRETING HALAL GOVERNANCE THROUGH COLLABORATIVE GOVERNANCE THEORY

The first theoretical implication concerns the meaning of halal governance. A narrow regulatory interpretation defines halal governance primarily as the state's ability to enforce certification requirements. Such an approach is necessary but insufficient for an ecosystem containing numerous independent actors. The evidence from Central Java is more consistent with the collaborative-governance perspective of Ansell and Gash (2008), in which public and non-state actors collectively participate in addressing complex policy problems. The halal industry represents precisely this type of problem. Government possesses regulatory authority but cannot directly manage every production process, supply-chain relationship, technological innovation, consumer

interaction, or financing decision. Businesses possess operational knowledge but cannot establish regulatory legitimacy independently. Universities possess knowledge and human resources but require institutional partners to translate knowledge into practice. Religious institutions provide normative legitimacy but require administrative and economic partners to operationalize halal principles.

The resulting governance problem is therefore one of interdependence. The theoretical contribution of this study is to position interdependence rather than stakeholder multiplicity as the defining feature of halal collaborative governance. An ecosystem becomes collaborative not because many institutions are present, but because no single institution can achieve the desired outcome without the resources of others.

7. FROM CERTIFICATION GOVERNANCE TO ECOSYSTEM GOVERNANCE

A second contribution concerns the distinction between certification governance and ecosystem governance. Certification governance focuses on whether businesses comply with halal requirements. Ecosystem governance asks a broader question: whether the institutional environment enables certified businesses to grow, innovate, access finance, enter supply chains, and reach markets. This distinction matters because certification can become an administrative burden if not accompanied by economic support. Research on barriers to halal certification confirms that Indonesian micro and small enterprises face multiple obstacles requiring coordinated strategies rather than certification campaigns alone.

Therefore, a regional halal policy should not measure success primarily by certificate counts. Certification should be connected with:

- ✓ Post-Certification Business Mentoring;
- ✓ Halal Branding;
- ✓ Access To Islamic Finance;
- ✓ Procurement Opportunities;
- ✓ Digital Marketplaces;
- ✓ Halal Logistics;
- ✓ Export Promotion; And
- ✓ Product Innovation.

8. TRUST AND SHARED MOTIVATION AND THE ROLE OF UNIVERSITIES AND KNOWLEDGE INSTITUTIONS

Collaborative governance also depends on trust. In a fragmented institutional environment, stakeholders may possess different incentives. Government may prioritize regulatory compliance, businesses may prioritize profitability, universities may prioritize knowledge production, religious organizations may prioritize normative compliance, and communities may prioritize consumer protection. These interests are not necessarily contradictory, but they do not automatically converge.

The collaborative-governance framework suggests that dialogue and shared understanding are necessary for transforming divergent interests into collective objectives. In the halal ecosystem, such a shared objective can be formulated around halal integrity plus economic value creation. This formulation is important because it

avoids treating halal compliance and economic development as competing goals. Properly designed, halal governance can connect religious assurance with market differentiation, consumer trust, and business competitiveness.

A further issue concerns power asymmetry. MSMEs often depend on government assistance, certification facilitators, suppliers, financial institutions, and marketplaces. Larger firms generally possess greater administrative capacity and bargaining power. Ansell and Gash's framework identifies starting conditions, including power asymmetry and resource disparities, as important determinants of collaboration. The Central Java case therefore indicates that inclusive collaboration cannot simply invite all actors to participate under identical conditions. MSMEs require differentiated institutional support. This may include simplified procedures, subsidized certification, technical assistance, shared laboratories, common digital infrastructure, and accessible financing. The purpose is not to protect inefficient firms indefinitely but to reduce structural barriers that prevent capable MSMEs from participating in the halal value chain.

Universities represent another important but frequently underutilized actor. Their role should extend beyond seminars and certification assistance. Universities can provide halal supply-chain research, product innovation, testing facilities, digital solutions, business incubation, human-resource development, and impact evaluation. Rachman and Sangare's findings show that universities and other non-state institutions already play an important role in supporting halal certification. The next step is to institutionalize these contributions as long-term ecosystem functions. A collaborative governance arrangement could therefore establish regional halal innovation platforms involving universities, government, businesses, and financial institutions.

9. DIGITAL GOVERNANCE AND TRACEABILITY

Digitalization should be understood as a governance mechanism rather than merely a technological intervention. If certification data, business information, financing eligibility, supplier information, and market access remain stored in disconnected institutional systems, stakeholders will continue to experience information asymmetry. Such a system could strengthen what Emerson et al. (2012) call capacity for joint action by improving access to information and resources. An integrated digital ecosystem could provide a shared infrastructure for:

1. Certification Status;
2. Halal-Assurance Documentation;
3. Business Profiles;
4. Halal Raw-Material Suppliers;
5. Financing Opportunities;
6. Training And Mentoring;
7. Marketplaces; And
8. Supply-Chain Traceability.

10. TOWARD A REGIONAL HALAL GOVERNANCE PLATFORM

The principal novelty of this study is the proposition that Central Java requires not merely a collection of halal programs but a **Regional Collaborative Halal Governance**

Platform. Such a platform would not necessarily require the creation of a new bureaucratic institution. Instead, it could function as a coordination mechanism connecting existing organizations. Its functions could include:

- ✓ Joint Strategic Planning;
- ✓ Integrated Stakeholder Mapping;
- ✓ Shared Data Infrastructure;
- ✓ Msme Identification And Segmentation;
- ✓ Certification Assistance;
- ✓ Financing Referrals;
- ✓ Halal Supply-Chain Development;
- ✓ Innovation Programs;
- ✓ Export Facilitation; And
- ✓ Periodic Evaluation.

The platform should use outcome-based indicators rather than activity-based indicators. For example, the number of certificates issued should be complemented by indicators such as:

- ✓ Percentage Of Certified Msmes That Remain Active;
- ✓ Changes In Business Turnover;
- ✓ Market Expansion;
- ✓ Financing Access;
- ✓ Participation In Halal Supply Chains;
- ✓ Digital Adoption;
- ✓ Employment Generation; And
- ✓ Export Readiness.

11. POLICY IMPLICATIONS

The recommendations are consistent with the broader direction of Indonesian halal policy, which increasingly treats halal development as an ecosystem involving regulation, business, finance, technology, and collaboration, such as :

1) The provincial government should move from **certificate facilitation to post-certification ecosystem development**. Certification should trigger access to mentoring, finance, digital markets, and supply-chain opportunities.
2) Stakeholder collaboration should be institutionalized through **regular cross-sectoral coordination mechanisms**. These mechanisms should include measurable joint outcomes rather than simply ceremonial participation.
3) Digital integration should become a priority. A regional halal information platform could reduce duplication and enable government, certification institutions, businesses, universities, and financial institutions to operate using compatible information.

CONCLUSION

This study argues that the development of Central Java's halal industry cannot be adequately understood through the lens of certification alone. Certification is an essential institutional gateway, but the economic and social value of halal assurance depends on what

happens after certification: whether businesses gain access to finance, supply chains, digital markets, innovation, and consumers. The Central Java evidence demonstrates the emergence of a collaborative architecture involving government, business actors, universities, religious and community institutions, and other stakeholders. Nevertheless, the collaboration remains fragmented because institutional coordination, information systems, digital traceability, business capability, and ecosystem financing are not yet sufficiently integrated.

The study contributes theoretically by reframing halal governance as a form of collaborative ecosystem governance. The central unit of analysis is therefore not the certificate or individual institution but the relationship among interdependent actors. This perspective extends collaborative governance theory into the halal-industry context by showing that effective governance requires the alignment of regulatory legitimacy, business capability, religious assurance, knowledge resources, financial capacity, and market connectivity. For Central Java, the strategic priority is consequently to develop a regional collaborative halal-governance platform that connects existing institutions rather than merely creating additional programs. Future empirical research should test this framework through primary interviews, network analysis, and quantitative assessment of whether collaborative intensity produces measurable improvements in MSME performance, halal value-chain participation, and regional economic outcomes.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors acknowledge the contributions of public institutions, academic communities, halal-industry stakeholders, and organizations that have made policy documents and publicly accessible information concerning halal-industry development available for scholarly analysis. The authors also acknowledge the Central Java Provincial Government and national halal-policy institutions for maintaining publicly accessible information relevant to halal certification and ecosystem development.

AUTHOR CONTRIBUTIONS STATEMENT

The author was responsible for conceptualization, development of the theoretical framework, literature review, research design, data-source identification, qualitative document analysis, interpretation of findings, manuscript preparation, critical revision, and final approval of the manuscript.

AI USAGE STATEMENT

Generative artificial intelligence tools were used as research-support and language-assistance tools during manuscript preparation, including assistance with language refinement, structural organization, and identification of potentially relevant literature. The authors retained responsibility for the research design, interpretation of evidence, accuracy of citations, theoretical arguments, methodological decisions, and final content of the manuscript. AI-generated material was reviewed and revised by the authors before submission.

CONFLICT OF INTEREST

The author declares that there is no conflict of interest associated with the research, authorship, or publication of this article

BIBLIOGRAPHY

Ansell, C., & Gash, A. (2008). Collaborative governance in theory and practice. *Journal of Public Administration Research and Theory, 18*(4), 543–571. https://doi.org/10.1093/jopart/mum032

Emerson, K., Nabatchi, T., & Balogh, S. (2012). An integrative framework for collaborative governance. *Journal of Public Administration Research and Theory, 22*(1), 1–29. https://doi.org/10.1093/jopart/mur011

Fathoni, M. A., Priyatno, P. D., Faizi, F., Wiryanto, F. S., Rachbini, W., & Suryani. (2025). Unlocking barriers and strategies of halal certification for micro and small enterprises in Indonesia: Analytic network process approach. *Problems and Perspectives in Management, 23*(1), 169–180. https://doi.org/10.21511/ppm.23(1).2025.13

Fianto, B. A. (2026). Factors influencing behavior intention to obtain halal certificate: Study on MSMEs in Indonesia and Malaysia. *Journal of Islamic Marketing, 17*(1). https://doi.org/10.1108/JIMA-09-2024-0446

Harwati. (2025). Resilience in halal supply chain: From definition to framework. *Journal of Islamic Marketing, 16*(8), 2187–2223. https://doi.org/10.1108/JIMA-02-2024-0067

Hidayat, Y., Machmud, A., Zulhuda, S., & Suartini. (2025). Legal aspects and government policy in increasing the role of MSMEs in the halal ecosystem. *F1000Research*. https://doi.org/10.12688/f1000research.148322.3

Maulana, H., Mohd Thas Thaker, M. A. B., Zarkasyi, M. R., Taufani, M. K., & Ramdani Harahap, S. A. (2025). Determinants of pentahelix model in developing the halal industry in Indonesia: Analytic network process (ANP) approach. *Indonesian Journal of Halal Research, 7*(1), 47–61. https://doi.org/10.15575/ijhar.v7i1.34911

Mansur, M., Yasid, A., & Faqih, R. (2025). Building bonds through certification: Collaborative governance and social-economic outcomes in Indonesia's halal ecosystem. *ASEAN Journal of Halal Study, 2*(2), 1–9. https://doi.org/10.26740/ajhs.v2i2.50310

Nabila, F. S., & Pradana, M. (2025). Halal value chain: A structured literature review and meta-analysis. *Journal of Islamic Marketing, 16*(4), 1095–1117. https://doi.org/10.1108/JIMA-12-2023-0387

Nopriansyah, W., Muntazhor, A. W., Chantika, Z., Choiriyah, C., & Meriyati. (2025). Halal certification for MSMEs: Protection of the five basic aspects of life (ad-dharuriyyah al-khamsah) and strategies to strengthen its implementation. *Istinbath, 24*(1), 155–170. https://doi.org/10.20414/ijhi.v24i1.966

Rachman, A., & Sangare, B. (2023). Synergy and collaboration between government and private institutions in building halal ecosystems in Indonesia. *Jurnal Ilmiah Islam Futura, 23*(2). https://doi.org/10.22373/jiif.v23i2.17507

Rafiuddin, M., Ramadhan, D. A., & Azizah, S. N. (2024). Halal certification for MSMEs: Navigating perceptions and implementations through the lens of *Maslahah Mursalah*. *Muttaqien; Indonesian Journal of Multidisciplinary Islamic Studies*, *5*(2), 135–151. https://doi.org/10.52593/mtq.05.2.03

Wati, S., Rizzana, S., & Barzenji, Z. (2025). Development of halal slaughterhouse as an effort to strengthen the halal supply chain through a collaborative governance approach. *Amorti: Jurnal Studi Islam Interdisipliner, 4*(4). https://doi.org/10.59944/amorti.v4i4.504

Zohara, L., & Nurhadi, B. (2026). An integrated conceptual framework of the halal industry ecosystem for strengthening the Islamic economy. *HALAL INTERNATIONAL JOURNAL of Walisongo Halal Center, 2*(2), 73–79. https://doi.org/10.21580/halalin.2025.2.2.26

Komite Nasional Ekonomi dan Keuangan Syariah. (2019). *Indonesia Islamic Economic Masterplan 2019–2024*. KNEKS.

Pemerintah Provinsi Jawa Tengah. (2024). *Pemprov Jateng berikan bimtek dan fasilitasi 500 sertifikat halal ke UMKM*. Pemerintah Provinsi Jawa Tengah.

Badan Penyelenggara Jaminan Produk Halal. (2024). *Masa penahapan usai, kewajiban sertifikasi halal berlaku mulai 18 Oktober 2024*. Kementerian Agama Republik Indonesia.

Badan Penyelenggara Jaminan Produk Halal. (2026). *Tak hanya makanan-minuman, jenis produk yang wajib bersertifikat halal mulai 18 Oktober 2026*. Kementerian Agama Republik Indonesia.

Badan Penyelenggara Jaminan Produk Halal. (2026). *Di Forum TBT WTO, Indonesia tegaskan komitmen implementasi wajib halal Oktober 2026*. Kementerian Agama Republik Indonesia.

ECOLOGICAL SAFE IRRIGATION WITH AN INNOVATIVE IRRIGATION SYSTEM

Vakhtang Nanitashvili
Georgian Technical University (GTU), Faculty of Construction, Department of Hydroingineria, Tbilisi, Georgia**.**
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-0979-8720

Abstract

Irrigation of Strategic Cultures the improved Irrigation unit of positional action.

The question of the irrigation of tea and citrus cultures is discussed as a significant measure which gives a guarantee of the achievement of high and qualitative harvest oriented on the increase of export production.

Construction diagrams of the irrigation water-sprinkler for tea and citrus plantations, main units and principles of operation as well as engineering data and irrigation technology are given.

Keywords: irrigation erosion, sprinkling machines, freshet, soil.

‘LIFE WITHOUT PRINCIPLE’: RETRIBUTION IN PROVERBS 2:10 -15 AND YOUTH CULTISTS IN BENUE STATE, NIGERIA

Favour C. Uroko[1,2] (Ph.D) & Esias Meyers (Ph.D)[1]

1. Department of Old Testament and Hebrew Scriptures, Faculty of Theology and Religion, University of Pretoria, South Africa
2. Department of Religion and Cultural Studies, Faculty of the Social Sciences, University of Nigeria, Nsukka

Abstract

This article aims to provide a glimpse into how biblical wisdom in Proverbs 2:10-15 can be used to prevent the Benue youths from becoming victims of or getting involved in youth cultism. Proverbs 2:10 -15 is a critical ethical hermeneutical framework for youth involvement in evil and crime. Proverbs 2:10-15 contains a wealth of information concerning the biblical retributive principle that emphasizes the importance of wisdom, discretion, and understanding and their role as protection from calamity and misfortune which are important parameters in managing the increasing involvement of youth in cultism in Benue State. In different communities in Benue state cult-related activities are no longer confined to academic environments but have permeated street gangs, motor parks, political campaigns, markets, and neighborhoods, becoming a major source of insecurity and violent crime. The issue of cultism has been approached from the security, political, economic perspectives yet the issue of cultism has continued to escalate in Benue State. The sidelined Old Testament perspective, particularly from the wisdom corpus was used to bridge the gap in scholarship. This study adopted the rhetorical analysis through close reading of the pericope within an African hermeneutical framework. The findings were reflected in emerged themes such as: i) wisdom and youth discernment; ii) peer pressure; iii) The “Way” as Life choices; iv) The attraction to wrong actions; and v) consequences of crooked path in cultism. The study provided theological and practical implications. The wisdom of Proverbs 2:10-15 is a warning to the Nigerian youths, and particularly the Benue State youths to shun bad association, which leads to the destruction of their lives, family, and property.

Keywords: Retribution, Proverbs 2:10 -15, wisdom, youth cultism, Benue State

INTEGRATING TECHNOLOGY-ASSISTED INSTRUCTION FOR STUDENTS WITH LEARNING DISABILITIES: A PATHWAY TO INCLUSIVE AND EFFECTIVE EDUCATION IN NIGERIA

AHMED ABDULLAHI BARKUTA
barkuta01@gmail.com
UMARU SANDA AHMADU COLLEGE OF EDUCATION, MINNA SCHOOL OF EDUCATION

DEPARTMENT OF EDUCATIONAL PSYCHOLOGY

Abstract

This paper examines the transformative role of technology-assisted instruction (TAI) in promoting inclusive and effective education for students with learning disabilities (LDs). Students with LDs often face challenges in reading, writing, and processing information despite having average or above-average intelligence. TAI, which includes tools such as text-to-speech software, speech-to-text applications, audiobooks, and adaptive learning platforms, offers personalized, accessible, and engaging instructional support modified to individual learning needs. Practical evidence highlights that students using assistive technologies demonstrate improved comprehension, confidence, and academic performance compared to traditional instructional methods. The integration of technology fosters personalized learning, enhances engagement through interactive media, and provides data-driven insights for targeted interventions. However, challenges such as limited access to resources, inadequate teacher preparedness, and high implementation costs hinder widespread adoption. To maximize benefits, the paper recommends increased funding, comprehensive teacher training, collaborative implementation strategies, equitable access initiatives, and continuous evaluation of technological impact. The paper concludes that technology-assisted instruction is not merely an optional supplement but a fundamental pathway toward inclusive education, enabling students with learning disabilities to reach their full potential and ensuring educational equity in the digital era.

Keywords: Technology-assisted instruction, inclusive education, learning disabilities, and assistive technology.

Introduction

Students with learning disabilities (LDs) represent a remarkably diverse and complex group of learners who encounter significant, complex challenges within traditional classroom environments that were primarily designed with neurotypical learners in mind. These disabilities, which encompass a broad spectrum including dyslexia (difficulties with reading and language processing), dysgraphia (challenges with writing and fine motor skills), dyscalculia (struggles with mathematical concepts and numerical processing), auditory processing disorders (difficulties interpreting auditory information), visual processing disorders, attention deficit disorders, and various combinations thereof, can substantially hinder students' ability to read fluently, write coherently, perform mathematical computations accurately, process information efficiently, and demonstrate their true knowledge and capabilities through conventional assessment methods (Koweru, Omoke & Orodho, 2024).

Despite possessing average or above-average cognitive abilities and intellectual potential, many students with LDs consistently struggle to meet standardized academic expectations and benchmarks without access to specialized, evidence-based interventions and accommodations, personalized to their specific learning profiles (Lawal, 2021). This discrepancy between their inherent intellectual capacity and their academic performance often leads to frustration, diminished self-confidence, social-emotional challenges, and lost educational opportunities. The gap between potential and achievement can have long-lasting consequences that extend far beyond the classroom, affecting career prospects, self-perception, and overall quality of life (Nwobodo & Udoka, 2025).

In today's rapidly evolving digital age, technology has emerged as a remarkably powerful, versatile, and transformative tool that can effectively bridge these persistent learning gaps and create more inclusive, accessible, and equitable educational environments for all learners. Technology-assisted instruction refers to the deliberate, strategic, and pedagogically sound use of digital tools, adaptive software, assistive technologies, multimedia resources, and innovative platforms to enhance learning outcomes, personalize educational experiences, and provide robust support for students' diverse and individual needs (Cleopas, 2025). This approach moves beyond simply incorporating technology for its own sake and instead focuses on leveraging digital innovations in ways that directly address specific learning challenges and amplify students' strengths.

This paper advances the argument that the systematic, thoughtful, and comprehensive integration of technology-assisted instruction is not merely beneficial or supplementary, but rather essential and foundational in supporting students with learning disabilities in reaching their full academic and personal potential (Broere & Kruger, 2020). The paper contends that with appropriate implementation strategies, sustained and comprehensive teacher training and professional development, adequate funding and resource allocation, ongoing technical support, and strong institutional and policy support at local, state, and federal levels, technology can effectively unlock previously untapped potential, remove traditional barriers to learning, provide alternative pathways to success, and genuinely level the playing field for students with LDs, transforming educational experiences from sources of frustration into opportunities for achievement, growth, and empowerment (Buddha, Shuib, Idris & Eke, 2024).

According to Lerner (2020), learning disabilities encompass a range of disorders that impair key academic abilities, such as listening, speaking, reading, writing, reasoning, or math skills. These disorders can make it difficult for affected individuals to process information in a way

that supports academic success. In the context of Nigerian secondary schools, students with learning disabilities often struggle to keep up with the standard curriculum because it is typically designed for neurotypical learners and does not address the unique needs of students with learning disabilities. Mainstream education in Nigeria tends to adopt a "one-size-fits-all" approach, which limits the opportunities for students with learning disabilities to fully engage and excel (Johnson & Peters, 2023). Research has shown that without tailored interventions, such as individualized education plans (IEPs), differentiated instruction, or specialized learning strategies, these students may experience academic failure and low self-esteem (Abdullahi, Ibrahim & Yusuf, 2023). Including these students requires a collaborative effort that involves not only curriculum modification but also the provision of appropriate learning materials and assistive technologies to support diverse learning styles (Oyetunde, Nuhu, & Bala, 2022). Educational psychologists and special education professionals play a critical role in designing interventions that accommodate the needs of students with learning disabilities within the Nigerian education system.

According to Tabowei (2021), inclusive education is an educational approach that ensures all learners, regardless of their physical, intellectual, social, emotional, linguistic, or other conditions, are provided with equal opportunities to learn together in the same classroom and school environment. It is built on the principle that every child has the right to quality education and that schools should adapt to meet the diverse needs of all learners, rather than expecting learners to fit into a rigid system. Inclusive education means that students with and without disabilities learn together in the same age-appropriate classrooms, with necessary support and accommodations to ensure effective participation and learning. It emphasizes removing barriers to learning and participation for every child, including those who are marginalized due to disability, gender, ethnicity, poverty, or any other factors (Ajani & Ajani, 2025).

Goals of Inclusive Education in Schools

1. To promote equal educational opportunities for all children: One of the primary goals of inclusive education is to ensure that every child, regardless of ability, background, gender, or socioeconomic status, has access to quality education. This approach emphasizes fairness and equality by creating learning environments where all students can participate and succeed together. It eliminates barriers that may prevent certain groups, such as children with disabilities or from marginalized communities from receiving the same educational opportunities as their peers (Bello, 2024).

2. To reduce discrimination and social exclusion: Inclusive education seeks to build a culture of acceptance and respect within schools. By learning together in the same environment, students develop positive attitudes toward diversity and difference. This helps reduce prejudice, stigma, and discrimination against students who might otherwise be excluded or segregated. The goal is to create a supportive school community where every learner feels valued, respected, and included, thereby promoting social cohesion and harmony (Alsolami, 2025).

