6. INTERNATIONAL

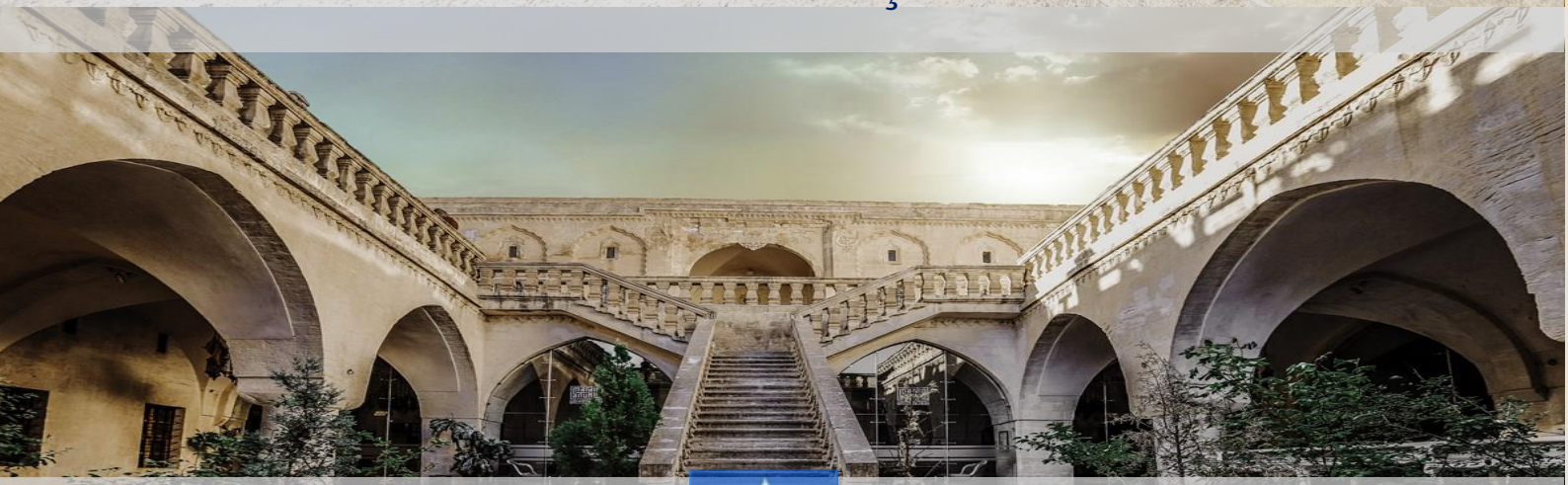
MARDİN

SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS

23-24 July 2026
MARDİN-TÜRKİYE



Editors:
Prof. Dr. Elvan ÜSTÜN
Prof. Dr. Neslihan ŞAHİN



www.isarcacademy.com

İKSAD Publishing House

CONGRESS BOOK

ISARC Academy

INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

INTERNATIONAL **MARDİN** SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS-VI

July 23-24, 2026 MARDİN, TÜRKİYE

PROCEEDINGS BOOK

EDITOR

Prof. Dr. Elvan ÜSTÜN

Prof. Dr. Neslihan ŞAHİN

by

IKSAD PUBLISHING HOUSE®

All rights of this book belong IKSAD Publishing House

Authors are responsible both ethically and juridically

IKSAD Publications – 2026©

Issued: 05.08.2026

ISBN: 978-625-378-693-9

CONGRESS ID

CONGRESS TITLE
INTERNATIONAL MARDİN SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS-VI

DATE and PLACE
JULY 23-24 MARDİN / TÜRKİYE

PARTICIPATION
Keynote & Invited

PARTICIPANTS COUNTRY
Türkiye,

CONGRESS PRESIDENT
Prof. Dr. Neslihan ŞAHİN
Malatya Turgut Özal University

GENERAL COORDINATOR
Melike KAYA
ISARC Academy,Türkiye

NUMBER of ACCEPTED PAPERS- (Türkiye-42 , Other Countries-49)

'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. Deniz KARATAŞ

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

Assoc. Prof. Dr. Zulfiyya ISMAYIL

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. Jaın SADHNA
Unıversıty Of Delhı

Prof. Dr. Kübra KARAMAN
Yozgat Bozok University

Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN
Siirt University

Prof. Dr. Mehmet Şahin
Gaziantep University

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. Seyfi ŞEVİK
Hitit University

Prof. Dr. Songül ÇAKMAKÇI
Atatürk University

Prof.Dr.Vehbi GÜNEŞ
Selçuk University

Prof.Dr. Yadigar GÜLSEVEN SIDIR
Bitlis Eren University

Prof. Dr. Zharkynbıke SULEIMENOVA
Kazakh National Women's Pedagogical University

Prof. Dr. Zülfü GÜROCAK
Fırat 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. Oqtay QULİYEV
Azerbaycan Devlet İktisat University