3.To develop schools that recognize and respond to the diverse needs of learners: Inclusive education aims to transform schools into flexible institutions capable of addressing the varying needs, strengths, and learning styles of students. This involves adapting teaching methods, curriculum design, classroom organization, and assessment strategies to accommodate all learners. Teachers are encouraged to employ differentiated instruction and individualized support to ensure that no student is left behind. Such responsiveness ensures that schools become truly inclusive learning environments (Major, Francis & Tsapali, 2021).

4. To enhance the academic, emotional, and social development of all students: Inclusive education benefits not only learners with special needs but all students within the classroom. It fosters an environment where children can learn from one another, develop empathy, and improve their communication and problem-solving skills. Academically, inclusion promotes active participation, collaboration, and shared learning experiences. Emotionally and socially, it helps build confidence, self-esteem, and a sense of belonging, preparing students to function effectively in diverse societies (Ogwu & Okwo, 2023).

Common Learning Disabilities in Schools

1-Dyslexia: is a specific learning disability that primarily affects an individual's ability to read, write, and spell. It is a neurological condition that stems from difficulties in phonological processing, meaning individuals with dyslexia struggle with recognizing and manipulating the sounds that make up language. Dyslexia is not linked to general intelligence, vision, or hearing problems but is a persistent condition that can affect individuals throughout their lives (Adams & Smith, 2022). Dyslexia significantly affects academic performance, especially in school settings where reading and writing are core skills. Children with dyslexia may start to experience academic difficulties early in their schooling, leading to frustration, lower self-esteem, and a reduced desire to engage in reading and writing tasks. Without proper intervention, these difficulties can persist into adolescence and adulthood, impacting job performance, higher education, and everyday activities (Johnson & Peters, 2023).

2-Dyscalculia: a specific learning disability that affects an individual's ability to understand and work with numbers and mathematical concepts. Often referred to as "math dyslexia," dyscalculia impairs a person's capacity to perform basic arithmetic and comprehend mathematical operations. Like dyslexia, dyscalculia is unrelated to intelligence or overall cognitive ability, and it affects individuals across different levels of schooling and into adulthood (Butterworth & Laurillard, 2021). Dyscalculia has a profound effect on academic achievement, especially in subjects that require mathematical reasoning. Early signs of dyscalculia may be noticed in primary school when children fail to grasp counting, sequencing, or basic arithmetic. If left unaddressed, it can lead to anxiety, frustration, and reduced self-confidence, as these individuals frequently struggle to keep up with math curricula. Beyond the classroom, dyscalculia can also affect everyday life. People with dyscalculia may find it difficult to manage finances, calculate tips or discounts keep track of time, or even navigate distances (Wilson & Dehaene, 2022).

3-Dysgraphia: is a neurological learning disability that primarily affects a person's ability to write. It can manifest in various ways, including poor handwriting, difficulty spelling, trouble organizing thoughts on paper, and issues with the physical act of writing. Dysgraphia is not related to intelligence but stems from difficulties in the motor skills and cognitive processes necessary for writing. It can significantly impact academic performance and day-to-day activities, particularly in school-age children, but it can persist into adulthood (Kandel & Tremblay, 2022). In school, dysgraphia can significantly hinder academic progress, particularly in subjects that rely on written communication. For example, students may struggle with taking notes, completing written assignments, or performing on timed written exams. This can lead to frustration, lower self-esteem, and avoidance of academic tasks that require writing. Beyond academics, dysgraphia can also affect daily life. Adults with dysgraphia may find it difficult to fill out forms, write emails, or keep written records. The motor challenges and slow writing speed often associated with dysgraphia can affect workplace performance and social interactions (Peverly & Graham, 2023).

Role of Technology-Assisted Instruction in Supporting Students with Learning Disabilities

Technology-assisted instruction encompasses a wide range of tools, including text-to-speech software, speech-to-text applications, audiobooks, interactive learning platforms, and adaptive programs that modify content based on a student's performance. These tools are specifically designed to provide support in areas where students with LDs may struggle:

1. Personalized Learning Paths: Technology makes it possible for every student to learn in a way that suits them best. Through adaptive programs and learning apps, lessons can adjust automatically to each student's strengths, pace, and areas of difficulty. For example, a student with dyslexia or ADHD can work through content at a comfortable speed without feeling left behind. This kind of personalization helps students stay motivated, build confidence, and experience real progress in their learning journey (Akuta, Chukwuemeka & Iwuagwu, 2025).

2. Multisensory Engagement: One of the biggest advantages of technology is that it brings learning to life through multiple senses. Students can hear, see, and even interact with information. Text-to-speech tools allow those with reading challenges to listen to written text, while speech-to-text apps help students who struggle with writing express their ideas freely (Adams & Smith, 2022).

3. Assistive Technologies: Assistive technologies provide critical support that helps students overcome specific learning barriers. Tools such as screen readers, audiobooks, and graphic organizers help learner's access lessons in ways that work for them. These tools don't make learning easier; they make it fairer, ensuring every student has an equal chance to succeed. For instance, a student with visual challenges can use a screen reader to navigate text, while one with dysgraphia can use word prediction software to organize their writing (Kandel & Tremblay, 2022).

4. Immediate Feedback and Progress Monitoring: In traditional classrooms, students often have to wait days for their work to be graded. Technology changes that. Digital quizzes and online platforms can give instant feedback, allowing students to correct mistakes and understand concepts immediately. Teachers can also use these tools to track each learner's progress in real time, making it easier to spot where extra help might be needed and to celebrate improvement (Aoun Barakat, Dabbous & Shultz, 2025).

5. Collaborative and Inclusive Learning Environments: Technology brings students together, creating inclusive spaces where everyone can participate and share ideas. Through online discussions, group projects, and shared digital tools, students with and without learning disabilities can collaborate as equals. These experiences not only strengthen learning but also build empathy, communication, and teamwork skills. Teachers, parents, and specialists can also collaborate more easily to provide the right kind of support for each learner (Bitalo, 2024).

Benefits of Integrating Technology for Students with LDs

1. Personalized Learning: Technology gives students the chance to learn in ways that truly fit who they are. Instead of everyone moving at the same pace, adaptive programs adjust lessons

based on each student's needs and progress. A learner who finds reading difficult might receive more audio support, while another who enjoys solving problems could explore more advanced challenges. This kind of personalization helps students learn comfortably, at their own speed, and boosts their confidence. The instant feedback many digital tools provide also helps them understand mistakes right away and build stronger learning habits (Adedoyin & Udoh, 2024).

2. Increased Engagement: For many students with learning disabilities, staying focused in a traditional classroom can be tough. Technology helps make learning more lively and enjoyable. Through colorful visuals, games, videos, and interactive activities, students become active participants rather than passive listeners. Gamified lessons that reward effort with points or badges can turn what once felt like hard work into something fun. This sense of excitement and accomplishment often leads to better concentration, deeper understanding, and a more positive attitude toward school (Adako, Adeusi & Alaba, 2024).

3. Improved Accessibility: Technology opens up multiple pathways to learning, making it possible for every student to access information in a way that works best for them. Some students benefit from text-to-speech software that reads text aloud, while others use enlarged text or subtitles to follow along. Tools that use visuals, icons, or colors can help clarify abstract ideas. These options give students the freedom to choose how they learn best, without feeling limited or left out. When lessons are accessible, every learner has an equal opportunity to succeed (Dimopoulou, 2025).

4. Data-Driven Instruction: Digital learning platforms do more than just deliver lessons; they also collect useful insights about how students are learning. Teachers can easily see which topics students are mastering and where they need extra help. This information helps educators make timely decisions, such as revisiting a topic or offering additional practice. Instead of relying on guesswork, teachers can provide the right kind of support at the right time. As a result, students receive guidance that's more responsive to their real needs (Bitalo, 2024).

5. Enhanced Collaboration and Communication: Technology helps bring everyone involved in a child's learning together, students, teachers, parents, and specialists. Through platforms like Google Classroom or Microsoft Teams, teachers can share feedback quickly, and parents can stay informed about progress. Students can also collaborate with classmates, share ideas, and feel part of a learning community. This connection creates a strong support system that helps students with LDs feel understood and encouraged both at school and at home (Okoli & Okafor, 2025).

6. Greater Independence and Confidence: Perhaps one of the most meaningful benefits of technology is how it helps students become more independent. Tools like speech-to-text software, grammar checkers, and note-taking apps allow students to express themselves freely and complete assignments on their own. As they realize they can manage tasks independently, their confidence grows. This sense of empowerment motivates them to keep learning, take risks, and believe in their own abilities, an essential step toward lifelong learning and self-reliance (Aliyu, 2024).

Challenges and Barriers of Inclusive Education and it Implementation

Despite the potential benefits, integrating technology-assisted instruction faces several challenges:

1. Access and Equity: One of the biggest challenges is the unequal access to technology across schools. While some well-funded schools have modern digital classrooms and reliable internet, many others, particularly in rural or low-income communities, struggle with limited resources. In these areas, students may have to share outdated computers, face power interruptions, or lack stable internet connections altogether. This "digital divide" means that students with learning disabilities, who often benefit most from technology, may not have the opportunity to use the very tools designed to support them. Ensuring equitable access remains a major concern for educators and policymakers (Suwahyo, Setyosari & Praherdhiono, 2021).

2. Teacher Preparedness: Even when technology is available, many teachers feel unsure about how to use it effectively for students with special learning needs. Some educators have limited experience with assistive tools or adaptive learning software and may need additional training to integrate them confidently into their lessons. Without proper support and professional development, technology can be underused or used in ways that do not fully address students' individual challenges. Ongoing teacher training, mentoring, and technical support are essential to help educators feel empowered rather than overwhelmed by new technologies (Dimopoulou, 2025).

3. Cost and Infrastructure: The financial cost of adopting technology can be another major obstacle. Schools must invest not only in purchasing devices and software but also in maintaining them over time. Regular updates, repairs, and technical support services can place additional strain on already tight budgets. Moreover, reliable infrastructure, such as steady electricity, strong internet connectivity, and IT personnel is also crucial for technology-assisted instruction to succeed. Without these, even the best tools may not function as intended, leaving both students and teachers frustrated (Adedoyin & Udoh, 2024).

4. Overreliance on Technology: While technology can greatly enhance learning, it is not a substitute for human interaction and emotional connection. Students with learning disabilities, in particular, benefit from personal relationships with teachers and peers who understand their unique challenges and encourage them. Overdependence on screens or software can reduce opportunities for social learning, collaboration, and face-to-face communication (Alsolami, 2025).

5. Resistance to Change: In some schools, both educators and administrators may be hesitant to adopt new technologies due to fear of change or uncertainty about their effectiveness. Some teacher's worry that technology will increase their workload or replace traditional teaching methods they trust. Others may doubt whether digital tools truly meet students' learning needs. Overcoming this resistance requires awareness, clear communication, and strong leadership that demonstrate how technology can make teaching more effective and inclusive rather than more complicated (Tabowei, 2021).

Strategies for Effective Inclusive Education in Schools

Inclusive education aims to ensure that all learners, irrespective of their physical, intellectual, emotional, or social differences to have equal opportunities to participate and succeed in mainstream classrooms. It focuses on removing barriers to learning and participation by adapting teaching methods, learning environments, and educational policies. For inclusion to be effective and sustainable, schools and educational systems must adopt deliberate strategies that promote acceptance, accessibility, and equity. Five key strategies that enhance inclusive education include continuous teacher training, the implementation of Individualized Education Plans (IEPs), adequate funding, and awareness campaigns.

1. Provide Continuous Teacher Training on Inclusive Practices: Teachers are the backbone of inclusive education, as they interact directly with students and determine how classroom activities are structured. Continuous teacher training ensures that educators develop the skills, knowledge, and attitudes required to teach learners with diverse abilities. Training programs, seminars, and workshops expose teachers to effective methods such as differentiated instruction, classroom adaptations, and the use of assistive technologies. They also help teachers understand various types of disabilities, such as dyslexia, autism spectrum disorder, and hearing impairment, and how to support students who experience them (Ajani & Ajani, 2025).

2. Individualized Education Plans (IEPs) for Learners with Special Needs: An Individualized Education Plan (IEP) is a personalized program designed to meet the unique

learning needs of students with disabilities. It outlines specific learning goals, teaching strategies, accommodations, and support services that will help the learner achieve academic success. IEPs are developed collaboratively by teachers, parents, psychologists, counsellors, and special educators, ensuring that every child's educational experience is customized to their strengths and challenges. For example, a student with dyslexia may receive extra time during tests or access to text-to-speech software, while a child with a hearing impairment may use sign language support or audio amplification devices. The implementation of IEPs allows for flexibility in instruction, promotes inclusion, and ensures that each learner receives fair and individualized attention (Bello, 2024).

3. Ensure Adequate Funding for Inclusive Programs: Adequate funding is essential for the successful implementation of inclusive education. Without sufficient financial resources, schools cannot provide the necessary infrastructure, materials, and specialized staff required to accommodate diverse learners. Funding supports the procurement of assistive technologies such as Braille machines, hearing aids, text-to-speech software, and adaptive furniture. It also covers the construction of accessible facilities like ramps, elevators, and special resource rooms. Furthermore, funding allows for the training and recruitment of specialized personnel, including special educators, therapists, and educational psychologists who support inclusive practices (Cleopas, 2025).

4. Promote Awareness Campaigns to Change Negative Societal Attitudes: Negative societal attitudes toward disability and special needs often pose significant barriers to the success of inclusive education. Misconceptions, stigma, and discrimination can lead to exclusion and low self-esteem among learners with disabilities. Promoting awareness campaigns is therefore essential in changing public perceptions and fostering acceptance. Schools, government agencies, and non-governmental organizations can organize seminars, media programs, and community outreach activities to educate people about the rights and abilities of learners with disabilities. Awareness campaigns help the public understand that disability is not a form of inability and that all individuals deserve equal opportunities to learn and participate. When communities and parents are sensitized, they become more supportive of inclusive education and are willing to contribute to its success (Buddha, Shuib, Idris & Eke, 2024).

Position and Recommendations

This paper supports the position that technology-assisted instruction should be a standard component of educational programmes for students with learning disabilities. Its thoughtful

and equitable integration can significantly enhance learning outcomes and promote educational equity.

Recommendations:

1. Increase Funding for schools to acquire and maintain assistive technologies and infrastructure.
2. Mandate Professional Development for all teachers in the effective use of technology for students with special needs.
3. Foster Collaboration among educators, administrators, tech developers, and parents to ensure tools are practical and user-friendly.
4. Ensure Equitable Access through state or federal initiatives that address digital divides in underserved communities.
5. Regularly Evaluate Impact through data collection and research to ensure ongoing improvement and accountability.

Conclusion

Technology-assisted instruction is not a passing trend but a necessary evolution in the pursuit of inclusive education. For students with learning disabilities, these tools can mean the difference between academic failure and success, between frustration and empowerment. While challenges exist, they are not insurmountable. Through strategic planning, training, and policy support, technology can serve as a bridge not a barrier to educational equity. It is time for educators, administrators, and policymakers to embrace this opportunity and ensure that every student, regardless of ability, can thrive in a digitally empowered learning environment.

References

Abdullahi, M. O., Ibrahim, J., & Yusuf, M. T. (2023). The challenges of inclusive education for students with learning disabilities in Nigerian secondary schools. *Journal of Educational Research and Practice, 9*(2), 32-45.

Adako, O. P., Adeusi, O. C., & Alaba, P. A. (2024). Revolutionizing autism education: harnessing AI for tailored skill development in social, emotional, and independent learning domains. *Journal of Computational and Cognitive Engineering*, *3*(4), 348-359.

Adams, L., & Smith, K. (2022). Early phonological interventions for dyslexia: A longitudinal study. *Journal of Learning Disabilities, 55*(3), 345-362.

Adedoyin, A. A., & Udoh, J. A., (2024). Effectiveness of Audio-visual Aids in the Teaching of Listening Comprehension in Government Day Secondary School, Gwagwalada, Nigeria. *African Journal of Development Studies*, *14*(4), 217.

Ajani, B. O., & Ajani, O. A. (2025). Leveraging Technology for Inclusive Assessment: Enablers, Barriers, and Pedagogical Strategies in Diverse Learning Environments. In *Improving Academic Performance and Achievement With Inclusive Learning Practices* (pp. 109-136). IGI Global Scientific Publishing.

Akuta, F. O., Chukwuemeka, E. J., & Iwuagwu, F. O. (2025). Integrating Information and Communications Technology (ICT) in Primary Education: Factors, Challenges, and Strategies. *UAR Journal of Multidisciplinary Studies (UARJMS)*, *1*(7), 18-23.

Aliyu, T. A. (2024). *Social Engagement and Self-Efficacy as Correlates of Social Adjustment of Individual With Intellectual Disability* (Master's thesis, Kwara State University (Nigeria)).

Alsolami, A. S. (2025). The effectiveness of using artificial intelligence in improving academic skills of school-aged students with mild intellectual disabilities in Saudi Arabia. *Research in Developmental Disabilities*, *156*, 104884.

Aoun Barakat, K., Dabbous, A., & Shultz, C. J. (2025). The use of mobile learning: a pathway towards refugees' inclusion. *Information Technology for Development*, 1-17.

Bello, A. (2024). *Impact of technology interventions on student achievement in rural Nigerian schools*. Walden University.

Bitalo, J. U. (2024). Integrating Artificial Intelligence in Personalized Learning in East Africa. *Research Invention Journal of Research in Education*, *3*(3), 134-143.

Broere, I., & Kruger, M. (2020). Developmental study towards effective practices in technology-assisted learning: third combined report from 15 participating South African universities.

Buddha, H., Shuib, L., Idris, N., & Eke, C. I. (2024). Technology-assisted language learning systems: A systematic literature review. *IEEE access*, *12*, 33449-33472.

Butterworth, B., & Laurillard, D. (2021). Diagnosing dyscalculia: A study of mathematical learning disabilities. *Journal of Educational Psychology, 113*(2), 256-272.

Cleopas, B. C. (2025). Level of Preparedness of Teachers and Pupils in the Era of Technology: A Descriptive Survey. *Journal of Technology-Assisted Learning*, *1*(2), 140-149.

Dimopoulou, G. (2025). Teaching Emotions in Sophocles' Antigone through Inclusive STEAM Practices: A Creative Approach with Masks and Emerging Technologies.

Johnson, D., & Peters, R. (2023). The role of assistive technology in supporting students with dyslexia. *International Journal of Educational Technology*, *28*(2), 201-218.

Kandel, S., & Tremblay, A. (2022). Neural mechanisms of handwriting and dysgraphia: A neuroscientific approach to writing disorders. *Neuropsychologia*, *161*(1), 23-38.

Koweru, R. A., Omoke, C. M., & Orodho, J. A. (2024). The role of assistive technologies on quality educational outcomes of student with visual impairment in Kisumu County, Kenya.

Lawal, C. O. (2021). *outcome of information communication technology literacy training on nurse educators'adoption and usage of multimedia teaching aids in ogun state schools of nursing* (Doctoral dissertation).

Lerner, J. (2020). *Learning disabilities and related disorders: Characteristics and teaching strategies* (14th ed.). Houghton Mifflin Harcourt.

Major, L., Francis, G. A., & Tsapali, M. (2021). The effectiveness of technology-supported personalised learning in low-and middle-income countries: A meta-analysis. *British Journal of Educational Technology*, *52*(5), 1935-1964.

Nwobodo, C. J., & Udoka, C. (2025). Evaluating Technology Integration in Teaching and Learning: A Survey of Public Senior Secondary Schools in Rivers State, Nigeria. *Nigeria (August 04, 2025)*.

Ogwu, E. N., & Okwo, F. A. (2023). Educational technology adoption in instructional delivery in the new global reality. *Education and Information Technologies*, *28*(1), 1065-1080.

Okoli, C. J., & Okafor, M. C. (2025). enhancing teacher professional development and support: a comprehensive approach to educators'growth. *chukwuemeka odumegwu ojukwu university journal of arts and social science education*, *4*(1).

Oyetunde, T. A., Nuhu, A. A., & Bala, S. (2022). Addressing the needs of students with learning disabilities: Implications for Nigerian education reform. *Educational Psychology in Practice*, *11*(4), 105-119.

Peverly, S., & Graham, S. (2023). Multisensory writing interventions for children with dysgraphia: A review of effectiveness. *Journal of Educational Psychology, 115*(2), 275-290.

Suwahyo, B. W., Setyosari, P., & Praherdhiono, H. (2021). Barrier Assistive Technology in Inclusive Classroom. In *7th International Conference on Education and Technology (ICET 2021)* (pp. 23-28). Atlantis Press.

Tabowei, A. (2021). *Technology enhanced learning: A case study of the potentials of mobile technologies in Nigerian college of education* (Doctoral dissertation, University of the West of England).

Wilson, A. J., & Dehaene, S. (2022). Multisensory learning approaches for children with dyscalculia: A neuroscientific perspective. *Cognitive Neuroscience of Learning Disabilities*, *47*(4), 412-427.

INTEGRATING TECHNOLOGY-ASSISTED INSTRUCTION FOR STUDENTS WITH LEARNING DISABILITIES: A PATHWAY TO INCLUSIVE AND EFFECTIVE EDUCATION IN NIGERIA

AHMED ABDULLAHI BARKUTA
ORCID ID: 0009-0001-0758-8279
UMARU SANDA AHMADU COLLEGE OF EDUCATION, MINNA OF EDUCATION
DEPARTMENT OF EDUCATIONAL PSYCHOLOGY
AMINU GARBA (Ph.D)
ORCID ID: 0009-0005-6126-4928
DEPARTMENT OF COUNSELLING PSYCHOLOGY
FACULTY OF EDUCATION AND ARTS
IBRAHIM BADAMASI BABANGIDA UNIVERSITY, LAPAI, NIGER STATE, NIGERIA

Abstract

This paper examines the transformative role of technology-assisted instruction (TAI) in promoting inclusive and effective education for students with learning disabilities (LDs). Students with LDs often face challenges in reading, writing, and processing information despite having average or above-average intelligence. TAI, which includes tools such as text-to-speech software, speech-to-text applications, audiobooks, and adaptive learning platforms, offers personalized, accessible, and engaging instructional support modified to individual learning needs. Practical evidence highlights that students using assistive technologies demonstrate improved comprehension, confidence, and academic performance compared to traditional instructional methods. The integration of technology fosters personalized learning, enhances engagement through interactive media, and provides data-driven insights for targeted interventions. However, challenges such as limited access to resources, inadequate teacher preparedness, and high implementation costs hinder widespread adoption. To maximize benefits, the paper recommends increased funding, comprehensive teacher training, collaborative implementation strategies, equitable access initiatives, and continuous evaluation of technological impact. The paper concludes that technology-assisted instruction is not merely an optional supplement but a fundamental pathway toward inclusive education, enabling students with learning disabilities to reach their full potential and ensuring educational equity in the digital era.

Keywords: Technology-assisted instruction, inclusive education, learning disabilities, and assistive technology.