Assoc. Prof. Dr. Salman Bashir MEMON
Shah Abdul Latif 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. Zamıg TEHMEZOV
Azerbaycan Devlet Pedagoji University

Assoc. Prof. Dr. Zulfiyya ISMAYIL
Nahçıvan Dövlet Universiteti

Dr. Ali ARSHAD
University Utara

Dr. Aygün MEHERREMOVA
Bakü Devlet University

Dr. Bhavtosh AWASTHİ
Jecrc University India

Dr. Chems Eddine BOUKHEDIMI
University of Tizi Ouzou

Dr.Duong To Quoc Thaı
Dong Thap University

Dr.Huma Ikram
University Of Karachi

Dr. Moses Adeolu AGOI
Lagos State University of Education

Dr. Muhammad IMRAN
Government College University

Dr.Muhammad Saleh FAISAL
Pmdc Registration

Dr. Nurhoca AKBULAYEV
Azerbaycan Devlet İktisat University

Dr. Rana BAYTİN ALACI
VAN YY University

Dr. Rida ZULFİQAR
University of Szeged

Dr. Tatia DOLİDZE
European University

Scıentific Development and Innovative Approach

6th INTERNATIONAL MARDİN SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
23-24 JULY MARDİN

Congress Program

Participant Countries:

ALBANİA, ALGERİA, AZERBAİJAN, BANGLADESH ,GEORGİA, IRAN, MOROCCO, NİGERİA, PAKİSTAN, ROMANİA, USA,UNİTED KİNGDOM

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**

ZOOM;

MEETING ID: 823 4034 6886

PASSCODE: 645341

https://us06web.zoom.us/j/82340346886?pwd=QeaCaoBqJu1EoM0SuvSXuWcEF7QCCQ.1

23.07.2026 / Hall-1, Session-1

ANKARA LOCAL TIME	MEETING ID: 823 4034 6886
10 [00] : 11 [45]	PASSCODE: 645341

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Elvan ÜSTÜN

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Synthesıs And Characterızatıon Of 1-Methallyl-3-(3,5-Dımethoxybenzyl)Benzımıdazolıum Bromıde Salt	Prof. Dr. Neslihan ŞAHİN Prof. Dr. Elvan ÜSTÜN	Malatya Turgut Özal University/ Cumhuriyet University/ Ordu University
Investıgatıon Of The Antıcancer Actıvıty Of Benzımıdazole-Type Molecules: A Molecular Dokıng Study	Prof. Dr. Elvan ÜSTÜN Prof. Dr. Neslihan ŞAHİN	Malatya Turgut Özal University/ Cumhuriyet University/ Ordu University
DNA Markers-Based Assessment Of İnfraspecific Genetic Variation İn Sunflower Genotypes	Seyed Mehdi Talebi Kimiya Anjomani	Arak University/IRAN
On Bronze Structures And The Vıshnevskıı Operator	Assoc. Prof. Dr.Rabia ÇAKAN AKPINAR	Kafkas University
On Sılver Structures And The Nıjenhuıs Tensor	Assoc. Prof. Dr. Rabia ÇAKAN AKPINAR	Kafkas University
Order Forecastıng Analysıs Usıng Rıdge, Lasso, And Elastıc Net Regressıon Methods: An Applıcatıon In The Energy Sector	Ahmet GÜRGAŞİN	Astor Enerji A.Ş. AR-GE Merkezi
Monte Carlo And Copula-Based Stochastıc Volume Modelıng In The Manufacturıng Sector	Ahmet GÜRGAŞİN	Astor Enerji A.Ş. AR-GE Merkezi

23.07.2026 / Hall-2, Session-1

ANKARA LOCAL TIME	**MEETING ID: 823 4034 6886**
10 00 : 11 45	**PASSCODE: 645341**

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Baycan MOR

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Telmısartan Use In Cats	Assist. Prof. Dr. Tuğba Melike PARLAK Prof. Dr. Enver YAZAR	Selçuk University
Use Of Cyclosporıne In Dogs And Cats	Assist. Prof. Dr. Tuğba Melike PARLAK Prof. Dr. Enver YAZAR	Selçuk University
Evaluation of Antileishmanial Activity and Cytotoxicity against Leishmania infantum and Leishmania tropica: A Study of Thieno[3,2-d]pyrimidin-4(3H)-one Schiff Bases	Assist. Prof. Dr. Baycan MOR	Kafkas University
Beyond Paın: A Comprehensıve Physıotherapy Assessment Of Spınal Tuberculosıs—A Case Report	Asisst. Prof. Elisa ÇALIŞGAN	Kahramanmaras Sutcu Imam University
Knowledge Of Sports Trauma Among Sports Students	Assoc. Prof. Dr. Genta NALLBANI	Sport University of Tirana/ALBANİA
Clinicopathological Features Of Lichenoid Drug Eruption: A Case Report	Prof. Dr.Havva Erdem Ceren Karadeniz	Ordu University
Clinicopathological Features Of Drug-Associated Erythema Multiforme: A Case Report	Prof. Dr.Havva Erdem Hatice İrem Ezber	Ordu University