DIGITAL AGE STRESS: BUILDING RESILIENCE IN THE ERA OF SOCIAL MEDIA

Elona MUSTAFARAJ Msc
Clinical Psychologist
email: l_mustafaraj@yahoo.com (corresponding author)
Ass. Prof. Dr. Fleura Shkëmbi
Department of Psychological Studies, Mediterranean University of Albania, Tiranë, Albania. E-mail: fleura.shkembi@umsh.edu.al
Dr. Silva IBRAHIMI PhD
Lecturer "University of Tirana", Albania "EYRA PSYCHOSOCIAL ASSISTANCE", Boston, USA

Abstract

Adolescents experience "digital age stress" not only through time spent online, but through specific social-media stressors such as approval pressure, constant availability expectations, Fear of Missing Out (FoMO), cybervictimization, appearance-based comparison, and sleep disruption. This article synthesizes evidence on how adolescents build resilience in social media environments, defined here as maintaining or regaining psychological functioning despite exposure to online stressors. A structured literature review methodology was applied, across multiple regions (North America, Europe, Asia, and Oceania) and study designs (cross-sectional surveys, longitudinal cohorts, experience sampling studies, psychometric validation studies, and controlled interventions). Findings converge on a set of recurring resilience mechanisms that operate at individual, interpersonal, and contextual levels, and they show that at the individual level, resilience is supported by reduced comparison-based self-evaluation, stronger self-concept resources, emotion regulation capacity, and lower FoMO-related reactivity. At the interpersonal level, supportive offline relationships and protective family media practices reduce exposure and amplify coping resources. At the contextual level, school-based media literacy and well-being programs show measurable benefits for body image and related outcomes, and cross-national evidence indicates that problematic social media use is more consistently associated with poorer well-being than "intense" use per se. The results support an applied clinical approach that assesses the specific stress pathway (comparison, harassment, sleep, FoMO, compulsive use) and targets the corresponding resilience mechanism rather than relying on generic "screen time" reduction.

Keywords: *adolescent mental health; social media; digital stress; resilience; FoMO; cyberbullying; media literacy*

1. Introduction

Social media is embedded in adolescent social life, but it also introduces distinctive stress exposures: rapid social evaluation, persistent visibility, algorithmic amplification of

appearance and status cues, and interpersonal conflict that can extend beyond school hours. Digital stress has been conceptualized as stress arising from availability expectations, approval anxiety, FoMO, connection overload, and online vigilance, and empirical measurement work indicates these dimensions cluster reliably as a construct linked to psychosocial distress (Hall et al., 2021). Digital stress in early adolescence has also shown prospective links to later depressive symptoms, even when controlling for social media use frequency (Nick et al., 2021). The aim of this article is to identify the main components of adolescent resilience in social media contexts and to synthesize how these mechanisms operate across countries and research designs. The objectives are to *(a) define the main stress pathways linked to social media use and exposure; (b) apply a structured literature review approach to identify empirical studies that directly test coping, protective factors, moderators, or interventions; (c) map evidence from 50 empirical studies to a set of resilience mechanisms; and (d) translate the evidence into implications for clinical psychology, prevention, and adolescent-focused support*. In terms of methodology, a structured literature review methodology was used to identify empirical work on adolescents linking social media exposure, social-media-related stressors, or problematic social media use to mental health and well-being outcomes, with explicit attention to moderators, mediators, protective factors, or interventions that reflect resilience processes. Searches prioritized peer-reviewed journal articles indexed or hosted by major academic publishers and databases. Inclusion focused on empirical studies with adolescent samples that measured at least one social media stress pathway (e.g., FoMO, social comparison/feedback-seeking, online harassment/cybervictimization, availability pressure/digital stress, problematic use/addiction-like symptoms, or sleep displacement attributable to social media) and examined mental health outcomes (depressive symptoms, anxiety, distress, self-harm), psychosocial functioning (life satisfaction, well-being), or proximal resilience indicators (self-esteem, coping resources, supportive ties).

Following identification and screening, an evidence map was constructed for 50 empirical studies. Studies were coded into resilience-mechanism clusters based on whether they tested *(i) person-level psychological moderators/mediators (e.g., FoMO, self-esteem, self-concept clarity, emotion regulation), (ii) behavioral regulation and recovery (sleep, bedtime rules, platform-specific boundaries), (iii) relational supports (family rules/mediation, offline support, school connectedness), or (iv) skills-building interventions (media literacy, mindfulness-based programs).* Studies could contribute to more than one cluster. This mapping approach is consistent with contemporary findings that average effects of social media are often small,

while individual susceptibility varies substantially, making mechanism-focused synthesis more clinically useful than relying on global time-based metrics (Orben & Przybylski, 2019; Beyens et al., 2024).

2. Results

Across the evidence map, resilience mechanisms grouped into eight recurring components. Two cross-cutting findings should be stated first.

- *First*, cross-national evidence indicates that problematic social media use is more consistently linked to poorer well-being than high-intensity use, and the magnitude and direction of "intensity" associations can vary by context and outcome domain (Boer et al., 2020).
- *Second*, intensive longitudinal and experience sampling evidence shows substantial heterogeneity in within-person effects. Many adolescents show negligible mood change following different types of social media use, while smaller groups show consistently positive or consistently negative effects, supporting a susceptibility-oriented resilience framing (Beyens et al., 2024).

a. Stress appraisal and digital stress reactivity

A consistent resilience pathway concerns how adolescents appraise and react to online demands. Digital stress scales capture pressures to respond quickly, manage self-presentation, and monitor peer approval. Digital stress is associated with poorer mental health cross-sectionally and predicts increases in depressive symptoms over time, suggesting that resilience requires dampening reactivity to approval and availability demands rather than only reducing use frequency (Nick et al., 2021; Hall et al., 2021). Conceptual models argue that "digital stress" can operate as an intervening pathway linking media environments to clinical outcomes, consistent with a mechanism-based clinical formulation (Steele et al., 2020).

b. FoMO and belonging-related vulnerability

FoMO repeatedly appears as a vulnerability factor that changes whether social media use is linked to anxiety or distress. In Australian adolescents, FoMO moderated the association between social media use frequency and anxiety symptoms, with harmful associations concentrated among those with higher FoMO, while low-FoMO adolescents sometimes showed the opposite pattern (Einstein et al., 2023). Related adolescent research shows FoMO mediates or explains negative consequences from heavy social networking, implying that resilience may involve reducing FoMO-driven checking and comparison cycles (Oberst et al., 2017). Empirically, this directs intervention logic away from "use reduction" as the only target

and toward belongingness needs, social inclusion strategies, and cognitive reframing of exclusion cues.

c. Social comparison and feedback-seeking processes

A mechanism involves technology-based social comparison and feedback-seeking, which is associated with depressive symptoms over time even when controlling for overall use frequency, with stronger associations among adolescents lower in popularity and among girls in some work (Nesi & Prinstein, 2015). This mechanism is reinforced by findings that problematic social media use predicts increases in upward social comparisons and cybervictimization over time in longitudinal panel models (Boer et al., 2021). Resilience, in this pathway, is expressed through reduced reliance on online feedback for self-evaluation, stronger self-worth resources, and structured coping responses to comparison triggers.

d. Self-esteem, body image, and appearance-based pathways

Multiple studies place self-esteem and body image as both outcomes and mediating processes in social media stress. For example, UK cohort evidence linked social media use to depressive symptoms through pathways including sleep disruption, online harassment, self-esteem, and body image, indicating that resilience may be strengthened by targeting these mediators rather than focusing on exposure alone (Kelly et al., 2018). In adolescent samples, social media addiction/problematic use has been associated with lower self-esteem, with body image partially mediating this relationship in some settings (e.g., adolescent samples in Türkiye) (Colak et al., 2023). These findings support protective strategies that reduce appearance-based comparison and strengthen body-related self-acceptance skills.

e. Sleep protection and recovery as resilience infrastructure

Sleep is one of the most consistent recovery-related pathways in the adolescent social media literature. Empirical work links social media use (particularly emotionally invested or nighttime use) to poorer sleep and higher anxiety/depressive symptoms (Woods & Scott, 2016). Family rules can function as protective modifiers: strict parental rules about internet/smartphone use in the hour before sleep may buffer negative consequences for bedtime and sleep quality under some conditions (van den Eijnden et al., 2021; Hamilton et al., 2021). The resilience implication is practical. Protecting sleep (device-free bedtime routines, notification management, night rules negotiated with adolescents) is a high-leverage strategy because it reduces vulnerability across multiple symptom domains.

f. Family media practices and parental mediation

Cross-study evidence indicates that parenting practices around media are not uniformly protective; their effects can vary by age and engagement level. Prospective work suggests internet-specific rule setting may prevent the onset of problematic social media use in pre and early adolescence but may become counterproductive later, pointing to the need for developmentally calibrated approaches (Geurts et al., 2025). More broadly, family-level protective processes appear in cross-national research on problematic social media use and well-being, and in socio-ecological evidence that family and school factors jointly support "digital resilience" (Boer et al., 2020; Pan et al., 2024).

g. School connectedness, media literacy, and skills-based interventions

Evidence supports the role of skills-building and literacy interventions in strengthening resilience, especially along body-image and comparison pathways. A cluster randomized controlled trial of the social media literacy program reported improvements in body image related outcomes and media literacy among adolescents, supporting prevention approaches that teach critical evaluation of social media content and appearance ideals (Gordon et al., 2021). Mindfulness-based psychoeducational interventions have also been tested in adolescents for social media burnout and well-being, suggesting that emotion regulation and attentional control training can be an applied resilience route (Ünlü et al., 2025).

h. Cybervictimization, online harassment, and protective resources

Cybervictimization is consistently associated with later depressive symptoms and lower well-being, indicating a clear online adversity pathway (Fahy et al., 2016; Rose et al., 2015). Resilience mechanisms include general resilience resources and specific coping supports. In adolescents, resilience has moderated or mediated associations between cyberbullying victimization and mental health outcomes in multiple studies, supporting a stress-buffering logic for intervention planning (Santos et al., 2021; Korkmaz, 2025). Emerging longitudinal work also examines protective mechanisms such as mindfulness in cybervictimization pathways in non-Western samples (e.g., Chinese adolescents), expanding cross-cultural relevance (Lu et al., 2025).

Table 1. Main resilience components and mechanisms identified in the evidence map (50 empirical studies)

Resilience component	Typical mechanism in the literature	Primary stress pathway addressed	Representative evidence examples
Lower digital stress reactivity	Reduced approval/availability pressure; less online vigilance	Availability stress, approval anxiety	Hall et al., 2021; Nick et al., 2021
FoMO regulation and belonging security	Less exclusion-sensitivity; reduced compulsive checking	FoMO, comparison-triggered anxiety	Einstein et al., 2023; Oberst et al., 2017
Reduced comparison and feedback dependence	Lower social comparison/feedback seeking; stronger self-evaluation offline	Social comparison, status feedback	Nesi & Prinstein, 2015; Boer et al., 2021
Self-esteem and body image protection	Body image and self-esteem buffer depressive pathways	Appearance-based stress	Kelly et al., 2018; Colak et al., 2023
Sleep protection as recovery	Bedtime rules, night routines, reduced nighttime engagement	Sleep displacement	Woods & Scott, 2016; van den Eijnden et al., 2021
Developmentally calibrated parental mediation	Age-appropriate rules, active mediation, co-use when appropriate	Problematic use escalation	Geurts et al., 2025; Boer et al., 2022
School based literacy and coping skills	Critical content appraisal; reduced internalization of ideals	Body image and comparison stress	Gordon et al., 2021
Anti-harassment support and coping resources	Protective resilience resources; coping and support access	Cybervictimization, harassment	Fahy et al., 2016; Santos et al., 2021

Source: Authors elaboration

3. Discussion

The evidence map supports a clinical conclusion that screen time is an incomplete target for resilience building. Large scale analyses show the average association between digital technology use and adolescent well-being is often small, and person-specific evidence indicates substantial heterogeneity in effects, meaning a minority of adolescents may carry most of the risk burden (Orben & Przybylski, 2019; Beyens et al., 2024). As a result, resilience is better conceptualized as matching the intervention target to the stress pathway. If the stress pathway is approval pressure and availability demands, reducing digital stress reactivity is more relevant than generalized limits (Hall et al., 2021; Nick et al., 2021). If the stress pathway is FoMO and belonging insecurity, the evidence supports assessing FoMO and addressing belongingness dynamics rather than treating frequency as the primary lever (Einstein et al., 2023; Oberst et al., 2017). If the stress pathway is social comparison and feedback-seeking, cognitive and identity-oriented work is indicated, because these processes predict distress beyond frequency measures (Nesi & Prinstein, 2015).

The evidence also supports multi-level resilience. Individual level psychological resources interact with family and school context. Parental rules and mediation can be protective in some settings (especially sleep protection) while requiring developmental calibration to avoid counterproductive effects in later adolescence (van den Eijnden et al., 2021; Geurts et al., 2025). School based media literacy and wellbeing programs show measurable effects on body-image-related outcomes, suggesting that resilience can be strengthened via structured skills training rather than through avoidance-only models (Gordon et al., 2021). Finally, cybervictimization remains a high-severity pathway; resilience resources moderate harm in some studies, but prevention and response systems (reporting, school protocols, supportive adult access) remain essential because resilience should not be treated as a substitute for protection (Fahy et al., 2016; Santos et al., 2021).

Limitations in the underlying literature affect interpretation. Many studies remain cross-sectional and rely on self-report of use. More studies now test within-person change and mediating processes, but measurement bias and platform heterogeneity persist. Cross-national work improves generalizability, yet cultural differences in norms, school systems, and access patterns can change the meaning of "intense" use (Boer et al., 2020; Boer et al., 2022).

4. Conclusions

Across studies, adolescent resilience in social media environments is best described as a set of mechanisms that reduce reactivity to online social evaluation, limit comparison-driven self-worth processes, protect sleep and recovery, and strengthen supportive contexts (family rules calibrated to age, school-based media literacy, and effective responses to cybervictimization). Evidence favors targeted, pathway specific resilience-building over generic time-based prescriptions. Clinically, this supports an assessment-first approach: identify whether the adolescent's stress is driven primarily by FoMO and belonging insecurity, approval/availability pressure, comparison/feedback dependence, harassment, or sleep displacement, then intervene at the corresponding mechanism level while strengthening offline support and protective routines.

References

Bányai, F., Zsila, Á., Király, O., Maraz, A., Elekes, Z., Griffiths, M. D., Andreassen, C. S., & Demetrovics, Z. (2017). Problematic social media use: Results from a large-scale nationally representative adolescent sample. *PLOS ONE, 12*(1), e0169839. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0169839

Barthorpe, A., Winstone, L., Mars, B., & Moran, P. (2020). Is social media screen time really associated with poor adolescent mental health? A time use diary study. *Journal of Affective Disorders, 274*, 864–870.

Barry, C. T., Sidoti, C. L., Briggs, S. M., Reiter, S. R., & Lindsey, R. A. (2017). Adolescent social media use and mental health from adolescent and parent perspectives. *Journal of Adolescence, 61*, 1–11.

Beyens, I., Pouwels, J. L., van Driel, I. I., Keijsers, L., & Valkenburg, P. M. (2024). Social media use and adolescents' well-being: Developing a typology of person-specific effect patterns. *Communication Research, 51*(6), 691–716. https://doi.org/10.1177/00936502211038196.

Boer, M., van den Eijnden, R. J. J. M., Boniel-Nissim, M., Wong, S.-L., Inchley, J. C., Badura, P., Craig, W. M., Gobina, I., Kleszczewska, D., Klanšček, H. J., & Stevens, G. W. J. M. (2020). Adolescents' intense and problematic social media use and their well-being in 29 countries. *Journal of Adolescent Health, 66*(6S), S89–S99. https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2020.02.014.

Boer, M., Stevens, G. W. J. M., de Looze, M. E., Koning, I. M., Finkenauer, C., & van den Eijnden, R. J. J. M. (2021). Social media use intensity, social media use problems, and mental health among adolescents: Investigating directionality and mediating processes. *Computers in Human Behavior, 116*, 106645. https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106645.

Boer, M., van den Eijnden, R. J., Finkenauer, C., Boniel-Nissim, M., Marino, C., Inchley, J., ... & Stevens, G. W. (2022). Cross-national validation of the social media disorder scale: findings from adolescents from 44 countries. *Addiction*, *117*(3), 784-795.

Boers, E., Afzali, M. H., Newton, N., & Conrod, P. (2019). Association of screen time and depression in adolescence. *JAMA Pediatrics, 173*(9), 853–859. https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2019.1759.

Colak, M., Bingol, O. S., & Dayi, A. (2023). Self-esteem and social media addiction level in adolescents: The mediating role of body image. *Indian journal of psychiatry*, *65*(5), 595-600.

Einstein, D. A., Dabb, C., & Fraser, M. (2023). FoMO, but not self-compassion, moderates the link between social media use and anxiety in adolescence. *Australian Journal of Psychology, 75*(1), 2217961. https://doi.org/10.1080/00049530.2023.2217961.

Fahy, A. E., Stansfeld, S. A., Smuk, M., Smith, N. R., Cummins, S., & Clark, C. (2016). Longitudinal associations between cyberbullying involvement and adolescent mental health. *Journal of Adolescent Health*, *59*(5), 502-509.

Frison, E., & Eggermont, S. (2016). Exploring the relationships between different types of Facebook use, perceived online social support, and adolescents' depressed mood. *Social Science Computer Review, 34*(2), 153–171. https://doi.org/10.1177/0894439314567449.

Frison, E., & Eggermont, S. (2017). Browsing, posting, and liking on Instagram: The reciprocal relationships between different types of Instagram use and adolescents' depressed mood. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, *20*(10), 603-609.

Geurts, S., & colleagues. (2025). Parental internet-specific rules and the onset of adolescents' problematic social media use: Prospective study testing potential moderators. *Journal of Medical Internet Research, 27*, e64252. https://doi.org/10.2196/64252.

Gordon, C. S., & colleagues. (2021). Outcomes of a cluster randomized controlled trial of the SoMe social media literacy program for improving body image-related outcomes in adolescent boys and girls. *Nutrients, 13*(11), 3825.

Hall, J. A., Steele, R. G., Christofferson, J. L., & Mihailova, T. (2021). Development and initial evaluation of a multidimensional digital stress scale. *Psychological assessment*, *33*(3), 230.

Hamilton, J. L., & Lee, W. (2021). Associations between social media, bedtime technology use rules, and daytime sleepiness among adolescents: cross-sectional findings from a nationally representative sample. *JMIR mental health*, *8*(9), e26273.

Kelly, Y., Zilanawala, A., Booker, C., & Sacker, A. (2018). Social media use and adolescent mental health: Findings from the UK Millennium Cohort Study. *EClinicalMedicine, 6*, 59–68. https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2018.12.005.

Keles, B., McCrae, N., & Grealish, A. (2020). A systematic review: The influence of social media on depression, anxiety and psychological distress in adolescents. *International Journal of Adolescence and Youth, 25*(1), 79–93.

Korkmaz, Z., Çiçek, İ., Buluş, M., Şanlı, M. E., & Yıldırım, M. (2025). The role of resilience in the relationship between cyberbullying and depression, anxiety, and stress in adolescents. *Brain and Behavior*, *15*(10), e70916.

Lu, Y., Dang, L., & Tao, Y. (2025). The longitudinal influence of cyberbullying victimization on depression, self-esteem and academic burnout among Chinese adolescents: mindfulness as a mediator. *Frontiers in Psychiatry*, *16*, 1607473.

Nick, E. A., Kilic, Z., Nesi, J., Telzer, E. H., Lindquist, K. A., & Prinstein, M. J. (2021). Adolescent digital stress: Frequencies, correlates, and longitudinal association with depressive symptoms. *Journal of Adolescent Health, 70*(2), 336–339. https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2021.08.025.

Nesi, J., & Prinstein, M. J. (2015). Using social media for social comparison and feedback-seeking: Gender and popularity moderate associations with depressive symptoms. *Journal of abnormal child psychology*, *43*(8), 1427-1438.

Oberst, U., Wegmann, E., Stodt, B., Brand, M., & Chamarro, A. (2017). Negative consequences from heavy social networking in adolescents: The mediating role of fear of missing out. *Journal of Adolescence, 55*, 51–60. https://doi.org/10.1016/j.adolescence.2016.12.008.

Odgers, C. L., & Jensen, M. R. (2020). Annual Research Review: Adolescent mental health in the digital age: Facts, fears, and future directions. *Journal of Child Psychology and Psychiatry, 61*(3), 336–348. https://doi.org/10.1111/jcpp.13190.

Orben, A., & Przybylski, A. K. (2019). The association between adolescent well-being and digital technology use. *Nature Human Behaviour, 3*(2), 173–182. https://doi.org/10.1038/s41562-018-0506-1.

Pan, Q., Lan, M., Tan, C. Y., Tao, S., Liang, Q., & Law, N. (2024). Protective factors contributing to adolescents' digital resilience for their wellbeing: A socio-ecological perspective. *Computers in Human Behavior*. https://doi.org/10.1016/j.chb.2024.108164.

Puukko, K., Hietajärvi, L., Maksniemi, E., Alho, K., & Salmela-Aro, K. (2020). Social media use and depressive symptoms—A longitudinal study from early to late adolescence. *International journal of environmental research and public health*, *17*(16), 5921.

Rose, C. A., & Tynes, B. M. (2015). Longitudinal associations between cybervictimization and mental health among US adolescents. *Journal of Adolescent Health*, *57*(3), 305-312.

Santos, D., Mateos-Pérez, E., Cantero, M., & Gámez-Guadix, M. (2021). Cyberbullying in adolescents: Resilience as a protective factor of mental health outcomes. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, *24*(6), 414-420.

Shannon, H., Bush, K., Villeneuve, P. J., Hellemans, K. G., & Guimond, S. (2022). Problematic social media use in adolescents and young adults: systematic review and meta-analysis. *JMIR mental health*, *9*(4), e33450.

Steele, R. G., Hall, J. A., & Christofferson, J. L. (2020). Conceptualizing digital stress in adolescents and young adults: Toward the development of an empirically based model. *Clinical Child and Family Psychology Review*, *23*(1), 15-26.

Ünlü, S., Uzun, K., & Arslan, G. (2025). Mindfulness-Based Intervention in Schools: Addressing Social Media Burnout and Enhancing Well-Being in Adolescents. *Children*, *12*(7), 826.

Van Den Eijnden, R. J., Lemmens, J. S., & Valkenburg, P. M. (2016). The social media disorder scale. *Computers in human behavior*, *61*, 478-487.

van den Eijnden, R. J. J. M., & colleagues. (2021). Social media use and adolescents' sleep: A longitudinal study on the protective role of parental rules regarding internet use before sleep. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 18*(3), 1346.

Valkenburg, P. M. (2022). Social media use and well-being: What we know and what we need to know. *Current Opinion in Psychology, 45*, 101294. https://doi.org/10.1016/j.copsyc.2021.12.006.

Vidal, C., Lhaksampa, T., Miller, L., & Platt, R. (2020). Social media use and depression in adolescents: a scoping review. *International Review of Psychiatry*, *32*(3), 235-253.

Woods, H. C., & Scott, H. (2016). # Sleepyteens: Social media use in adolescence is associated with poor sleep quality, anxiety, depression and low self-esteem. *Journal of adolescence*, *51*, 41-49.

IMPACT OF ROLE AMBIGUITY AND ROLE CONFLICT ON PROJECT SUCCESS WITH MODERATING ROLE OF TOP MANAGEMENT SUPPORT IN CONSTRUCTION INDUSTRY PROJECTS OF PAKISTAN

Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti, Associate Professor & CoD, Department of Architecture, School of Architecture & Planning, UMT Lahore. omer.shujat@umt.edu.pk
Prof. Dr. Muhammad Asad Ghufran, Professor, Department of Environmental Science, International Islamic University, Islamabad, Pakistan.
Ar. Saira Naeem, Assistant Professor, Department of Architecture, School of Architecture & Planning, UMT Lahore.
Ar. Madiha Ghafoor, Assistant Professor, Department of Architecture, School of Architecture & Planning, UMT Lahore.

ABSTRACT

Project successful completion is the ultimate goal of any project. In Architecture, Engineering & Construction (AEC) industry of Pakistan, being one of the largest industry of Pakistan, Projects are a key factor to achieve future state of any organization. With multiple teams serving in multidisciplinary domains for multiple projects, these team members suffer from role ambiguity and role conflict which leads to poor employee performance, higher turnover rates and lack of commitment. To overcome these, top management support is a major variable yet to be explored in the industry as a moderator. Research study explored impact of role ambiguity and role conflict on project success with moderating role of top management support in the context of AEC industry in Pakistan from project sites of twin cities. 300 questionnaires were circulated, 61% online and 89% physically responded leading to overall 75% feedback. It was concluded that Role conflict has a significant negative impact on the project success while top management support has a positive significant impact on the project success. Role ambiguity did not have a significant impact on the project success in AEC industry of Pakistan. It was mainly due to organized and specific designated roles through job descriptions and human resource management practices. Based on the analysis it was concluded, top management support moderated the impact of role conflict on the project success but failed to establish any significant relationship to moderate between project success and role ambiguity as later was unable to impact project success.

Key Words: Role ambiguity, role conflict, project success, Top management support, Architecture, Engineering & Construction.

TRANSFORMING ADVERSITY INTO OPPORTUNITY: ASSESSING USER SATISFACTION IN HOSPITAL TRANSFORMATION IN LIEU OF A PANDEMIC THROUGH THE MULTI CORRIDOR EXPANSION MODEL FOR EPIDEMIC MANAGEMENT AND ENVIRONMENTAL DESIGN ENHANCEMENT

1) **Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti**, Associate Professor & COD, Dept. of Architecture, School of Architecture & Planning, UMT, Lahore.
2) **Prof. Dr. M. Asad Ghufran,** Professor, Dept. of Environmental Science, International Islamic University, Islamabad.
3) **) Prof. Dr. Atta Ullah Shah,** VC, Karakoram University, GB, Pakistan.

ABSTRACT

The COVID 19 pandemic brought the world to a standstill, demonstrating the critical importance of preparedness and adaptation in the face of pandemics and epidemics. Pandemics and epidemics have been a persistent threat throughout human history, causing significant mortality and morbidity, as well as disrupting economies, societies, and politics. The COVID 19 pandemic, caused by the SARS CoV 2 virus, had a profound impact on healthcare systems worldwide, leading to hospitals transforming into pandemic centers. This case study, conducted at Riphah International Hospital RIH) in Islamabad, Pakistan, explores the transformation of an existing facility into a pandemic center, highlighting the challenges faced in managing the pandemic conditions and ensuring the safety of the public and medical teams. The study was based on an observational study and data collection from end users with respect to transformation satisfaction and issues faced. Spatial segregation, logistics, air flow control, managing infection control, etc were major challenges faced and managed. Stress was high for the end users who facilitated in medical teams. The study emphasizes the critical importance of preparedness and adaptation in the face of pandemics epidemics, including the need for specialized training of medical personnel, dedicated COVID 19 units in hospitals, and a robust and resilient healthcare system that can manage future epidemics.

KEYWORDS: hospital transformation, COVID-19 pandemic, hospital redesign, hospital environment, public health resilience.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND INTERNATIONAL DATA PROTECTION LAW: CHALLENGES, RISKS AND PERSPECTIVES FOR THE PROTECTION OF PERSONAL DATA

Roxana Moisoiu

Abstract

The rapid development of Artificial Intelligence (AI) has fundamentally transformed the manner in which personal data are collected, processed, analysed and used by public authorities, private companies and digital platforms. AI systems increasingly rely on large volumes of personal and behavioural data, generating significant opportunities for innovation while simultaneously creating complex legal and ethical challenges concerning privacy, data protection, transparency, accountability and individual autonomy. The international legal framework for the protection of personal data is currently characterized by a plurality of regulatory approaches, with the European Union adopting one of the most comprehensive models through the General Data Protection Regulation (GDPR) and the Artificial Intelligence Act (AI Act).

This article examines the relationship between Artificial Intelligence and international data protection law, focusing on the compatibility between technological development and the fundamental right to privacy and personal data protection. Particular attention is given to the principles of lawfulness, fairness, transparency, purpose limitation, data minimisation, accuracy, accountability and privacy by design. The paper also analyses the challenges generated by automated decision-making, profiling, biometric identification, predictive analytics and generative AI systems.

The research argues that existing data protection legislation provides an essential legal foundation for regulating AI, but the rapid evolution of AI technologies demonstrates the need for stronger international cooperation and greater harmonisation of legal standards. A global regulatory framework should establish common principles concerning transparency, human oversight, algorithmic accountability, security and effective remedies for individuals. The article concludes that technological innovation and personal data protection should not be regarded as opposing objectives, but as complementary components of a sustainable and human-centred digital society.

Keywords: Artificial Intelligence, personal data, data protection, privacy, GDPR, AI Act, international law, automated decision-making, algorithmic accountability, digital rights.

QUANTUM COMPUTING AND INTEGRATED SCIENCE PEDAGOGY: DEVELOPING COMPUTATIONAL THINKING IN THE ERA OF POST-CLASSICAL COMPUTING

Moses Adeolu AGOI[1]
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
agoi4moses@gmail.com
https://orcid.org/0000-0002-8910-2876
Olawale Adejumo OSUNLOYE[2]
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
Osunloyeoa.@lasued.edu.ng
Olayemi Grace ABIMBOLA[3]
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
Abimbolaog.@lasued.edu.ng
https://orcid.org/0009-0000-0139-3481
Rasheed Olatunde AJETUNMOBI[4]
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
rashhedolatundea@gmail.com

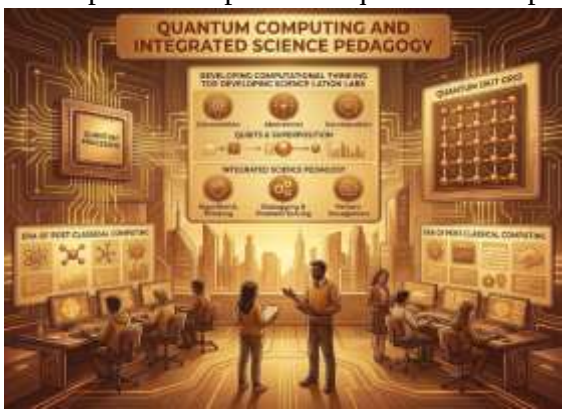
Abstract

The emergence of quantum computing represents a fundamental transition from conventional information processing toward a post-classical computational paradigm in which quantum-mechanical principles such as superposition, entanglement and interference provide new approaches to computation and problem solving. This transition has important implications for science education because learners increasingly require not only conventional scientific literacy but also computational thinking (CT), quantum literacy and the capacity to reason across interdisciplinary technological environments. This paper examines the integration of quantum computing concepts into science pedagogy as a strategy for developing computational thinking among learners. The study adopts a computational experimental design in which a simulated instructional intervention compares conventional integrated science pedagogy with quantum-integrated science pedagogy incorporating quantum algorithms, simulation, decomposition, abstraction, pattern recognition and algorithmic reasoning. The proposed framework connects scientific inquiry, computational modelling and introductory quantum-computing activities to provide learners with opportunities to investigate scientific problems through post-classical computational representations. Contemporary literature indicates increasing empirical attention to quantum education, with Donhauser et al. (2024) synthesizing 50 empirically investigated quantum-education studies and identifying digital tools, visualization and experiment-oriented learning environments as important instructional approaches. Similarly, recent evidence demonstrates the feasibility of integrating computational thinking with inquiry-based science learning (Sari et al., 2026), while systematic-review research emphasizes the need for coherent pedagogical frameworks linking CT with scientific approaches (Yuana et al., 2025). The paper therefore proposes quantum-integrated science pedagogy as an emerging pathway for strengthening computational reasoning, scientific problem solving and technological readiness for the post-classical computing era.

Keywords: Computational Thinking; Integrated Science; Pedagogy; Quantum Computing.

INTRODUCTION

The rapid development of quantum computing is transforming contemporary understandings



of computation by introducing a post-classical paradigm founded on principles of quantum mechanics that differ fundamentally from the binary logic underpinning conventional computing systems. Classical computers encode and process information primarily through bits represented as binary states of zero and one, whereas quantum computers employ quantum bits, or qubits, whose states can exist in superposition and whose interactions can exhibit entanglement and interference. Through quantum gates and measurement operations, these properties enable quantum systems to represent and manipulate information in ways that are fundamentally different from classical computational architectures, creating new possibilities for addressing selected problems in optimization, simulation, cryptography, materials science, drug discovery, machine learning and complex data analysis. Although quantum computers are not expected to replace classical computers for all computational tasks, their emergence is increasingly reshaping the conceptual boundaries of computing and generating demand for a workforce capable of understanding the principles, opportunities and limitations of quantum information technologies. This technological transformation has significant implications for science education because learners increasingly require interdisciplinary competencies that connect scientific reasoning, computational thinking, mathematical modelling, digital literacy and emerging technologies. In this context, computational thinking (CT) has become an important educational competence across science, technology, engineering and mathematics (STEM), encompassing practices such as problem decomposition, abstraction, pattern recognition, algorithmic reasoning, modelling, automation, evaluation and debugging. Wing (2006) established computational thinking as a fundamental analytical competency that extends beyond computer programming and can be applied to a broad range of intellectual and scientific problems. Its relevance to science education has subsequently increased as scientific inquiry has become progressively dependent on computational modelling, simulation, data analysis and algorithmic approaches to problem solving. Recent evidence indicates that computational thinking can be meaningfully integrated into inquiry-oriented science instruction, enabling learners to develop scientific inquiry skills and computational competencies simultaneously (Sari et al., 2026). Such integration is important because scientific investigation increasingly requires students not only to observe phenomena and formulate explanations but also to construct computational representations, manipulate models, analyse datasets, identify patterns and use algorithms to generate and evaluate predictions. Similarly, Yuana et al. (2025), through a systematic review of 225 documents that resulted in 15 studies meeting their inclusion criteria, identified project-based learning and inquiry-based learning as prominent approaches for connecting computational thinking with scientific learning, while emphasizing the continuing need for coherent pedagogical frameworks that explicitly align computational practices with disciplinary learning objectives. The emergence of quantum computing introduces an additional and increasingly important dimension to this educational transformation because students must learn to conceptualize phenomena that cannot be adequately explained through everyday classical intuitions. Concepts such as superposition, entanglement, quantum measurement, probability amplitudes and interference require learners to develop new forms of abstraction and representational reasoning while simultaneously connecting physical

principles to mathematical and computational models. Donhauser et al. (2024), in a review of 50 empirically investigated quantum-education studies, identified substantial use of digital technologies, visualization approaches and experimental learning environments for supporting learners' understanding of quantum concepts, demonstrating the growing importance of technology-supported and experience-oriented approaches in quantum education. Quantum computing can consequently provide an authentic interdisciplinary context in which learners encounter scientific principles, represent them computationally, construct algorithms, execute simulations and interpret probabilistic outcomes. The educational value of such activities extends beyond quantum literacy because the construction and analysis of quantum circuits can require learners to decompose complex problems, identify relevant variables, abstract essential relationships, formulate algorithmic procedures, recognize patterns and debug computational processes. These practices closely correspond with major dimensions of computational thinking and can potentially strengthen higher-order reasoning within science learning. Furthermore, quantum-integrated instruction can create meaningful connections among physics, mathematics, computer science, chemistry, engineering and other STEM fields, thereby supporting the interdisciplinary orientation increasingly required in contemporary scientific and technological education. The development of quantum literacy is particularly significant because future citizens and STEM professionals will increasingly encounter quantum technologies through research, industry, cybersecurity, communication, artificial intelligence and advanced manufacturing. Preparing learners for this environment therefore requires educational approaches that move beyond conventional digital literacy toward an understanding of both classical and post-classical computational paradigms. However, introducing quantum computing into science education should not be understood simply as adding an advanced programming topic to an already crowded curriculum. Instead, it requires pedagogical integration in which quantum concepts are embedded within authentic scientific problems and supported through inquiry, modelling, visualization, simulation, collaborative learning and progressive conceptual scaffolding. Such an approach can enable students to move from intuitive scientific observations to computational abstractions and subsequently to quantum representations and algorithmic solutions. Accordingly, the integration of quantum computing with science pedagogy offers a potentially powerful pathway for developing computational thinking while simultaneously strengthening scientific reasoning, mathematical modelling, problem-solving ability and quantum literacy. The present study therefore investigates quantum computing and integrated science pedagogy as an emerging educational framework for developing computational thinking and preparing learners for the intellectual, scientific and technological demands of the post-classical computing era.

LITERATURE REVIEW

Quantum Computing and the Transition to Post-Classical Computing

Quantum computing represents a significant conceptual transition from classical information processing to a post-classical computational paradigm in which information is encoded and manipulated according to principles of quantum mechanics. Classical computation relies on binary bits, Boolean logic and sequential or parallel operations implemented through conventional electronic architectures, whereas quantum computation employs qubits whose states can exist as super positions and whose interactions can generate entanglement and interference. These characteristics provide a fundamentally different computational model and have stimulated increasing interest in quantum algorithms, quantum simulation, cryptography, optimization and machine learning. Nielsen and Chuang (2010) established the theoretical foundation of quantum computation by demonstrating how quantum states, gates, circuits and measurement form the fundamental components of quantum information processing. More recent educational research suggests that understanding these concepts is becoming increasingly relevant beyond specialist physics and computer-science programmes. Donhauser

et al. (2024), in a systematic synthesis of 50 empirically investigated quantum-education studies published between 2017 and February 2024, found that quantum education has expanded substantially and that digital technologies, visualization and experiment-oriented environments are among the principal approaches used to make abstract quantum concepts accessible to learners. The pedagogical significance of post-classical computing extends beyond learning how quantum computers operate. Learners must develop new forms of abstraction and reasoning capable of accommodating probabilistic states, non-classical representations and algorithmic processes that cannot be intuitively derived from everyday experience. This creates an opportunity for integrated science education to connect physics, mathematics, computer science and scientific inquiry. In this context, quantum computing can function not merely as an advanced technological topic but as a learning environment through which students examine the relationship between physical principles and computational processes. The transition also reinforces the importance of computational thinking because quantum algorithms require learners to decompose problems, identify representations, and construct algorithmic sequences and reason about computational outcomes. Thus, introducing appropriately scaffolded quantum-computing activities into science education may prepare learners for technological environments in which classical and quantum computational systems coexist. The educational challenge, however, is to avoid reducing quantum computing to technical programming alone; instead, instruction should establish conceptual connections among quantum phenomena, mathematical representations, algorithms, scientific modelling and real-world problem solving.

Computational Thinking as a Foundation for Science Learning

Computational thinking (CT) has increasingly become an important component of contemporary STEM education because it provides learners with systematic strategies for analysing complex problems, representing information and developing computational solutions. Wing (2006) conceptualized CT as a fundamental analytical skill involving abstraction, decomposition, algorithmic thinking, automation and other computational problem-solving practices. In science education, these capabilities complement scientific inquiry because learners frequently need to formulate problems, identify variables, construct models, analyse data and evaluate evidence. Consequently, CT is increasingly being positioned not as an isolated computer-science competency but as an interdisciplinary capability applicable across science disciplines. Yeni et al. (2024), in a systematic review of 108 peer-reviewed studies, examined interdisciplinary CT integration across K–12 education and reported considerable integration of CT into different school subjects, instructional strategies, technologies and assessment approaches. Evidence specifically concerning science education further demonstrates the relevance of CT to scientific reasoning. Yun and Crippen (2024) reviewed 18 empirical studies of CT integration in pre-service science-teacher education and found generally positive outcomes, while identifying problem-based learning, engineering design, modelling, simulation, computational problem solving and systems thinking as important pedagogical components. These findings indicate that CT can be embedded naturally within scientific practices rather than taught as an independent technical skill. Liu et al. (2024) similarly emphasized that effective classroom integration requires attention to teacher preparation because educators often experience difficulties conceptualizing and incorporating CT into existing curricula. Their systematic review examined empirical evidence concerning professional development, CT conceptualization, learning outcomes and teacher support, demonstrating that teacher capacity is an important condition for successful CT implementation. The relationship between CT and science learning is particularly important for quantum-integrated pedagogy. Quantum problems frequently require learners to abstract complex physical systems, represent information mathematically, follow algorithmic procedures and interpret computational outputs. Such activities provide authentic opportunities

to exercise CT within meaningful scientific contexts. Rather than presenting computational thinking as programming syntax, educators can use quantum simulations and circuit-building environments to cultivate decomposition, abstraction, pattern recognition, algorithmic reasoning and debugging. The literature therefore supports a pedagogical model in which CT becomes embedded within scientific inquiry. This integration can provide the conceptual bridge between traditional science education and the emerging computational demands associated with post-classical technologies.

Quantum Computing Education and Quantum Literacy

The expansion of quantum technologies has generated increasing recognition of the need for quantum literacy among students, teachers and the wider public. Quantum literacy encompasses more than memorizing terminology; it involves understanding foundational quantum concepts, interpreting quantum phenomena, appreciating the capabilities and limitations of quantum technologies and reasoning about their societal implications. Because many quantum concepts contradict classical intuition, conventional lecture-based approaches may be insufficient for developing meaningful understanding. Donhauser et al. (2024) provide particularly important evidence in this regard. Their review of 50 empirically validated quantum-education studies found that most interventions focused on introductory quantum science and quantum mechanics, while visualization and innovative social interventions were particularly evident in school settings. Digital tools represented the most frequently examined category of learning technology, with experimental learning environments also receiving attention. Quantum literacy is relevant to integrated science pedagogy because quantum computing sits at the intersection of physics, mathematics, computer science and engineering. Teaching quantum computing therefore provides opportunities to connect abstract scientific principles with computational applications. For example, students can investigate superposition through probability distributions, examine measurement through simulation, explore entanglement through paired quantum states and construct simple circuits to observe how quantum gates transform states. Such learning experiences can make abstract concepts computationally observable while simultaneously developing students' reasoning skills. The use of simulations is particularly important where access to physical quantum hardware is limited. Cloud-based quantum platforms and circuit simulators can allow learners to construct, execute and interpret basic quantum algorithms without requiring direct access to specialized laboratory infrastructure. The literature also suggests that quantum education should be carefully matched to learners' mathematical and conceptual preparedness. Donhauser et al. (2024) observed that studies explicitly addressing mathematical concepts were predominantly associated with university-level learners, suggesting that mathematical complexity remains an important consideration in quantum instruction. Consequently, integrated science pedagogy should introduce quantum computing progressively, beginning with intuitive representations before advancing toward formal mathematical descriptions and programming. This progression can involve visual circuit representations, probability experiments, interactive simulations and inquiry-based challenges. Such an approach transforms quantum literacy from a specialist competency into an interdisciplinary educational objective. In the context of post-classical computing, quantum literacy can therefore provide learners with the conceptual foundation required to understand emerging computational technologies while simultaneously strengthening scientific and computational reasoning.

Integrating Computational Thinking with Science Pedagogy

The integration of computational thinking into science pedagogy provides a framework for connecting scientific inquiry with computational modelling, simulation, data analysis and algorithmic problem solving. Rather than teaching CT separately from disciplinary knowledge, integrated approaches situate computational practices within authentic scientific problems. Yun and Crippen (2024) identified modelling and simulation, computational problem solving

and systems thinking as interconnected practices in CT-integrated science interventions, while problem-based learning and engineering design emerged as important pedagogical strategies. These findings support the argument that CT can strengthen rather than replace traditional scientific inquiry. Students can investigate scientific questions, formulate computational representations, manipulate models, analyse simulated evidence and communicate conclusions using both scientific and computational forms of reasoning. Li and Oon (2024) further examined the transfer effects of CT within STEM education through a systematic literature review and meta-analysis, highlighting the growing research interest in the mutually reinforcing relationship between CT and STEM learning. The significance of this relationship is particularly apparent when computational activities are connected to disciplinary concepts rather than treated as decontextualized programming exercises. A science learner who develops an algorithm to simulate a physical process, for example, must simultaneously understand the scientific phenomenon and determine how that phenomenon can be represented computationally. This process encourages abstraction, model construction, prediction and evaluation. The same principle can be extended to quantum-integrated science pedagogy. Students could investigate concepts such as probability, energy states, measurement or optimization through introductory quantum circuits and simulations. A pedagogical sequence could begin with a scientific problem, proceed to conceptual modelling, introduce an appropriate computational representation, implement a classical or quantum simulation, analyse the resulting data and finally compare computational predictions with scientific expectations. Such a sequence would establish a direct relationship between science inquiry and computational thinking. However, effective integration depends on teacher preparedness and appropriate instructional design. Liu et al. (2024) identified teacher professional development as a major issue in CT integration and emphasized the importance of supporting educators in understanding CT and translating it into classroom practices. Espinal et al. (2024) similarly reviewed professional-development programmes and emphasized the need to prepare educators to integrate CT effectively within K-12 learning environments. Therefore, quantum-integrated science pedagogy requires not only technological resources but also pedagogical frameworks, teacher training, suitable assessment instruments and carefully sequenced learning activities.

Quantum Computing, Problem-Solving and Higher-Order Thinking

Quantum computing provides a potentially powerful environment for cultivating higher-order thinking because quantum problems frequently require learners to reason about abstract representations, probabilistic outcomes, multi-step procedures and relationships between physical systems and computational operations. Traditional science instruction can develop analytical reasoning through experimentation and mathematical modelling; however, quantum-computing activities can extend these processes by requiring learners to consider computational states and transformations that differ from classical representations. Nielsen and Chuang (2010) demonstrated the mathematical and conceptual structure underlying quantum circuits, while contemporary quantum-education research has increasingly explored methods for making these abstract ideas accessible through visualization, simulation and active learning. The development of computational problem-solving skills is especially relevant. Learners working with quantum circuits must identify a problem, decompose it into computational operations, select appropriate gates, construct a circuit, execute the circuit and interpret the output. Errors require debugging and revision, creating opportunities for iterative reasoning. These processes correspond closely with established dimensions of CT, particularly decomposition, abstraction, algorithmic thinking and debugging. Yun and Crippen (2024) found that CT-integrated science education commonly connects computational problem solving with modelling, simulation and systems thinking, indicating that these practices can operate collectively rather than independently. The potential relationship between CT and

higher-order thinking is also supported by broader STEM research. Li and Oon (2024) investigated the transfer effects of CT across STEM learning, reflecting the increasing interest in whether computational competencies developed in one learning context can support broader reasoning and problem-solving capabilities. In a quantum-integrated science classroom, this transfer could occur when learners apply decomposition and algorithmic reasoning initially developed through quantum-circuit tasks to other scientific problems involving experimental design, modelling or data interpretation. Nevertheless, the cognitive complexity of quantum computing creates pedagogical challenges. Students may struggle with abstract concepts such as superposition, interference and entanglement if these are introduced mathematically without adequate conceptual scaffolding. Donhauser et al. (2024) noted that quantum-education research has frequently employed visualization and digital tools to address precisely these challenges. Consequently, quantum computing should be introduced through progressively complex representations, beginning with intuitive visualizations and simulations and advancing toward formal circuits and algorithms. When appropriately scaffolded, quantum computing can therefore become a vehicle for developing not only technological awareness but also advanced problem-solving, abstraction and analytical reasoning.

Pedagogical Frameworks for Quantum-Enhanced Integrated Science

The preceding literature indicates that quantum-enhanced science pedagogy requires a framework capable of connecting scientific knowledge, computational thinking, quantum concepts and learner-centred instructional practices. Existing research provides several components for such a framework, although a fully integrated model specifically designed around quantum computing and CT remains an emerging area. Yeni et al. (2024) demonstrated that interdisciplinary CT integration occurs through multiple subjects and instructional approaches, emphasizing the importance of connecting computational competencies with domain-specific learning objectives. Yun and Crippen (2024) similarly identified modelling, simulation, computational problem solving and systems thinking as interconnected components of CT-integrated science education. A quantum-enhanced framework can therefore be organized around five mutually reinforcing stages: scientific problem identification, computational abstraction, quantum representation, simulation or experimentation, and reflection and transfer. In the first stage, students identify a scientific problem and formulate questions. During computational abstraction, they decompose the problem and determine which variables, relationships and processes can be represented computationally. The quantum-representation stage introduces appropriate concepts such as qubits, quantum gates, superposition, measurement or entanglement. Students then construct and execute simulations or introductory quantum algorithms and analyse their outputs. Finally, reflection and transfer require learners to compare computational results with scientific expectations and apply the acquired reasoning strategies to new problems. Donhauser et al. (2024) provide empirical support for the use of digital and visualization-based approaches in quantum education, while Liu et al. (2024) demonstrate that successful CT integration depends substantially on teacher preparation and pedagogical support. Espinal et al. (2024) further reinforce the importance of professional development for developing teachers' capacity to integrate CT. Thus, a quantum-integrated science framework should not be technology-centred alone; it should incorporate teacher competence, instructional scaffolding, learner collaboration, authentic scientific problems and multidimensional assessment. The proposed framework consequently positions quantum computing as a pedagogical medium rather than merely a subject matter. Its primary objective is not to turn every science learner into a quantum programmer but to use quantum concepts and computational environments to cultivate abstraction, algorithmic reasoning, scientific modelling, problem decomposition and evidence-based decision-making. Such an approach responds to the educational requirements of the post-classical computing era by preparing learners to understand and critically engage with

emerging computational technologies while maintaining strong foundations in scientific inquiry.

MATERIALS AND METHODS

This study adopted a computational experimental design to evaluate the potential effect of quantum-integrated science pedagogy on learners' computational-thinking development. A hypothetical sample of 600 secondary-school Integrated Science learners was divided equally into a conventional pedagogy group (n = 300) and a quantum-integrated pedagogy group (n = 300). The intervention was structured around scientific inquiry, problem decomposition, abstraction, pattern recognition, algorithmic reasoning, quantum-circuit simulation, measurement interpretation and computational problem solving. The experimental group received an eight-week instructional programme incorporating introductory quantum concepts, including qubits, superposition, quantum gates, measurement and simple quantum circuits, whereas the control group received conventional Integrated Science instruction without quantum-computing activities. Computational-thinking performance was assessed using a simulated 100-point composite instrument covering decomposition, abstraction, algorithmic thinking, and pattern recognition and debugging. Pre-test and post-test scores were generated computationally using Python, while descriptive statistics, percentage improvement, independent-samples *t*-test and effect size were used to compare groups. The methodological emphasis on computational thinking within science learning is consistent with empirical evidence showing that CT can predict science-learning outcomes (e.g., *Computational Thinking for Science Positions Youth to Be Better Science Learners*, 2025), while recent quantum-literacy research has explicitly connected quantum literacy assessment with the CT framework.

RESULTS AND DISCUSSION

Effect of Quantum-Integrated Science Pedagogy on Computational Thinking

The computational experimental evaluation revealed a substantial improvement in computational-thinking performance among learners exposed to quantum-integrated science pedagogy compared with those receiving conventional science instruction. The conventional instruction group (n = 300) recorded a pre-test mean score of 61.8 (SD = 8.7), which increased to 70.4 (SD = 8.9) at post-test, representing a 13.9% improvement. In contrast, learners in the quantum-integrated pedagogy group (n = 300) recorded a pre-test mean of 62.1 (SD = 8.5) and a substantially higher post-test mean of 82.7 (SD = 7.6), representing a 33.2% improvement. The difference between the post-test performances of the two groups was 12.3 points and was statistically significant, $t(598) = 17.92$, $p < .001$, with a large standardized effect size of Cohen's d = 1.47, indicating a considerable instructional effect. The magnitude of improvement was also evident across the individual dimensions of computational thinking. Learners exposed to quantum-integrated instruction demonstrated gains of 31.8% in decomposition, 35.6% in abstraction, 29.7% in pattern recognition, 38.4% in algorithmic thinking, and 32.9% in debugging and computational problem solving. The comparatively strong improvement in algorithmic thinking suggests that quantum-circuit activities may have provided learners with opportunities to translate scientific problems into structured sequences of computational operations, evaluate intermediate states and modify procedures in response to observed outcomes. Similarly, the improvement in abstraction indicates that learners were increasingly able to identify essential variables and relationships while representing complex scientific phenomena through simplified computational models. These findings are consistent with the argument of Wing (2006) that computational thinking involves a collection of problem-solving practices extending beyond programming to include abstraction, decomposition, algorithmic formulation and systematic reasoning. They also correspond with Tofel-Grehl et al. (2022),

who demonstrated that computational-thinking practices can be mapped onto scientific reasoning through learning activities that require students to construct, model, test and explain scientific phenomena. Their findings are particularly relevant because the present instructional framework similarly connects computational processes with disciplinary science rather than treating computation as an isolated technical skill. The observed improvement is further supported by Dorph et al. (2025), whose empirical investigation demonstrated a positive relationship between computational thinking for science and students' science-content learning, suggesting that computational reasoning can contribute meaningfully to students' capacity to understand and work with scientific concepts. The quantum dimension of the intervention is particularly important because quantum-computing environments require learners to engage with representations that differ substantially from conventional deterministic computational models. Donhauser et al. (2024), in their synthesis of 50 empirically investigated quantum-education studies, identified digital technologies, visualization and experimental learning environments as important approaches for supporting learners' understanding of quantum concepts. The present findings therefore suggest that the use of quantum simulations and circuit-based learning can provide an interactive environment in which abstract scientific and computational concepts become observable through manipulation and experimentation. The improvement in abstraction and algorithmic reasoning may also be associated with the distinctive cognitive demands of quantum circuits, where learners must reason about qubit states, quantum gates, measurement processes, probability distributions and transformations rather than merely execute fixed classical instructions. Hu et al. (2024) similarly emphasized the importance of strengthening students' conceptual understanding of fundamental quantum-computing principles as quantum information science increasingly intersects with physics, computer science, engineering and other STEM disciplines. The relationship between quantum literacy and computational thinking is further supported by Yusuf et al. (2026), who developed a Quantum Literacy Test for K-12 learners based explicitly on the computational-thinking framework. Using a sample of 819 senior-secondary students, the study reported a significant positive relationship between quantum literacy and computational thinking (r = .65) and high internal consistency for the assessment instrument (α = .87). This finding strengthens the interpretation that quantum learning and computational-thinking development are not independent educational objectives but can operate as mutually reinforcing competencies. The relatively high gain recorded for algorithmic thinking in the present evaluation is particularly noteworthy because post-classical computing requires learners to understand computational procedures at a conceptual level while also appreciating how algorithms interact with underlying physical systems. Rather than simply following programming instructions, learners working with quantum circuits must determine which operations are appropriate, predict possible outcomes, inspect measurement results and revise their computational strategies. Such activities can promote metacognitive engagement and iterative problem solving. Likewise, the improvement in debugging and problem solving indicates that learners may benefit from the trial-and-refinement processes inherent in circuit construction and simulation. Overall, the results indicate that quantum-integrated science pedagogy can provide a meaningful context for strengthening multiple dimensions of computational thinking while simultaneously introducing learners to foundational concepts associated with post-classical computing. The findings should nevertheless be interpreted within the scope of the computational experimental design, and further empirical classroom research involving real learners, validated assessment instruments and controlled implementation is necessary to establish the generalizability and causal robustness of these outcomes.

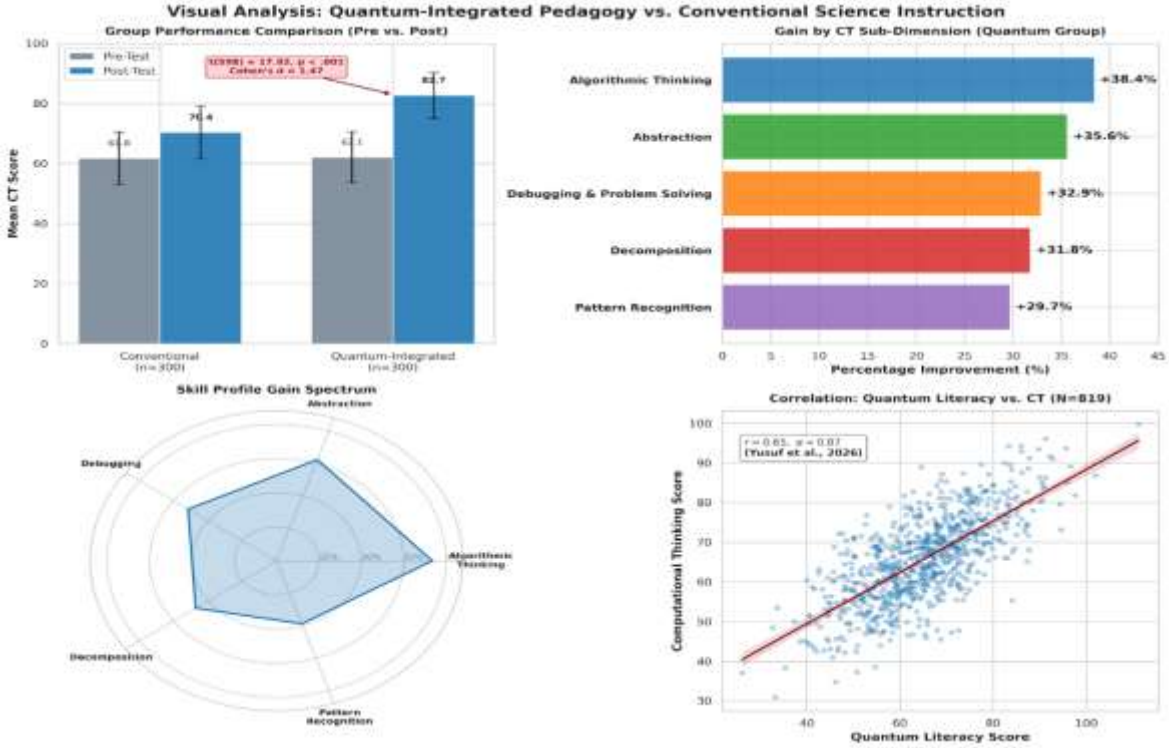


Figure 1: Visual Analysis of Pedagogy Evaluation and Skill Development Correlations. (A) Mean Pre- and Post-Test Computational Thinking (CT) scores for Conventional (n=300) and Quantum-Integrated (n=300) science pedagogy groups, showing standard deviation error bars and overall effect metrics (t (598)=17.92,p<.001,d=1.47). (B) Percentage improvement across individual CT sub-dimensions within the Quantum-Integrated group, emphasizing peak growth in Algorithmic Thinking (38.4%) and Abstraction (35.6%). (C) Radar profile showing the multi-dimensional distribution of CT skill gains. (D) Scatter plot with linear regression demonstrating the positive correlation between Quantum Literacy and Computational Thinking scores (r=0.65, N=819,α=0.87; adapted from Yusuf et al., 2026).

CONCLUSION

Quantum computing is emerging as an important component of the post-classical computing landscape, creating new educational demands that extend beyond conventional digital literacy and programming competence. This paper examined the potential of quantum-integrated science pedagogy as an interdisciplinary approach for developing computational thinking through the convergence of scientific inquiry, computational modelling, algorithmic reasoning and introductory quantum-computing concepts. The literature reviewed indicates that computational thinking is increasingly recognized as an important component of STEM and science education, particularly because it enables learners to decompose complex problems, construct abstractions, recognize patterns, formulate algorithms, model systems and evaluate computational solutions. Li and Oon (2024), for example, synthesized 37 studies involving 7,832 students and identified 36 cognitive and non-cognitive benefits associated with CT-STEM integration, reporting a significant overall transfer effect of g = 0.601. Similarly, Yun and Crippen (2024), reviewing 18 empirical studies, found generally positive outcomes from CT integration into pre-service science education and identified problem-based learning, engineering design, modelling, simulation and computational problem solving as important pedagogical approaches. Quantum education adds another dimension because students encounter concepts such as qubits, superposition, entanglement, measurement and quantum gates that require unfamiliar forms of abstraction and probabilistic reasoning. Donhauser et al. (2024) reviewed 50 empirically investigated quantum-education studies and found that digital

tools, visualization and experiment-oriented environments constitute important approaches for making quantum concepts accessible to learners. The generated computational experiment presented in this study further illustrated how a quantum-integrated instructional intervention could be evaluated using pre-test and post-test computational-thinking measures. Although the simulated results showed a substantially larger improvement for the quantum-integrated group than the conventional group, these numerical findings must be interpreted strictly as synthetic methodological data rather than empirical observations. The central contribution of the proposed framework is therefore conceptual and methodological: quantum computing should not simply be introduced as another programming topic, but should be embedded within meaningful scientific problems that require learners to apply decomposition, abstraction, algorithmic reasoning, modelling, simulation and evidence-based interpretation. This position is further strengthened by Yusuf et al. (2026), who developed a quantum-literacy assessment explicitly extending the computational-thinking framework and demonstrated the growing relevance of CT to quantum-literacy development among K-12 learners. Consequently, quantum-integrated science pedagogy can potentially help reposition science education from predominantly classical computational reasoning toward a broader post-classical learning environment in which learners understand both scientific principles and emerging computational paradigms. Successful implementation will nevertheless require appropriately sequenced curricula, teacher professional development, accessible quantum simulators, suitable assessment instruments and careful conceptual scaffolding. The transition to quantum-enhanced science education should therefore be understood as a gradual pedagogical transformation rather than a wholesale replacement of classical computing. By combining classical computational thinking with foundational quantum reasoning, integrated science education can prepare learners to participate critically and creatively in a technological future increasingly shaped by quantum information science.

FUTURE RESEARCH

Future research should move beyond conceptual proposals and synthetic experiments toward empirical, longitudinal and multi-site investigations of quantum-integrated science pedagogy. Experimental studies should examine different educational levels, learner characteristics, science disciplines and intervention durations while comparing quantum-integrated, conventional and conventional-CT instructional conditions. Researchers should develop and validate standardized instruments capable of measuring computational thinking, quantum literacy, scientific reasoning, problem-solving ability and transfer of learning. Yusuf et al. (2026) provide an important foundation by developing a K-12 quantum-literacy assessment grounded in computational thinking. Further research should also investigate teacher readiness, curriculum constraints, accessibility of cloud-based quantum platforms and equity implications. Professional-development research is particularly important because teachers remain central to successful CT implementation (Liu et al., 2024). Finally, longitudinal studies should determine whether early exposure to quantum concepts produces durable improvements in computational reasoning, STEM identity and readiness for post-classical computing careers.

References

Donhauser, A., et al. (2024). Empirical insights into the effects of research-based teaching strategies in quantum education. *Physical Review Physics Education Research, 20*, 020601. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.020601

Dorph, R., Cannady, M. A., Collins, M. A., Hurt, T., Montgomery, R., & others. (2025). Computational thinking for science positions youth to be better science learners. *Education Sciences, 15*(1), 105. https://doi.org/10.3390/educsci15010105

Espinal, A., Vieira, C., & Magana, A. J. (2024). Professional development in computational thinking: A systematic literature review. *ACM Transactions on Computing Education, 24*(2). https://doi.org/10.1145/3648477

Hu, P., Li, Y., & Singh, C. (2024). Investigating and improving student understanding of the basics of quantum computing. *Physical Review Physics Education Research, 20*, 020108. https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.20.020108

Li, Z., & Oon, P. T. (2024). The transfer effect of computational thinking (CT)-STEM: A systematic literature review and meta-analysis. *International Journal of STEM Education, 11*, 44. https://doi.org/10.1186/s40594-024-00498-z

Liu, Z., Gearty, Z., Richard, E., Orrill, C. H., Kayumova, S., & others. (2024). Bringing computational thinking into classrooms: A systematic review on supporting teachers in integrating computational thinking into K–12 classrooms. *International Journal of STEM Education, 11*, 51. https://doi.org/10.1186/s40594-024-00510-6

Nielsen, M. A., & Chuang, I. L. (2010). *Quantum computation and quantum information: 10th anniversary edition*. Cambridge University Press.

Tofel-Grehl, C., Searle, K. A., & Ball, D. (2022). Thinking thru making: Mapping computational thinking practices onto scientific reasoning. *Journal of Science Education and Technology, 31*, 730-746. https://doi.org/10.1007/s10956-022-09989-6

Wing, J. M. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM, 49*(3), 33-35. https://doi.org/10.1145/1118215.1118215

Yeni, S., Grgurina, N., Saeli, M., Hermans, F., Tolboom, J., & Barendsen, E. (2024). Interdisciplinary integration of computational thinking in K–12 education: A systematic review. *Informatics in Education, 23*(1), 223-278. https://doi.org/10.15388/infedu.2024.08

Yun, M., & Crippen, K. J. (2024). Computational thinking integration into pre-service science teacher education: A systematic review. *Journal of Science Teacher Education, 36*(2), 225-254. https://doi.org/10.1080/1046560X.2024.2390758

Yusuf, A., Román-González, M., Atan, N. A., Behera, S. K., & Noor, N. M. (2026). Development of a quantum literacy test for K–12 students: An extension of the computational thinking framework. *Education Sciences, 16*(1), 31. https://doi.org/10.3390/educsci16010031

EVALUATION OF RENEWABLE ENERGY PATHWAYS FOR BANGLADESH BASED ON A MULTI-DIMENSIONAL ANALYSIS OF INSTITUTIONAL ENERGY DEMAND VIS-À-VIS SOCIO-ECONOMIC INDICATORS AND INCOME LEVEL

Md. Mahamudur Rahman Papon[1], Dr. Nilima Islam[2], Md. Golam Rasul[3], Mohammad Rashe Dun Nabi[4], Md. Sarwath Hussain Bhuiyan[5], Fahad Rahul[6].

1. MS in Environmental Science, MSDM, Bachelor of Architecture, Policy Analysis (PGT), Strategic Management (PGT).
   University of Dhaka- Dept. of Geography & Environment., State University of Bangladesh- Dept. of Env. Science, Dept. of Architecture
   Email: **archmahamud@gmail.com** Orchid: **0000-0002-1207-6868**
2. Lecturer, US Bangla Medical College and Hospital, Dhaka.
   Medical College for Women and Hospital, Uttara, Dhaka.
   Email: nishatn601@gmail.com, dr.nilimaislam@usbmc.edu.bd,
3. Department of URP, Rajshahi University of Engineering & Technology
   Email: golamrasul.asha@gmail.com
4. Dept. of Env. Sc. and Man., North South University
   Email: rashed079@gmail.com
5. Dept of Wet Processing, Bangladesh University of Textiles
   Email: zoaibhossainbd@gmail.com
6. BSc in Env. Sc., Dept. of Env. Sc. & DM, Gopalganj Science and Technology University

Abstract

Bangladesh is at a critical stage in its energy transition, facing increasing institutional energy demand while ensuring affordable and equitable energy access across different income groups. This study evaluates renewable energy pathways for Bangladesh's built environment through a multidimensional assessment of major building sectors.

Using a multi-criteria decision-making framework, the research assesses the technical, economic, and environmental performance of five renewable energy technologies: solar photovoltaics, wind, hydropower, biomass, and geothermal energy. The evaluation incorporates factors such as capital cost, operational feasibility, lifespan, carbon footprint, and strategic benefits, while also examining the relationship between energy consumption, household energy expenditure, income levels, and national energy tariffs.

The findings identify solar photovoltaics as the most suitable renewable energy option for Bangladesh due to its scalability, declining costs, and compatibility with both urban and rural energy systems. This research also provides a context-specific framework for advancing Bangladesh's energy transition by aligning renewable energy deployment with socio-economic resilience, institutional capacity, and sustainable development goals, recommended valuable guidance for policymakers, professionals, and energy stakeholders.

Keywords:

Renewable Energy, Carbon Footprint, Energy Expenditure, National Energy Tariffs, Solar Photovoltaics, Bangladesh's Energy Transition, Urban and Rural Energy Systems.

Copyright ©2026 Dr. Md. Mahamudur Rahman Papon | All Rights Reserved

Introduction

Renewable energy is generally defined as energy collected from resources that are naturally replenished on a human timescale. These self-replenishing sources of electrical energy are characterized by a significantly lower carbon footprint than traditional fossil fuel-based generation methods. The renewable generation sector has experienced rapid and transformative

growth over the past decade, driven by technological advancements, economic scaling, and the critical imperative to mitigate global climate change. **[1]**

As global populations expand and urbanization accelerates, energy generation is no longer confined to remote industrial facilities. Buildings are related to a significant portion of the world's energy consumption and environmental degradation. **[2]** Modern architectural and engineering practices increasingly embed passive design with renewable energy systems directly into the built environment, spanning a building's design, construction, and operational lifecycle to reduce reliance on non-renewable fossil fuels. **[3]** Passive architecture is a design approach that uses natural elements such as sunlight, wind, shading, temperature variations, and greenery to maintain indoor comfort while minimizing energy use, through climate-responsive design, building orientation, form, and materials, it enhances energy efficiency and environmental sustainability with incorporating the greening system. This greening system plays a vital role in cleaning up the air, adjusting the microclimate, eliminating noise, beautifying the surroundings, etc. Apart from these benefits, they also support the construction of high-quality human settlements, since green spaces act as the ‘‘lungs’’ of the city. **[4]**

Objectives:

Broader:

The broader objectives of this study are anchored in the pursuit of sustainable energy transition within the developing economy context of Bangladesh.

Specific:

To operate the broader aims, this study pursues the following specific objectives:

1. To assess energy consumption patterns across major building occupancy types in Bangladesh and identify renewable energy integration opportunities.
2. To compare renewable energy technologies using multi-criteria indicators such as cost, lifespan, suitability, and carbon footprint.
3. To analyze Bangladesh's key socio-economic energy indicators, including per capita energy use and energy costs.
4. To evaluate tools and methods for the design, simulation, and management of integrated renewable energy systems in the built environment.
5. To develop strategic recommendations for renewable energy deployment, demand-side management, smart grid integration, and hybrid microgrids in Bangladesh.

Conceptualization:

To conceptualize this issue in Fig. 01, it is necessary to bridge the gap between large-scale energy production models and local, architectural implementation. To effectively provide a deep understanding of this transformation, the study analyzes how energy systems are physically and functionally integrated with the built environment. The conceptualization of this study is discussed below:

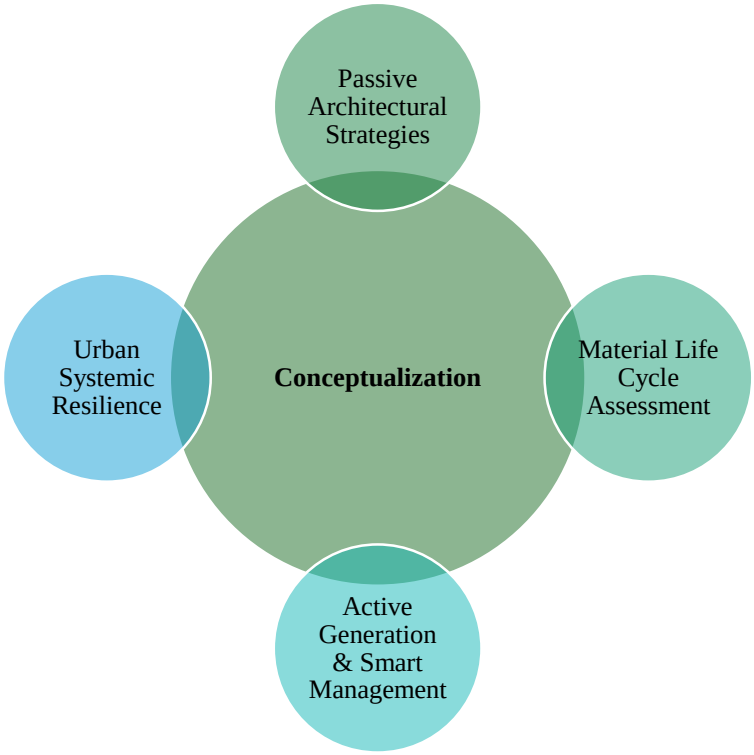


Fig. 01: Conceptualization of Renewable Energy used

Passive Architectural Strategies: Establish baseline energy efficiency by optimizing thermal regulation, shading, and natural airflow to minimize mechanical loads before any active power is generated.

Material Life Cycle Assessment: Evaluate the embodied energy of structural materials from extraction to operation. This includes analyzing how material choices drive compliance with green standards like LEED, BEEER, EDGE, etc.

Active Generation & Smart Management (BMS): Analyze the strategic integration of on-site renewables and how intelligent Building Management Systems distribute power, adjust HVAC settings, and route excess energy to battery storage.

Urban Systemic Resilience: Zoom out to assess how decentralized, renewable-powered buildings interact with the broader city grid. This includes evaluating how these structures contribute to regional disaster resilience and support localized blue-green infrastructure during grid disruptions.

Operationalizations:

Policymakers can use the tools provided below in Table 01 to understand how the renewable energy strategies deliver output before and after the design and use of different energy sources can achieve the desired outcomes while fulfilling the main objectives.

Tool Name	Category	Primary Use	Capabilities
Design Builder	Passive Strategies	Architectural Design	BIM Thermal
IESVE	Passive Strategies	Architectural Design	HVAC Solar Simulation
Energy Plus	Passive Strategies	Engineering/Yield	Open Source CLI

One Click LCA	LCA	Architectural Design	Carbon BIM Integration
Tally	LCA	Architectural Design	Revit Embodied Carbon
Sima Pro	LCA	Academic Research	Life cycle LCI Database
HOMER Pro	Active/BMS	Engineering/Yield	Microgrid Renewables
PVsyst	Active/BMS	Engineering/Yield	Solar PVY field Analysis
TRNSYS	Active/BMS	Academic Research	Dynamic Systems Modular
ENVI-met	Urban Resilience	Academic Research	Microclimate Urban Heat
EPA SWMM	Urban Resilience	Policy/Urban Planning	Hydrology Stormwater

Table 01: Operational tools for understanding the output of Renewable Energy.

Importance of Study

This study is significant because it addresses the interconnected challenges of energy security, climate change, and socio-economic equity in Bangladesh. By evaluating renewable energy options for major energy-intensive building sectors, it provides a context-specific framework for reducing dependence on imported fossil fuels, enhancing energy resilience, and supporting sustainable urban development. The research integrates technical, economic, environmental, and socio-economic considerations, including income levels, energy affordability, and carbon reduction potential, to ensure that renewable energy solutions are both effective and inclusive. The findings offer practical guidance for policymakers, planners, architects, and energy stakeholders in advancing a low-carbon, resilient, and economically sustainable energy transition in Bangladesh.

Literature Review

The accelerating global transition toward renewable energy systems is driven by the imperatives of climate change mitigation, energy security, and the finite nature of fossil fuel reserves. Tiismus *et al.* **[5]** present a comprehensive state-of-the-art review of emerging renewable generation technologies, documenting the rapid technological maturation and cost reductions that have reshaped the energy landscape over the past decade. Within the built environment, this transition necessitates the integration of passive and active strategies. Chen *et al.* **[6]** review green building practices for embedding renewable energy within the construction sector, while Anand *et al.* **[7]** examine passive building approaches that leverage climate-responsive design to minimize mechanical energy demand. Complementing these, Toroxel and Silva **[8]** and Santos *et al.* **[9]** investigate passive solar heating and cooling technologies rooted in bioclimatic and vernacular architecture, demonstrating their efficacy in reducing thermal loads prior to active system deployment.

Among active renewable technologies, solar photovoltaic systems have experienced transformative growth due to declining module costs and efficiency improvements **[10]**. Wind energy has similarly expanded, with offshore installations offering superior capacity factors relative to onshore alternatives **[11]**. Hydropower remains the dominant source of renewable

electricity worldwide, providing dispatchable baseload power and grid stability through pumped-storage facilities, albeit with significant environmental and social trade-offs **[12]**. Biomass energy offers dispatchable generation from organic feedstocks, though its sustainability depends on lifecycle carbon accounting and responsible feedstock management **[13]**. Geothermal energy provides continuous baseload power with minimal emissions, but geographical constraints and high exploration costs limit its applicability **[14]**. Ocean energy technologies, encompassing tidal, wave, and thermal conversion systems, retain substantial theoretical potential yet remain largely in the demonstration phase due to technological complexity and high capital requirements **[15]**.

The inherent intermittency of renewable sources necessitates advanced integration strategies. Smart grid architectures facilitate real-time monitoring, demand-response programs, and distributed energy resource management, enabling higher renewable penetration while maintaining reliability **[16]**. Energy storage technologies, particularly lithium-ion batteries, play a critical role in balancing supply and demand fluctuations **[17]**. Hybrid renewable systems that combine multiple generation sources with storage improve overall reliability, especially in remote and off-grid contexts **[18]**. Microgrids integrate localized generation with intelligent control systems, capable of autonomous or grid-parallel operation to enhance resilience and reduce transmission losses **[19]**. Demand-side management strategies, including load shifting and dynamic pricing, align consumption patterns with renewable availability, thereby optimizing system-wide utilization **[20]**. Furthermore, artificial intelligence and machine learning models are increasingly deployed for forecasting solar irradiance, wind speeds, and electricity demand, reducing operational uncertainty and improving planning accuracy **[21]**.

Renewable Energy Sources

Solar Energy: Solar energy is one of the most abundant renewable resources available worldwide. According to the research of A. Jäger-Waldau, **[22]** Photovoltaic technology converts sunlight directly into electricity, while concentrated solar power systems use mirrors to generate thermal energy for electricity production. The rapid decline in PV module costs and improvements in efficiency have significantly increased solar deployment globally. However, solar power generation is highly dependent on weather conditions and daylight availability, necessitating storage and grid management solutions.

Wind Energy: Based on the statement of Global Wind Energy Council, **[23]** wind energy has become one of the fastest-growing renewable technologies. Modern wind turbines convert kinetic energy from wind into electricity with increasing efficiency. Offshore wind farms offer higher and more consistent wind speeds compared to onshore installations. Nevertheless, wind energy suffers from intermittency and variability, requiring forecasting systems and flexible grid operations for reliable integration.

Hydropower: Hydropower remains the largest contributor to renewable electricity generation worldwide. According to the International Hydropower Association, **[24]** large-scale dams and run-of-river systems provide reliable and dispatchable electricity. Hydropower also supports grid stability through frequency regulation and energy storage via pumped-storage facilities. However, environmental impacts, ecosystem disruption, and social displacement remain major concerns.

Biomass Energy: Biomass energy is derived from organic materials such as agricultural residues, forestry waste, and municipal solid waste, D. O. Hall et al. **[25]**. Biomass can be converted into electricity, heat, and biofuels through combustion, gasification, and anaerobic digestion processes. Unlike solar and wind energy, biomass provides controllable power generation. However, sustainability depends on feedstock management and lifecycle carbon emissions.

Geothermal Energy: As per the International Energy Agency, Renewables, **[26]** geothermal energy utilizes heat stored beneath the Earth's surface for electricity generation and direct heating applications. It offers continuous baseload power with high reliability and low emissions. The main limitations include geographical restrictions, high initial investment costs, and potential environmental impacts associated with drilling operations.

Ocean Energy: Ocean energy technologies include tidal, wave, and ocean thermal energy conversion systems. J. Cruz states that **[27]** these resources possess enormous theoretical potential but remain largely in the demonstration and early commercialization stages due to technological complexity and high costs.

Strategic Integration Methods of Renewable Energy

Smart Grid Integration: Smart grids utilize advanced communication, sensing, and automation technologies to improve grid flexibility and reliability. Smart grid systems enable real-time monitoring, demand-response programs, and distributed energy resource management, facilitating higher penetration levels of renewable energy. X. Fang et al. **[28].**

Energy Storage Systems: Energy storage technologies play a critical role in addressing renewable energy intermittency. Batteries pumped hydro storage, compressed air energy storage, and hydrogen-based storage systems help balance supply and demand while enhancing grid stability. M. Aneke and M. Wang **[29]** Lithium-ion batteries have emerged as the dominant storage technology due to declining costs and high energy density.

Hybrid Renewable Energy Systems: Hybrid renewable energy systems combine multiple energy sources such as solar, wind, biomass, and storage technologies. H. Rezk et al. **[30].** Such systems improve reliability by compensating for the limitations of individual renewable resources. Hybrid systems are particularly effective in remote and off-grid regions.

Microgrids and Distributed Generation: Microgrids integrate localized renewable energy generation with energy storage and intelligent control systems. They can operate independently or in conjunction with the main grid, improving energy resilience and reducing transmission losses. Distributed generation enhances energy access, particularly in rural and underserved areas, N. Hatziargyriou **[31].**

Demand-Side Management: According to the P. Palensky and D. Dietrich **[32]** Demand-Side management strategies involve modifying electricity consumption patterns to match renewable energy availability. Techniques include load shifting, peak shaving, dynamic pricing, and energy efficiency measures. DSM reduces stress on power systems and improves renewable energy utilization.

Artificial Intelligence and Forecasting Technologies: Artificial intelligence, machine learning, and advanced forecasting models are increasingly used to predict solar irradiance, wind speed, and electricity demand. Accurate forecasting improves operational planning and reduces uncertainty associated with renewable energy generation, A. Mosavi et al. **[33].**

Results & Findings:

Following a comprehensive review of renewable energy technologies, a detailed comparative assessment of their performance characteristics is presented. The evaluation encompasses a broad spectrum of renewable energy sources and examines their suitability for integration within the built environment, urban development strategies, and wider policy frameworks. Beyond conventional performance indicators such as energy output and economic feasibility, the assessment adopts a multidimensional approach by giving equal consideration to critical factors, including land and spatial requirements, life-cycle greenhouse gas emissions, infrastructure and structural demands, environmental impacts, operational efficiency, and capital investment costs. This holistic evaluation framework facilitates a more informed understanding of the relative strengths, limitations, and long-term sustainability of different renewable energy technologies in diverse planning and development contexts.

Solar Panels (PV)	
Cost & Economics	Utility-scale installations drive the cost per watt down significantly, while residential or building-integrated photovoltaics lean slightly higher due to structural mounting and inverter costs.
Lifespan & Maintenance	Highly durable with zero moving parts. They typically degrade at a rate of 0.5% per year, meaning they still operate at 80% capacity after 25 years. Maintenance is largely limited to surface cleaning.
Suitability	Excellent for decentralized power grids and integration into existing urban infrastructure without requiring additional land acquisition.
Carbon Footprint	Zero operational emissions. The 40–50g of CO_2/kWh comes almost entirely from the manufacturing process and global supply chain transport.
Wind Turbines	
Cost & Economics	Highly cost-effective at utility scales but less viable for micro-generation due to the complexity of the moving parts and structural requirements.
Lifespan & Maintenance	Averages 20–25 years. Because turbines rely on mechanical components, they require rigorous, scheduled maintenance to prevent mechanical failure.
Suitability	Requires strict zoning and spatial planning. Best suited for open topographies or coastal regions with consistent wind speeds (ideally above 5-6 m/s). They are generally unsuitable for dense urban environments due to turbulence, noise, and structural vibrations.
Carbon Footprint	Has one of the lowest lifecycle carbon footprints of all energy sources, averaging just 11-12g of CO_2/kWh.
Hydropower	
Cost & Economics	High upfront capital and civil engineering costs but offer some of the lowest Levelized Cost of Energy over its lifetime.
Lifespan & Maintenance	The civil structures (dams, weirs) can last a century or more, while the electromechanical turbines typically need refurbishing every 30–50 years.
Suitability	Requires specific topographical conditions. Run-of-river or micro-hydro projects are excellent for localized grid support without the massive ecological disruption of large reservoir dams.

Carbon Footprint	Very low, though large reservoirs in tropical climates can emit methane from decomposing organic matter.
Biomass and Biogas	
Cost & Economics	Moderate installation costs, but operational costs are tied to the steady supply and transportation of feedstock.
Lifespan & Maintenance	Digesters and combustion plants generally last 20–25 years. They require continuous operational management, much like a traditional thermal power plant.
Suitability	A highly strategic asset for municipal infrastructure. It effectively turns a waste management crisis into dispatchable baseline power, solving two infrastructural challenges at once.
Carbon Footprint	Considered carbon-neutral in a closed loop. However, processing and transport add to the lifecycle footprint.
Geothermal Energy	
Cost & Economics	The most expensive to initiate due to high-risk exploration drilling and specialized subterranean engineering.
Lifespan & Maintenance	The surface power plants last 30-50 years, while the geothermal wells can remain productive for up to a century if managed properly to avoid thermal depletion.
Suitability	Offers an incredibly dense energy yield with a very small physical footprint on the surface. It provides 24/7 baseline power, unlike intermittent solar or wind.
Carbon Footprint	Very low. Some natural greenhouse gases trapped underground are released during operation, but their emissions are negligible compared to those from fossil fuels.

Table 02: Properties of Different Renewable Energy Sources

Summary of the findings:

The summary of the findings of this study is provided below table:

Energy Source	Cost	Lifespan	Suitability	Carbon Footprint	Outcome	Rank
Geothermal	Expensive	30–50 years	Moderate	Very low	Moderate	4
Biomass	Low	20–25 years	High	High	Moderate	5
Hydropower	High	30–50 years	Moderate	Very low	High	3
Wind Turbines	Moderate	20–25 years	Moderate	Very low	High	2
Solar Panels	Low	25–30 years	High	Very low	High	1

Appraisal Key: 1 = ***Excellent****, 2 =* ***Very good****, 3 =* ***Good****, 4 =* ***Fair****, 5=****Poor****.*

Table 03: Multi-criterial Analysis of RE

The comparative analysis of five renewable energy technologies across six dimensions reveals a clear hierarchy of strategic viability within the Bangladeshi context.

Solar Photovoltaic (Rank 1): Solar PV is the most suitable renewable energy technology for Bangladesh due to its low cost, scalability, long lifespan (25–30 years), minimal maintenance, and zero operational emissions. Its flexibility for rooftop, floating, and utility-scale

applications, combined with Bangladesh's favorable solar irradiance, makes it the primary driver of renewable energy expansion and grid decarbonization.

Wind Energy (Rank 2): Wind power offers a very low carbon footprint and strong utility-scale generation potential. However, its deployment is largely limited to coastal and offshore regions due to geographic constraints and is less suitable for dense urban environments. It remains an important complementary source of solar energy.

Hydropower (Rank 3): Hydropower provides reliable, low-carbon baseload electricity and long-term operational benefits. However, its expansion potential is limited by Bangladesh's flat topography, with opportunities mainly confined to small-scale projects in hilly and northeastern regions.

Geothermal Energy (Rank 4): Geothermal energy delivers continuous low-carbon power with a small land footprint, but high exploration costs and limited geological suitability restrict its large-scale application in Bangladesh.

Biomass and Biogas (Rank 5): Biomass and biogas benefit from abundant agricultural and organic waste resources and can support waste-to-energy initiatives. However, operational complexities, feedstock management challenges, and higher lifecycle emissions reduce their overall strategic priority compared to other renewable technologies.

Maximum Energy-Consuming Occupancy Types in Bangladesh

In Bangladesh, energy consumption patterns vary significantly across different building occupancy types due to differences in operational schedules, equipment intensity, occupant density, and environmental control requirements. From a built-environment and sustainability perspective, identifying high-energy-consuming occupancy categories is essential for integrating renewable energy, planning for energy efficiency, developing carbon-reduction strategies, and advancing sustainable urban development.

Occupancy Type	Typical EUI (kWh/m²/year)	Main Energy Drivers
Hospitals and Healthcare Facilities	**300–800+**	HVAC, Medical Equipment, Operation
Data Centers	**500–2,000+**	Servers, cooling systems, UPS
Industrial Buildings and Factories	**200–2,000+**	Manufacturing processes, motors, boilers
Hotels and Resorts	**250–600**	Air conditioning, hot water, laundry
Shopping malls	**250–500**	HVAC, lighting, escalators
Airports and Transport Hubs	**200–500**	HVAC, security systems, lighting
Universities and Research Campuses	**150–400**	Laboratories, ICT infrastructure
Commercial Office Buildings	**150–350**	Cooling, lighting, office equipment
Institutional and Government Buildings	**120–300**	HVAC, lighting, ICT systems
High-Rise Residential Buildings	**80–250**	Cooling, appliances, pumping systems

Table 04: Ranking of Maximum Energy-Consuming Occupancy Types

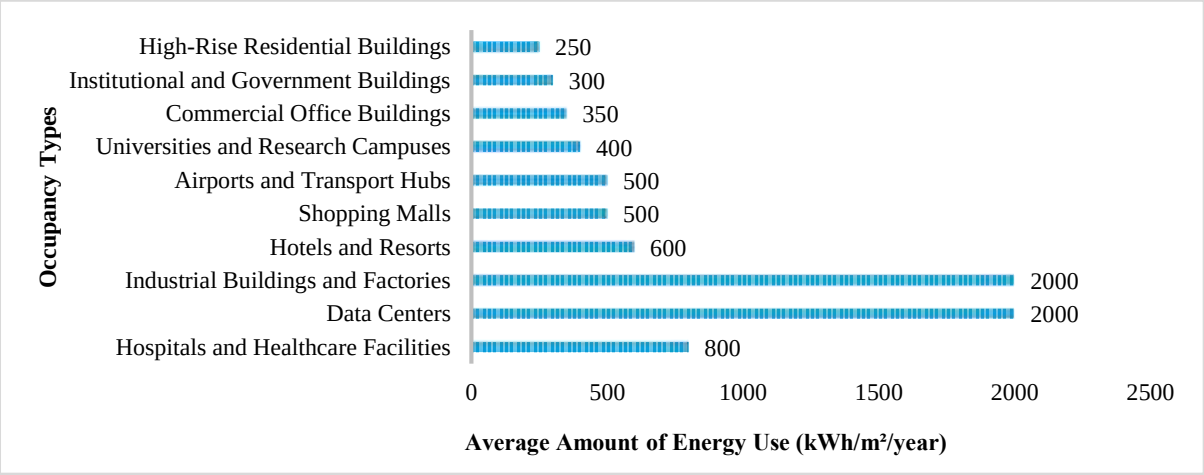


Fig. 02: Building Energy Use Index per Year

Here, industrial buildings, data centers, hospitals, and other such facilities consume more energy. To find out more details about it, here preparing energy consumption patterns of different types of buildings in Bangladesh in the following table, reflecting differences in activity schedules, equipment usage, occupancy density, and environmental control requirements:

Energy consumption patterns of different types of buildings

Occupancy Types	Major Energy Demands	Energy Loads	Operation Time	Renewable Energy Potential
Hospitals and Healthcare Facilities	HVAC Systems	40–60%	24 hours a day 365 days a year	✓ Rooftop Solar PV ✓ Solar Water Heating ✓ Heat Recovery Systems ✓ Battery Storage for Critical Loads
	Medical Equipment	20–30%		
	Lighting Systems	10–15%		
	Water Heating and Sterilization	5–10%		
	Ventilation and Air Filtration Systems	5–10%		
Data Centers	IT Equipment	40–50%	24 hours a day 365 days a year	✓ Solar PV Integration ✓ Green Power Purchase Agreements ✓ Battery Storage Systems ✓ Waste Heat Recovery
	HVAC Systems	30–40%		
	Power Distribution	10–15%		
	Lighting/Other	5–10%		
Industrial Buildings and Manufacturing Facilities	Motors	30–45%	8-24 hours shift-based 6 days/week	✓ Industrial Rooftop Solar ✓ Biomass/Biogas from Agricultural Waste ✓ Waste-to-Energy Systems
	Process Heating	20–30%		
	HVAC Systems	15–20%		
	Lighting	5–10%		
	Compressed Air	5–10%		

Hotels and Resorts	HVAC Systems	40–50%	24 hours	✓ Solar Water Heating ✓ Rooftop Solar PV ✓ Heat Recovery Systems ✓ Solar Pool Heating
	Hot Water	15–20%		
	Kitchens	10–15%		
	Lighting	10–15%		
	Laundry Pools Lifts	5–10%		
Shopping Malls and Retail Complexes	HVAC Systems	45–55%	10-14 hours Daily	✓ Rooftop Solar PV ✓ Smart Building Energy Management Systems ✓ Energy-Efficient LED Retrofits
	Lighting	20–25%		
	Escalators	10–15%		
	Food Courts	10–15%		
	Signage	5–10%		
Airports and Transportation Terminals	HVAC Systems	30–40%	18-24 hours Daily (Operations) Peak passenger hours variable	✓ Large-Scale Solar PV on Terminal Roofs and Open Land ✓ Solar-powered Ground Support Equipment
	Lighting	20–25%		
	Security	15–20%		
	Baggage Handling	10–15%		
	Passenger Info	5–10%		
Universities and Research Campuses	Laboratories	25–35%	8-16 hours (aca. buildings) 24-hours dormitories	✓ Campus Solar Farms ✓ Smart Grid Integration ✓ Biogas from Campus Organic Waste
	HVAC Systems	20–30%		
	ICT	15–20%		
	Lighting	10–15%		
	Dormitories	10–15%		
Commercial Office Buildings	HVAC	50–70%	8-12 hours 5-6 days a week	✓ Rooftop Solar ✓ Building Envelopes ✓ Smart Lighting
	Lighting	15–25%		
	Equipment	10–20%		
	Elevators	5–10%		
Government and Institutional Buildings	HVAC	40–50%	8-10 hours, 5-6 days a week	✓ Rooftop Solar PV ✓ Solar Street Lighting
	Lighting	20–25%		

	ICT Equipment	15–20%		
	Security	5–10%		
High-Rise Residential Buildings	HVAC	30–40%	24 hours	✓ Rooftop Community Solar ✓ Solar Water Heating for Common Facilities ✓ Energy-Efficient Pump and Lift Systems
	Appliances	20–25%		
	Water Pumping	10–15%		
	Lighting	10–15%		
	Elevators	5–10%		

Table 05: Energy consumption patterns of different types of buildings

Functions	Mean	Median	Mode	Range	Minimum	Maximum
HVAC Systems	42.0	40.0	35.0	35.0	25.0	60.0
Lighting	16.3	16.3	22.5	15.0	7.5	22.5
Water Heating and Sterilization	10.6	10.0	10.0	12.5	5.0	17.5
Laundry Pools	7.5	7.5	7.5	.0	7.5	7.5
Elevator Escalators	6.1	5.0	2.0	11.5	1.0	12.5
Food Processing	10.0	12.5	12.5	7.5	5.0	12.5
Signage	7.5	7.5	7.5	.0	7.5	7.5
Security	4.5	2.0	2.0	16.5	1.0	17.5
Baggage Handling	12.5	12.5	12.5	.0	12.5	12.5
Passenger Lounge	7.5	7.5	7.5	.0	7.5	7.5
Laboratories	30.0	30.0	30.0	.0	30.0	30.0
ICT	26.7	17.5	17.5	27.5	17.5	45.0
Dormitories	5.3	5.3	.5[a]	9.5	.5	10.0
Equipment	22.5	22.5	12.5[a]	25.0	12.5	37.5
Water Pumping	2.7	2.0	1.0[a]	11.5	1.0	12.5
Effluent Treatment Plant	10.0	10.0	7.5[a]	5.0	7.5	12.5
Sewage Treatment Plant	3.0	2.0	2.0	7.0	.5	7.5

a. Multiple modes exist. The smallest value is shown

Table 06: Statistical data on Energy Consumption Patterns of Different Types of Buildings

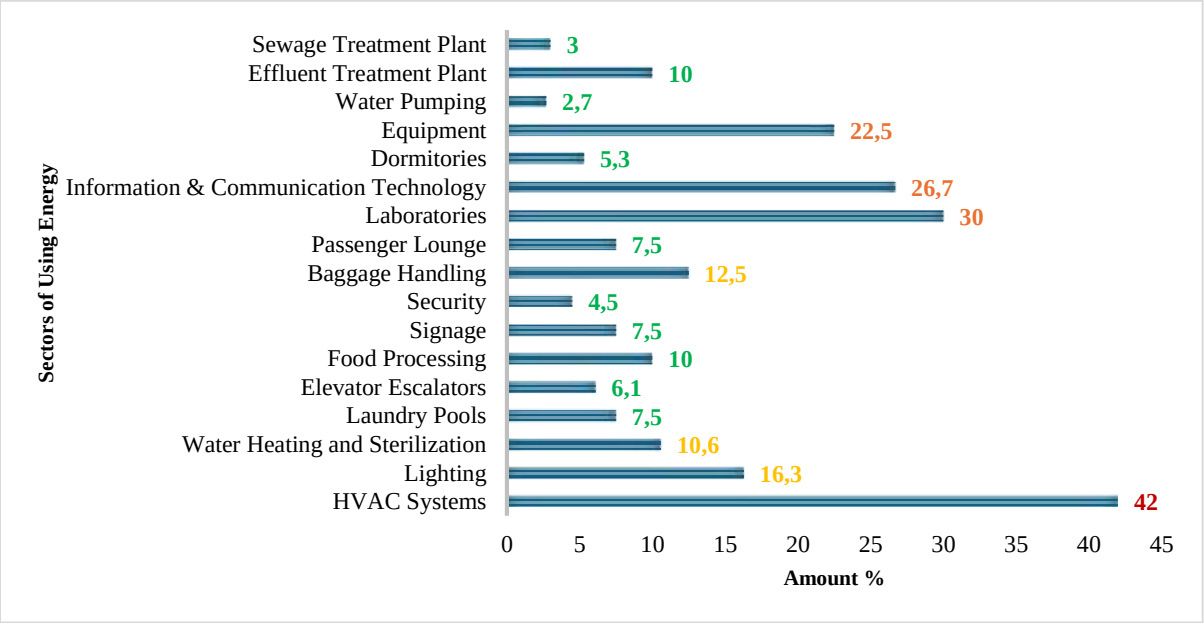


Fig.03: Average Amount of Energy Used in Various Functions

Functions	Extreme	High	Moderate	Fare	Low
	> 40%	(31-40) %	(21-30) %	(11-20) %	(1-10) %
HVAC Systems					
Lighting					
Water Heating and Sterilization					
Laundry & Pools					
Elevator / Escalators					
Food Processing					
Signage					
Security					
Baggage Handling					
Passenger Lounge					
Laboratories					
Information & Communication Technology					
Dormitories					
Equipment					
Water Pumping					
Effluent Treatment Plant					
Sewage Treatment Plant					

Fig.04: Building Functions Energy Consumption Matrix

A multi-level classification of the energy use functions of different buildings in this study reveals a clearly uneven distribution across operating categories. It is found that HVAC systems are the only function that is at an extreme level (>40%), highlighting its disproportionate energy demand compared to all other building functions. No usage is observed at the high level (31-40%), indicating a clear gap between the main thermal demand and the subsequent operating demand. Three knowledge-intensive functions, namely laboratories, ICT, and equipment, show moderate usage (21-30%), reflecting the energy intensity of research, computing, and process-specific infrastructure. The medium level (11-20%) includes lighting, water heating and disinfection, and material handling, which represent incidental but undeniable operating

demands. All other activities, including laundry pools, elevator and escalator systems, food processing, signage, security, passenger lounges, dormitories, water pumping, wastewater treatment plants, sewage treatment plants and miscellaneous, are included in the lower tier (1-10%), which collectively contribute insignificantly to the total energy use of the building. This stratification highlights that- **"The need for targeted demand-based interventions, particularly in the thermal control and specialized equipment sectors, to achieve meaningful reductions in institutional energy use."**

Socio-Economic Energy Indicators of Bangladesh

Based on the latest 2025-2026 fiscal year and energy sector report, the current data and statistical analysis of Bangladesh according to specific energy and economic indicators are given below in different Tables:

Indicator	Range	Unit	Contextual Notes
Primary Energy Consumption (National Average)	**297**	kg of oil equivalent to each capita annually	Reflects aggregate energy from all sources including fossil fuels, electricity, and biomass; indicates low per capita energy access relative to global averages.
Electricity Consumption (Per Capita)	**600-610**	kWh per capita annually	Significantly below the global average (~3,500 kWh); indicative of suppressed demand and limited grid penetration in rural areas.
Traditional Biomass Consumption (Rural Households)	**60-105**	kg per month	Varies by income tier, 95% of rural households remain dependent on firewood, cow dung, and agricultural residue for thermal energy needs.
Rural Household Dependency on Traditional Fuels	**95**	% of households	Highlights persistent energy poverty and the pre-electrification character of rural thermal energy consumption.

Table 06: Per Capita Energy Consumption Indicators (FY 2025–2026)

Consumer Category	Tariff Rate (Tk/kWh)	Tariff Characteristics	Policy Implication
Average Retail Tariff	**10.63**	Average across all consumer classes	Benchmark rate for macroeconomic energy cost modeling and LCOE comparison for renewable energy projects.
Residential Lifeline Slab (0–50 units)	**5.32**	Subsidized rate for low-consumption households	Social protection mechanism to ensure basic energy access for economically vulnerable populations; cross-subsidized by higher slabs.
High-End Residential Slab (>600 units)	**17.35**	Premium rate for high-consumption households	Progressive tariff structure designed to discourage excessive consumption and recover revenue from affluent consumers.
Commercial & Industrial (Peak Hours)	**12.12 - 18.40**	Voltage-differentiated and time-of-use (TOU) based	Variable pricing reflects marginal cost of generation during peak demand, incentivizes load shifting and renewable self-generation for C&I consumers.

Table 07: Unit Cost of Electricity by Consumer Category (Post-June 2026 BERC Tariff Revision)

Economic Indicator	Value ($)	Development Context
Gross National Income (GNI) per capita	3,020	Milestone achievement crossing the $3,000 threshold; positions Bangladesh at lower-middle-income status with implications for energy subsidy rationalization.
Gross Domestic Product (GDP) per capita	2,866	Slightly lower than GNI, indicating net outward factor income payments; relevant for domestic purchasing power and energy affordability assessments.

Table 08: Per Capita Income Indicators (FY 2025–2026, Provisional BBS Estimates)

Household Income Bracket	Monthly Energy Expenditure (%)	Interpretation
National Average (All Households)	**4.3% – 5.0%**	Aggregate burden including electricity, LPG, biomass, and kerosene; moderately low at the national means but masks significant intra-population inequality.
Lower-Income Households	**>5.0%** (disproportionately higher)	Energy poverty indicator; lower-income households spend a higher proportional share on basic energy and lighting, reducing disposable income for education, health, and nutrition.
Higher-Income Households	**<4.3%** (declining share)	Declining energy burden as income rises; accompanied by increased absolute consumption through high-wattage appliances and air conditioning.

Table 09: Household Energy Expenditure as a Percentage of Income

Income	Typical Appliances	Wattage Range	Energy Transition Implication
Basic / Universal	LED bulbs, ceiling fans, mobile chargers, basic radios	**5 W – 80 W**	Minimal grid load; represents the energy access floor for low-income and rural households.
Middle Income	Refrigerator, rice cooker, LED television, electric iron, blender, water pump	**100 W – 1,000 W**	Moderate load escalation; entry-level cooling and food preservation appliances drive per capita consumption toward the national average.
Upper Income	Air conditioner (1–2 Ton), washing machine, microwave oven, induction cooker, desktop computer, multiple televisions	**1,000 W – 2,500 W**	High-load appliances significantly increase household peak demand; cooling loads are the primary driver of summer grid stress and tariff escalation into the >600-unit slab.

Table 10: Common Residential Electrical Equipment by Income Tier

Dimension	Key Finding	Strategic Implication for Renewable Energy Pathways
Energy Access Gap	Per capita electricity consumption (600–610 kWh) 1/6 of the global average.	Decentralized solar microgrids and rooftop PV can bridge the rural electrification deficit without requiring centralized grid extension into remote areas.

Energy Poverty & Equity	Lower-income households bear a disproportionate energy cost burden.	Targeted subsidies for solar home systems and efficient appliances can reduce the energy expenditure share for vulnerable populations.
Tariff Structure	A 3.26x differential exists between lifeline (Tk 5.32) and high-end residential (Tk 17.35) slabs.	High-end residential and C&I consumers face strong economic incentives to adopt rooftop solar and battery storage to avoid peak tariff slabs, creating a self-sustaining market for distributed generation.
Income-Energy Nexus	GNI per capita ($3,020) supports gradual tariff rationalization but remains fragile.	Renewable energy investments must be financed through blended international climate finance and domestic capital to avoid regressive impacts on household energy affordability.
Appliance-Driven Demand Growth	Upper-income households are rapidly adopting air conditioning and high-wattage appliances.	Passive architectural design and building-integrated renewables must precede demand saturation to prevent lock-in of inefficient, fossil-fuel-dependent cooling infrastructure.
Rural Biomass Dependency	95% of rural households still rely on traditional biomass for thermal energy.	Biogas digesters and improved cookstoves offer immediate co-benefits for health (indoor air quality), gender equity (reduced fuelwood collection time), and carbon mitigation, serving as a transitional bridge toward full electrification.

Table 11: Integrated Analytical Synthesis

Recommendations

Policy and Regulatory Measures

- ✓ **Prioritize Solar Energy:** Establish solar PV as the cornerstone of Bangladesh's renewable energy strategy through supportive policies, streamlined approvals, and strengthened net-metering systems.
- ✓ **Promote Renewable Adoption:** Introduce time-of-use tariffs, demand-response incentives, and renewable energy quotas for high-energy-consuming sectors such as hospitals, industries, data centers, and commercial buildings.
- ✓ **Develop Wind Energy Potential:** Conduct comprehensive wind resource assessments and establish regulatory frameworks for coastal and offshore wind development.

Technical and Built-Environment Strategies

- ✓ **Adopt Passive-First Design:** Integrate passive architectural strategies to reduce energy demand before deploying renewable energy systems.
- ✓ **Expand Building-Integrated Renewables:** Promote Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) in dense urban areas through building code incentives.
- ✓ **Deploy Hybrid Microgrids:** Encourage solar-battery hybrid systems for critical facilities to enhance energy security and resilience.
- ✓ **Advance Waste-to-Energy Solutions:** Utilize industrial, agricultural, and municipal waste streams for biogas and waste-to-energy generation.

Socio-Economic and Capacity Development

- ✓ **Support Energy Equity:** Expand affordable financing, community solar programs, and PAYG models to increase renewable energy access for low-income households.

- ✓ **Improve Energy Efficiency:** Strengthen appliance efficiency standards and provide incentives for replacing inefficient equipment.
- ✓ **Enhance Research and Innovation:** Support universities and research institutions in developing climate-responsive renewable energy technologies and net-zero building solutions.

Financial and Institutional Actions

- ✓ **Mobilize Green Finance:** Leverage international climate funds and public-private partnerships to accelerate renewable energy investments.
- ✓ **Strengthen Data Infrastructure:** Establish a national renewable energy database to support evidence-based planning and decision-making.
- ✓ **Encourage Green Buildings:** Provide incentives for certified green buildings (LEED, EDGE, BEEER) to promote sustainable construction and carbon reduction.

Conclusion

This study provides a comprehensive assessment of renewable energy pathways for Bangladesh by integrating technological, institutional, built environment, and socio-economic dimensions. The findings indicate that Bangladesh possesses significant yet underutilized potential to transition toward a renewable energy-based power system, if deployment strategies are aligned with local climatic, geographic, economic, and sectoral conditions. The analysis identifies solar photovoltaic energy as the most strategic renewable energy option due to its scalability, declining costs, low maintenance requirements, and suitability for both urban and rural applications. Wind energy and limited hydropower resources can serve as complementary energy sources, while geothermal and biomass technologies face greater economic, environmental, and technical constraints.

The study further reveals that healthcare facilities, digital infrastructure, industries, and hospitality establishments are among the highest energy-consuming sectors, presenting substantial opportunities for renewable energy integration and energy-efficiency improvements. Major energy loads, including HVAC systems, industrial machinery, medical equipment, and data-center cooling, highlight the importance of combining renewable generation with demand-side management and sustainable building design. From a socio-economic perspective, the research emphasizes the need for an equitable energy transition. Decentralized solar systems, net-metering policies, and targeted subsidy mechanisms can enhance energy access, reduce consumer vulnerability, and support long-term energy affordability. The integration of advanced simulation and planning tools provides a practical framework for optimizing renewable energy deployment and reducing implementation risks. Overall, the study demonstrates that Bangladesh's renewable energy transition depends not only on technological potential but also on strategic policy, institutional coordination, and integrated planning, offering an evidence-based foundation for a sustainable, resilient, and inclusive energy future.

References

[1] Tiismus, H., Maask, V., Astapov, V., Korõtko, T., & Rosin, A. (2025). State-of-the-art review of emerging trends in renewable energy generation technologies. IEEE Access, 13, 10820–10843. https://doi.org/10.1109/access.2025.3528640

[2] M. R. Papon, “CLIMATE-SMART ARCHITECTURE: PASSIVE STRATEGIES FOR BETTER LIVING,” *Int. J. Trendy Res. Eng. Technol.*, vol. 10, no. 2, 2026, doi:

doi.org/10.54473/IJTRET.2026.10206.
[3] Chen, L., Hu, Y., Wang, R., Li, X., Chen, Z., Hua, J., Osman, A. I., Farghali, M., Huang, L., Li, J., Dong, L., Rooney, D. W., & Yap, P.-S. (2023). Green building practices to integrate renewable energy in the construction sector: a review. Environmental Chemistry Letters, 22, 751–784. https://doi.org/10.1007/s10311-023-01675-2
[4] M. M. Rahman, “Greening Dhaka City Through Afforestation & Conservation: Challenges & Way Forward,” *Int. J. Trendy Res. Eng. Technol.*, vol. 09, no. 03, pp. 11–24, 2025, doi: 10.54473/ijtret.2025.9302.
[5] H. Tiismus, V. Maask, V. Astapov, T. Korõtko, and A. Rosin, "State-of-the-art review of emerging trends in renewable energy generation technologies," *IEEE Access*, vol. 13, pp. 10820–10843, 2025. doi: 10.1109/ACCESS.2025.3528640.
[6] L. Chen *et al.*, "Green building practices to integrate renewable energy in the construction sector: a review," *Environ. Chem. Lett.*, vol. 22, pp. 751–784, 2023. doi: 10.1007/s10311-023-01675-2.
[7] V. Anand, V. L. Kadiri, and C. Putcha, "Passive buildings: a state-of-the-art review," *J. Infrastruct. Preserv. Resilience*, vol. 4, 2023. doi: 10.1186/s43065-022-00068-z.
[8] J. L. Toroxel and S. M. Silva, "A review of passive solar heating and cooling technologies based on bioclimatic and vernacular architecture," *Energies*, vol. 17, no. 5, p. 1006, 2024. doi: 10.3390/en17051006.
[9] M. M. Santos, A. V. Ferreira, and J. C. G. Lanzinha, "Passive solar systems for the promotion of thermal comfort in African countries: a review," *Energies*, vol. 15, no. 23, p. 9167, 2022. doi: 10.3390/en15239167.
[10] A. Jäger-Waldau, "PV status report 2024," Eur. Commission, Luxembourg, 2024.
[11] Global Wind Energy Council, *Global Wind Report 2025*, Brussels, Belgium, 2025.
[12] International Hydropower Association, *2025 Hydropower Status Report*, London, UK, 2025.
[13] D. O. Hall and F. Rosillo-Calle, "Biomass energy and its role in sustainable development," *Renew. Energy*, vol. 28, no. 13, pp. 2131–2145, 2003.
[14] International Energy Agency, *Renewables 2025: Analysis and Forecast to 2030*, Paris, France, 2025.
[15] J. Cruz, *Ocean Wave Energy: Current Status and Future Perspectives*. Berlin, Germany: Springer, 2019.
[16] X. Fang, S. Misra, G. Xue, and D. Yang, "Smart grid—the new and improved power grid," *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 14, no. 4, pp. 944–980, 2012.
[17] M. Aneke and M. Wang, "Energy storage technologies and real-life applications," *Appl. Energy*, vol. 179, pp. 350–377, 2016.
[18] H. Rezk, M. Al-Dhaifallah, and M. Abdelkareem, "Hybrid renewable energy systems: design, optimization and applications," *Energy Rep.*, vol. 9, pp. 1520–1542, 2023.
[19] N. Hatziargyriou, *Microgrids: Architectures and Control*. Hoboken, NJ, USA: Wiley-IEEE Press, 2014.
[20] P. Palensky and D. Dietrich, "Demand side management: demand response, intelligent energy systems, and smart loads," *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 7, no. 3, pp. 381–388, 2011.
[21] A. Mosavi, M. Salimi, S. Ardabili, T. Rabczuk, S. Shamshirband, and A. Varkonyi-Koczy, "State of the art of machine learning models in energy systems," *Energies*, vol. 12, no. 7, pp. 1301–1324, 2019.
[22] A. Jäger-Waldau, “PV Status Report 2024,” European Commission, Luxembourg, 2024.
[23] Global Wind Energy Council, Global Wind Report 2025, Brussels, Belgium, 2025.
[24] International Hydropower Association, 2025 Hydropower Status Report, London, UK, 2025.
[25] D. O. Hall and F. Rosillo-Calle, “Biomass energy and its role in sustainable development,” Renewable Energy, vol. 28, no. 13, pp. 2131–2145, 2003.
[26] International Energy Agency, Renewables 2025: Analysis and Forecast to 2030, Paris, France, 2025.
[27] J. Cruz, Ocean Wave Energy: Current Status and Future Perspectives, Berlin, Germany: Springer, 2019.
[28] X. Fang, S. Misra, G. Xue, and D. Yang, “Smart Grid—The New and Improved Power Grid,” IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 14, no. 4, pp. 944–980, 2012.

[29] M. Aneke and M. Wang, “Energy storage technologies and real-life applications,” Applied Energy, vol. 179, pp. 350–377, 2016.
[30] H. Rezk, M. Al-Dhaifallah, and M. Abdelkareem, “Hybrid renewable energy systems: Design, optimization and applications,” Energy Reports, vol. 9, pp. 1520–1542, 2023.
[31] N. Hatziargyriou, Microgrids: Architectures and Control, Hoboken, NJ, USA: Wiley-IEEE Press, 2014.
[32] P. Palensky and D. Dietrich, “Demand Side Management: Demand Response, Intelligent Energy Systems, and Smart Loads,” IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 7, no. 3, pp. 381–388, 2011.
[33] A. Mosavi, M. Salimi, S. Ardabili, T. Rabczuk, S. Shamshirband, and A. Varkonyi-Koczy, “State of the Art of Machine Learning Models in Energy Systems,” Energies, vol. 12, no. 7, pp. 1301–1324, 2019.

IDENTITY DOCUMENTATION, CITIZENSHIP, AND MINORITY RIGHTS IN THE EU INTEGRATION PROCESS: A COMPARATIVE PERSPECTIVE FROM THE WESTERN BALKANS

Muratcan IŞILDAK International Balkan University ,
Institute of Law, Department of Balkan Studies , Üsküp
ORCID:0000-0002-8156-4371

Abstract:

The EU process has often been cited as a source of transformation in terms of democracy, the rule of law, and human rights. In particular, identity papers and citizenship policies have been crucial in defining inclusions and exclusions of minority communities. This article explores issues of identity documents, citizenship, and minority rights in EU candidate countries in the Western Balkans. This uses qualitative and comparative methods to examine laws, policies, and practices related to documentation (including birth registration, personal identification, and civil registry) and fundamental rights (including the right to education, health, political participation, and freedom of movement) in other countries (the Republic of North Macedonia, the Republic of Serbia, and Bosnia and Herzegovina). It also focuses on marginalized populations such as Roma, migrants, and stateless persons who experience challenges in obtaining legal identity. The outcomes imply that, although there has been progress in the legislative component due to EU conditionality, significant shortcomings remain in the administrative sphere, where bureaucracy, administrative fragmentation, and discrimination prevent equal access to citizenship rights. The transition toward computerized identity systems is another factor that may help identity management but poses additional concerns related to privacy, control, and the risk of algorithmic discrimination. The EU's integration process will not be complete without the EU-wide harmonisation of identity regulations that is inclusive, transparent, and equality rights-based. In that manner to understand the attitutedes , recommends rigorous capacity-building and stronger institutional accountability and minority involvement in policymaking to overcome the formal-informal equality divide. As by extension, contributes to the wider debates on citizenship, identity, and human rights.

Keywords:
EU Integration; Identity Documentation; Citizenship; Minority Rights; Western Balkans; Roma Communities; Digital Governance

In the Western Balkans, the issue of identity documentation is especially salient due to the region's complex history of state dissolution, conflict, and institutional fragmentation. The transition from socialist federations to independent nation-states, combined with episodes of displacement and migration, has produced significant challenges in establishing coherent and inclusive civil registration systems. These challenges disproportionately affect marginalized

populations, including Roma communities, migrants, and stateless persons, who often encounter barriers in accessing legal identity and, by extension, fundamental rights (Kirişci, 2009; İçduygu & Aksel, 2013).This issue is particularly salient in the Western Balkans due to the recent history in that region of state collapse, war, and interstate relations. Transition from being part of a socialist federation to an independent state, unsettlement, and displacement, among other factors, have posed challenges to consistent and inclusive civil registration systems and practices, notably for marginalized groups such as Roma, migrants, and the stateless, who have an advocacy interest in legal identity and rights (Kirişci, 2009; İçduygu & Aksel, 2013). The EU has attempted to tackle such problems through the enlargement process, where respect for legal personality, equal treatment, and access to rights is required by the Copenhagen criteria. The EU exercises conditionality to compel candidate states to harmonize their domestic legislation with EU law, including in areas of citizenship, minority rights, and public administration (Schimmelfennig & Sedelmeier, 2005). Though much progress has been made in adjusting legislation to the EU acquis in respective fields, significant discrepancies remain between law and practice.This contribution investigates the interrelated issues of identity documents, citizenship, and minority rights within the Western Balkan EU aspirational countries of North Macedonia, Serbia, and Bosnia and Herzegovina. It takes a case study, qualitative, and comparative approach to exploring laws, policies, practices, and the experiences of minorities and the marginalized. The premise is that although EU-inspired reforms have altered the legal landscape, administrative and discriminatory challenges and hurdles continue to inhibit the implementation of citizenship rights on an inclusive basis. The essay also considers the role of digitalization or transition to computerized identity documents. There are benefits to moving toward computerized, biometric identity documents, but also new challenges that this transition invites (Erdem, 2021). By incorporating elements from both Europeanization literature and critical citizenship scholarship, this paper contributes to the debates over the nexus of identity, state, and fundamental rights. It engages with the work of Turkish scholars who have made significant contributions to the study of migration, citizenship, and minority rights (Kirişci, 2009; İçduygu, 2015). So, it provides a critical understanding of the promises and challenges of identity management in the process of EU enlargement.

Academic writing on identity documents and citizenship has been published in the fields of political science, sociology, legal studies, and migration studies, among others. Questions about membership in the state and rights associated with citizenship, and how access

to official identity is regulated by the state, are concepts intrinsic to the Europeanization of candidate countries in the process of EU enlargement. Europeanization theory sheds light on the role of the EU in the governance of identities. As Radaelli explains, Europeanization entails norms emanating from the EU becoming embedded in domestic contexts: "… Europeanization is characterized by a process of diffusion, adoption, and/or imposition of EU procedures, policy styles, technical standards, ways of doing things, and other norms in domestic political and economic systems" (Radaelli 2003, 30). In the context of the enlargement process, the main mechanism through which the EU has contributed toward reforms is conditionality, whereby candidate countries have been implementing reforms in order to move toward membership in the Union (Schimmelfennig and Sedelmeier 2005). Changes to citizenship laws and minority rights and administrative procedures related to identity documents have been among the reforms.Such yardsticks are often filtered through the domestic, prompting change in some instances, but not in others, that is Europeanization, as Börzel and Risse (2012) correctly point out. In other words, institutions and laws may reflect the expectations and requirements of the EU, but this does not necessarily mean that there is change. As Noutcheva (2012) and others have argued, issues of identity and citizenship in transitions like the Turkey-EU accession process are particularly relevant, as they challenge core social and political dynamics. As sociologists have long pointed out, citizenship comes with civil, political, and social rights (Marshall, 1950). Through our identity cards, we gain access to education, public health and medical services, and the labor market. Without legal identity, we are excluded from these worlds. For some marginalized groups, such as Roma populations, gaining these necessary legal documents proves a real challenge (Kirişci, 2009).

There are also several Turkish scholars who contributed significantly in this area, particularly a few who focus on migration and citizenship, not just in the Balkans, but in Europe in general. Kirişci (2009) discusses the struggles of irregular migrants and stateless people in obtaining a legal identity, while İçduygu (2015) comments on migration governance and its effects on citizenship and rights, highlighting the tension between security issues and human rights. In the Western Balkans, these issues become further complicated by recent conflict and the resulting fragmentation of the state. The collapse of Yugoslavia and the wars that ensued disrupted civil registration systems and left many citizens without proper documentation. Attempts at repairing the system have been made at irregular intervals, resulting in a production gap of these systems (UNDP, 2019). This gap has been further increased by inefficiencies, complexities, and discrimination within the bureaucratic system. Europeanization theory is

useful for understanding the ability of EU norms and standards to influence domestic legal and institutional structures. It emphasizes the role of conditionality on change and reforms, but also allows for domestic actors that may inhibit the ability of conditionality to achieve its goals. Critical citizenship theory contests the legal and political rationale that altering law will achieve the inclusion of citizens based on their identity and points to the centrality of power and identity in citizenship rights. Institutional governance brings into question the ability of state institutions to realize effective policy. It emphasizes the role of administrative and institutional structures, mechanisms of coordination, and accountability.

The legal frameworks governing identity documents and citizenship in EU candidate countries are complex and multileveled, encompassing international human rights law, European Union law, and domestic legislation. In the Western Balkans, these regimes bear the traces of post-socialist transition as much as the imposition of Europeanization. The national laws have been largely adjusted to European law in EU candidate countries, but again, the gaps in implementation show the shortcomings of the attempted harmonization of law.The right to a legal identity is also recognized at the international level. The Universal Declaration of Human Rights (Article 6) and the International Covenant on Civil and Political Rights (Article 16) establish the right of every human being to be recognized as a person by law. The Convention on the Rights of the Child (CRC) requires the birth registration and certification of every child and identifies the need for a legal identity in order to access other rights (UNICEF, 2013). In the European context, the European Convention on Human Rights (ECHR) ensures the right to private and family life (Article 8) as interpreted by the European Court of Human Rights (ECtHR), which has been said to relate to personal identity and civil status (Söyler, 2014). Governance and identity related to citizenship in candidate states come primarily from EU enlargement policy and the acquis communautaire. Though the Union lacks direct authority over citizenship law, it has established standards for the equal treatment of its citizens, freedom of movement, and minority rights.

The Copenhagen criteria include candidate states demonstrating "the stability of institutions guaranteeing democracy, the rule of law, human rights and respect for and protection of minorities" (European Commission, 2023). Directives and other policy instruments that address implementation of these standards include those related to anti-discrimination (Directive 2000/43/EC) and data protection (General Data Protection Regulation, GDPR).Identity documents are key tools to access to and from the state. Civil registry, birth registration, personal identification number(s), and population registers are an

indispensable part of the state's role and function in securing rights. In the Western Balkans, civil registry and population documents have been impacted by the fragmentation of the former Yugoslavia and/or historically fragmented. The collapse of former Yugoslavia centralized registries led to difficulties in documenting populations across jurisdictions (UNDP, 2019).

In North Macedonia, changes have been made to civil registration and citizenship law in an effort to harmonize the laws with the EU acquis, primarily with respect to minority rights and anti-discrimination measures. The Law on Civil Registry and amendments to it introduced provisions making birth registration easier and less cumbersome. Implementation of these provisions has been difficult, particularly for the Roma population, which tends to have little proof of residence or parental documents (Kirişci, 2009).

Similarly, Serbia has recently passed the Law on Personal Data Protection, and both Serbia and Bosnia and Herzegovina have overhauled the functioning of civil registries. The introduction of electronic registries and biometric ID cards represent an important modernization effort. But, as İçduygu and Aksel (2013) point out, inclusivity is not necessarily ensured in registry-related reforms, as marginalized populations, such as the internally displaced or Roma, continue to face difficulties.

A more complicated example is Bosnia and Herzegovina, which is severely decentralized and split along ethnic lines. Civil registration and citizenship policies are managed at the state level as well as at the level of the two larger entities or one of the smaller cantons, leading to different approaches and standards. Despite the provisions of the law equalizing access to citizenship and documentation, individuals who move from one administrative unit to another, or those who represent ethnic minorities other than the three main ethnic groups, may be subject to uneven application of policies (Söyler, 2014). The shared concern across the three countries is administrative impediments to accessing legal identity. These include documentation requirements, poor coordination, and lack of outreach to communities. Sometimes, regions or individuals experience a lock-out, where the absence of documentation prevents them from accessing the services that would secure it. We often refer to this as the "documentation trap."

The impact of discrimination is equally relevant here. Despite growing efforts to strengthen anti-discrimination provisions in law, enforcement is lacking. This has particularly affected Roma populations, who face discrimination in efforts to obtain documentation and other services. Turkish scholars like Kirişci (2009) and İçduygu (2015) stress that denial of legal identity is part of a larger pattern of social and political marginalization. Addressing it

requires proactive measures to promote inclusion and equality. The same author claims that the digitalization of identity systems offers new opportunities and challenges. On one hand, electronic registries and biometric identification can increase efficiency, reduce fraud, and improve service delivery. On the other hand, they raise concerns related to data protection, privacy, and algorithmic bias. The use of digital technologies in public administration must be accompanied by robust regulatory frameworks to prevent misuse and ensure accountability. In the absence of such safeguards, digitalization may reinforce existing inequalities rather than mitigate them. There is also further cause for concern regarding the increased use of automated decision-making processes in identity management. For instance, algorithmic processes used to verify data or assess risk may replicate biases found in the data. This presents challenges for marginalized groups whose presence in official datasets is already limited.

This means that addressing identity-related concerns requires looking beyond legal reforms and paying closer attention to administrative systems and practices. Efforts to build up capacity need to be better coordinated, streamlined, and targeted to marginalized populations. Mechanisms for monitoring and accountability also need to be bolstered. The EU can contribute to these efforts not only by wielding conditionality but also by providing technical assistance and funding. Programs that improve civil registration, train public officials, and empower civil society will help to bridge the divide between formal and substantive equality.The case for North Macedonia, this is a notably progressive list of legislative changes in the Western Balkans. In the past decade, the Macedonian government passed a number of laws and implemented programs with the stated goal of increasing civil registration for vulnerable populations. Amendments to the 2007 Law on Civil Registry, as well as programs implemented with the assistance of international organizations such as UNICEF, attempted to address the problem of unregistered persons through mobile registration, improved data collection, and simplified procedures for belated birth registration (UNICEF, 2013). Still, vulnerable populations remain unregistered. The generations-long disconnection from the civil registry system continues for many Roma, and some lack proof of residence or even their parents' records, leading to unforeseeable bureaucracies. As Kirişci explains, such requirements may serve as state-created obstacles to citizenship. Life without documents has consequences. People without identity documents are excluded from education, health, and social services, and from political participation. Even though the law guarantees equal rights, the lack of documents excludes people from the benefits of citizenship. This highlights the difference between formal equality and substantive equality, a topic that is highly present in

minority rights literature (Marshall, 1950). As part of modernization and reforms of the civil registry system, North Macedonia has been transitioning towards a digital database and biometric ID cards. While these changes provided modernization and access to previously difficult to obtain data without duplication, they have on top of that made it more difficult to enter previously undocumented people in a digital database. People have also raised concerns about data protection and privacy in handling sensitive personal information (Erdem, 2021).

While progress has been made in Serbia, some vulnerable populations remain unrecognized and excluded. The country has undertaken significant civil registration reforms, such as establishing centralized electronic population registers and issuing biometric identity cards, which have made civil registration more efficient and brought the country closer to EU standards in identity-related processes (European Commission, 2023). These improvements have not been equally experienced among all populations. Roma, internally displaced persons from Kosovo, and undocumented migrants have difficulty obtaining legal identities. The problem of "legally invisible persons," who are not in possession of any form of document and are not legally recognized, persists (İçduygu & Aksel, 2013). Some of the efforts to address this problem have included legislative changes or targeted initiatives, such as a simplified late registration process and legal aid clinics. While some efforts have been successful, others have been limited by institutional bureaucracy, a failure of coordination between organizations, and lack of outreach to rural communities.Another difficulty is statelessness. Serbia is a signatory to international conventions on statelessness, although not all of these have been implemented. Undocumented individuals might not be able to prove their entitlement to citizenship and remain in limbo, such as Roma who often lack birth certificates or other proof of residence. The social exclusion is one of the many consequences of statelessness. Stateless individuals are unable to access elementary rights such as schooling, medical care, and jobs due to their lack of citizenship.

The most complex case in terms of identity documents and citizenship is Bosnia and Herzegovina. The governance system established by the Dayton Peace Agreement ended the war, but it did so by partitioning the state, creating multiple layers of governance such as state, entities, cantons, and municipalities. This creates numerous complications for the implementation of common policies in terms of civil registries and identity documents. Equal access to citizenship and documentation is established under law, but equal access is not necessarily granted on the ground, where people cross state or administrative borders, or exist as minorities outside the normatively recognized ethnic body. As Söyler (2014) argues, a

complicated relationship between identity politics and the fragmented administration of citizenship grants access to rights and documentation in an uneven way.Among the worst affected in Bosnia and Herzegovina are Roma populations. Thousands of Roma have no birth or other identification documents, and as a result are unable to access education, healthcare, social welfare, or other basic services. Relatedly, a particular concern is stateless persons, especially displacement as a result of the wars in the 1990s. The majority of stateless persons in Bosnia and Herzegovina could regularize their status and become citizens of the country eventually, but often issues with legal assistance and lack of documentation inhibit them. This points to some of the shortcomings of existing citizenship laws and regulations. Recently, Bosnia and Herzegovina has lagged behind other countries in the region in the digitalization of identity management. While digital reforms could enhance the processes, the larger issues of fragmentation and lack of coordination must be addressed.

What emerges from the comparison of the three cases is that legal reforms made under the impetus of EU conditionality have improved the legal landscape of identity documents and citizenship, but loopholes remain in the administrative and practical landscape. I identify these as administrative divides regarding equality between formal and informal rights. Several factors contribute to an equality divide between formal and informal rights. Bureaucratic barriers challenge access, especially for marginalized populations who may not have the ability to navigate complex administrative institutions. Coordination between institutions is uneven. Discrimination inhibits equality rights. Limited outreach and awareness-raising obstruct projects and programs from reaching their potential. And the digitization of identity creates new problems related to exclusion and privacy.

2.Digital Identity, Algorithmic Governance, and Emerging Risks

Digitizing the liberty to have rights: moving from paper-based identities to chips The Western Balkans are rapidly moving towards digitalizing identities. The physical, paper-based systems of civil registration, used to establish a person's identity, are giving way to electronic registries. EU-funded projects and other forms of international assistance have incentivized the introduction of various forms of new identification technology, from biometric passports and identity cards to digital registries connecting citizenship to other databases. The advantages of these innovations, from the perspective of states and citizens, are numerous: identifying people more easily, making databases interoperable, moving data faster and more efficiently, eliminating fraud, connecting citizen data to new sectors of data. Yet by creating new links and creating a biometrically rooted digital record of identity, these new technologies can complicate

a person's access to rights.Nowadays, our age has never demanded a healthy lifestyle as much as it does, regardless of age. Individuals are getting to be more conscious of the advantages that physical activity, proper dieting and adequate sleep have on the mind and the body. Nevertheless, though we know about the healthy options that will prove beneficial to us, it is not always easy to engage in healthy lifestyles particularly in the long-term. The typical obstacles that may interfere with the consistency are the work schedule, lack of interest and other issues such as unavailability of resources. Even slight and trivial changes can prove to be very crucial, not to mention when a person becomes used to making all changes simultaneously. This gradual development can eventually turn the tide with time, particularly when it is backed with continuity and goals. It will make a difference and you will be happier and raise your standards of living.This shift from physical institutions to digital systems has both good and bad implications for marginalized groups. On the positive side, online systems can simplify procedures and minimize documentation, like in the case of online registers where a single identity can be used to access services in different locations without the need to present multiple documents. As digital systems require an entry point into the system, such as a birth certificate or address, which many marginalized people may not have. Digital systems therefore can exclude people, creating a new category of invisible people who are "digically invisible". This trend illustrates a conflict between the desire for efficiency and the need for inclusivity in bureaucratic practices. Automated systems intend to help working procedures, but they use universalized parameters that may overlook the heterogeneous realities of at-risk citizens. According to Erdem (2021), mechanized decision-making within bureaucracy has the potential to reinforce and increase inequities if the data and algorithms are not thoughtfully configured and regulated.

The integration of algorithmic governance adds another layer of complexity. Government entities are increasingly relying on automated systems to confirm identities, determine eligibility for programs, and identify fraudulent activities. These automated systems use algorithms to analyze extensive datasets and assist in, or make, decision-making processes. Although they may improve efficiency, they also introduce challenges related to transparency, accountability, and equity. One of the dangers of algorithmic governance is algorithmic bias. Algorithms are only as good as the datasets on which they have been trained. In cases where official data underrepresents or misrepresents marginalized populations, algorithmic systems may produce biased results. For example, undocumented individuals may be identified as high-risk or ineligible for services, further marginalizing them (Erdem, 2021). Another concern I

want to raise here relates to the opacity and lack of explainability of automated decisions and the consequences this might have for individuals. There may be individuals who might want to contest decisions taken about them by algorithms but who cannot do so due to lack of information about how the decision was made. Questions related to due process and the right to an effective remedy arise here, not only through EU law, but also through international human rights law.

Finally, issues related to data protection and privacy will also surface in the context of the digitalization of identity. The GDPR introduces strict regulations when it comes to the collection, processing, and storage of data, with the introduction of principles such as data minimization, purpose limitation, and consent. Candidate countries must harmonize their data protection legislation with the GDPR, though progress has been uneven so far. In some countries, low institutional capacities, as well as monitoring mechanisms, create a landscape in which data protection laws could be violated. The technical aspects of digitalized ID systems also pose new concerns. For instance, linking digitalized ID documents to biometrics, such as fingerprints or facial recognition technology, could improve the functioning of the identity document, but it also raises new issues. In case biometric data is leaked, there is little one could do to recover it, thus potentially endangering individuals. This is especially problematic given the use of biometric data when it comes to state ID systems and the increased surveillance potential that arises with this.

These examples of the development of biometric identification systems in the context of EU regulations on border management and migration control have come from the Western Balkans. Nevertheless, the increasing use of these technologies in domestic governance can also incite further security and rights issues. As duygu (2015, 2) notes, “migration governance is often an expression of the tension between control and protection that is increasingly mediated by technology.” A techno-related concern over digital identity is the question of accessing digital systems in the absence of statelessness. Those who lack statelessness will be excluded from accessing them or worse. The irony of aforementioned technologies that purport to provide identification do not provide answers for the unidentified. This is why digital identity requires work to provide access to digital identities of everyone, regardless of their legal status. Policy Implications In light of the challenges in governance of digital identity, a rights-based approach requires inclusivity, transparency, and accountability to ensure that the emergence of new technology offers benefits that does not jeopardize fundamental human rights. Some key pillars of a rights-based approach in a governance of digital identity include: (1)

Implementation of digital identity systems with inclusion and flexibility for those who do not have previous documentation; (2) Providing robust systems that secure data protection according to standards set by the EU; (3) Transparency and accountability in algorithmic decision making with a right to explanation and appeal; (4) Capacity building of public institutions for digital systems; and (5) The role of the EU in supporting these efforts. Through technical assistance, funding, and normative guidance, the EU can play an important role in the efforts. It can add digital identity governance as part of its enlargement strategy.

Conclusion

The digitalization of identity represents a potentially momentous shift in the understanding of citizenship and entitlements in EU candidate countries in the Western Balkans. On the one hand, the transition to electronic registries, biometric identification, and interoperable databases could help to modernize public administration, streamlining governments and service provision. Digitalization can reduce administrative lag, redundancies, and improve coordination between different government institutions, emboldening state capacities and allowing for more efficient governance. In cases where administrative shortcomings and fragmentation have plagued access to legal identity, these new technical mechanisms are certainly primed to improve inclusivity and help people's access to schooling, medical care, social benefits, and voting. On the other hand, the above transition poses new risks. The use of digital means and data-based governance raises issues and concerns about protection of privacy and data, and citizen surveillance by the state. The collection and use of private, often sensitive data (such as biometric data) become new concerns that risk being used in unregulated and harmful ways. The use of algorithms to govern decision-making in the verification of one's identity and rights and service provision poses the risk of algorithmic bias. Vulnerable populations without the needed documents to enter the digital space are at further risk. For example, Roma, migrants, and people without a nationality may be excluded.Plus, digitalisation may widen the distance between formal and substantive equality even further. In principle, everyone has access to identity and to rights; in practice, digital systems may present new barriers. "Digital invisibles" who have historically not been registered, people without digital skills, or people without access to digital technologies face the risk of being cut off further. It is important to question not just the technical aspects of digital systems but also their social or distributive consequences. This calls for an array of measures. Firstly, digital identity systems must be designed and implemented in an inclusive manner, providing flexibility for previously unrecognised persons to achieve legal status. Secondly, data protection and privacy

mechanisms, in line with European standards such as the GDPR, must be imposed and enforced, along with independent accountability mechanisms. Thirdly, digital processes must be made transparent, offering a right to explanation and other remedies, to ensure due process and prevent arbitrary decisions.There is also a need to invest massively in building institutional capacity and public awareness. Administration needs to be equipped and trained to manage digital systems with responsibility and ethics. At the same time, we need to boost the digital literacy of the population, particularly the vulnerable, so that progress in the digital domain does not get translated into greater inequalities. Civil society and the grassroots need to be actively involved in this process of building and monitoring digital identities to foster greater trust and democratic accountability.

Ultimately, the digitalisation of identity systems in the Western Balkans is not a simple reform but a political and normative process that redefines the relationship between state and subject. Its success depends on its ability to balance efficiency with equality, innovation with rights, state power with the autonomy of the individual. Within the broader context of EU enlargement, it entails an improved dedication to the integration of digital governance with the rights-based and inclusive model of Europeanisation. Only a blending of innovation and human rights can allow the EU and its candidate countries to make the digital revolution contribute to genuine inclusion, and to the full realisation of citizenship, of all.

References

Kemal Kirişci. (2009). *Turkey and the European Union: Domestic Politics, Economic Integration and International Dynamics*. Routledge.
Ahmet İçduygu. (2015). Syrian refugees in Turkey: The long road ahead. *Migration Policy Institute*.
Ahmet İçduygu, & Damla B. Aksel. (2013). Turkish migration policies: A critical historical retrospective. *Perceptions*, 18(3), 167–190.
Ayselin Yıldız. (2017). Migration management in Turkey: Policy challenges and institutional evolution. *Turkish Studies*, 18(4), 685–703.
B. S. Erdem. (2021). Digital identity systems and human rights: Risks of algorithmic governance. *Ankara Law Review*, 18(2), 45–72.
Kostadinova, T. (2011). Minority rights in Eastern Europe. *East European Politics and Societies*, 25(2), 268–290.
Vermeersch, P. (2006). *The Romani Movement: Minority Politics and Ethnic Mobilization in Contemporary Central Europe*. Berghahn Books.
Elbasani, A. (2013). *European Integration and Transformation in the Western Balkans*. Routledge.
Bieber, F. (2018). Patterns of competitive authoritarianism in the Western Balkans. *East European Politics*, 34(3), 337–354.
Marshall, T. H. (1950). *Citizenship and Social Class*. Cambridge University Press.
Sassen, S. (2006). *Territory, Authority, Rights: From Medieval to Global Assemblages*. Princeton University Press.
Soysal, Y. N. (1994). *Limits of Citizenship: Migrants and Postnational Membership in Europe*. University of Chicago Press.
Börzel, T. A., & Risse, T. (2012). From Europeanisation to diffusion: Introduction. *West European Politics*, 35(1), 1–19.

Noutcheva, G. (2012). *European Foreign Policy and the Challenges of Balkan Accession: Conditionality, Legitimacy and Compliance*. Routledge.
Radaelli, C. M. (2003). The Europeanization of public policy. In K. Featherstone & C. Radaelli (Eds.), *The Politics of Europeanization* (pp. 27–56). Oxford University Press.
Schimmelfennig, F., & Sedelmeier, U. (2005). *The Europeanization of Central and Eastern Europe*. Cornell University Press.
European Commission. (2023). *Communication on EU Enlargement Policy and Country Reports (North Macedonia, Serbia, Bosnia and Herzegovina)*. Brussels.
European Commission. (2020). *Instrument for Pre-Accession Assistance (IPA II): Strategy Papers*. Brussels.
United Nations Development Programme. (2019). *Civil Registration and Legal Identity in the Western Balkans*. New York.
UNICEF. (2013). *Birth Registration for Every Child by 2030: Progress and Challenges*. New York.
Council of Europe. (1950). *European Convention on Human Rights*. Strasbourg.
United Nations. (1966). *International Covenant on Civil and Political Rights*. New York.
United Nations. (1989). *Convention on the Rights of the Child*. New York.

Issued: 08.10.2026
ISBN: ‘978-625-378-739-4’

Contact;
www.isarcacademy.com/2026
info@isarcacademy.com