23.07.2026 / Hall-3, Session-2

ANKARA LOCAL TIME	MEETING ID: 823 4034 6886
10 ^{00} : 12 ^{00}	PASSCODE: 645341

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Uğur TÜRKMEN

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
The Support Of Rüveyde ' Yüksel Ergen For Art Wıthın The Context Of Prosocıal Behavıors	Prof. Dr. Uğur TÜRKMEN	Çanakkale Onsekiz Mart University
The Appearance Of Educatıonal Musıc Composers Wıthın The Context Of The Amateur Instrumentalısts Festıval	Prof. Dr. Uğur TÜRKMEN	Çanakkale Onsekiz Mart University
Musıcal Dıversıty And Cultural Interactıon In Mardın Folk Songs	Lect. İsmail ERASLAN	Trabzon University
From Red To Black: Traces Of Industrıal Herıtage In The Potters' Quarter Of Sagalassos	Assoc. Prof. Dr. Serap ÜNAL Meral UYSALGENÇ	Süleyman Demirel University
Intangıble Cultural Herıtage Of Ayvalık	Zeynep Naz VURAN Prof. Dr.Nezihat KÖŞKLÜK KAYA	Dokuz Eylül University
Emergency Management. Ss_Au Settlements Self-Sufficıent And Autonomous Based On Experımental Housıng Unıts	Prof. Dr. Celestina FAZIA Dr. Arch. Antonia POSTORINO	Kore University/ITALY
A Human-Centered Editorial Aı Journalism Model For Türkiye: A Risk-Based Decision Framework For Newsrooms	Assist. Prof. Dr. Mehmet CEYLAN	Zonguldak Bülent Ecevit University
Battle of Dhat al-Salasil in Southern Jordan: A Critical Site Study in Light of Archaeological Evidence from (Bir Madhkur) and the Historical Link to the Expedition of Dhat Atlah	Prof. Mohammed Waheeb	The Hashemite University

23.07.2026 / Hall-4, Session-2

ANKARA LOCAL TIME	MEETING ID: 823 4034 6886
10 30 : 12 15	PASSCODE: 645341

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

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Relıgıous And Polıtıcal Propaganda Under One-Party Rule Between 1940-1944	Assoc. Prof. Dr. Ferit YÜCEBAŞ	Van Yüzüncü Yıl University
Health Self-Efficacy Among Unıversıty Youth Aged 18-25	Assist. Prof. Dr. Hurigül EKEN	Selçuk University
Musical Creativity And Artificial Intelligence	Aliyeva Maralkhanim Tofig gizi	Azerbaijan State Pedagogical University/AZERBAİJAN
The Place Of Musical Education In The Modern Educational Space	Aliyeva Maralkhanim Tofig gizi	Azerbaijan State Pedagogical University/AZERBAİJAN
Traces Of Words Found In “Et-Tuhfetü’z-Zekiyye Fi Lugâti’t-Türkiyye” In Azerbaıjanı Turkısh	Lecturer. Zulfiye AGHAYEVA	Azerbaijan University of Architecture and Construction (AUAC)/AZERBAİJAN
The Voıce Of Women From Ancıent Tımes To The Present:Polyphony And Dıalogısm In The Work I, Anatolıa	Lect. Gözde CAMKIRAN DÜZ Lect. Nuray Tuğçe OĞUZ	Mudanya University
From Self-Dısclosure To Communıcatıve Practıce: Oversharıng On Tıktok In Türkıye	Dr. Ayça BAKINER	Bilecik Şeyh Edebali University

23.07.2026 / Hall-5, Session-3

ANKARA LOCAL TIME	MEETING ID: 823 4034 6886
10 30 : 13 15	PASSCODE: 645341

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Sarphan UZUNOĞLU

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
The Quantified Newsroom: A Review Of The Transformation Of News Values, Professional Roles, And Editorial Autonomy In The Age Of Metrics	Assist. Prof. Dr. Sarphan UZUNOĞLU	İzmir University of Economics
From Double-Entry Accounting To Triple-Entry Accounting: An Exaınation Of The Impact Of Blockchain Technology On Accounting Record Systems	Assoc. Prof. Dr. Alper Tunga ALKAN SMMM Hakan ACER	Selcuk University
Influence Of Organizational Culture On Employee Job Satisfaction In Public Institutions: A Study Of Federal Polytechnic, Ilaro, Nigeria	Stephen Oluwatosin KAZEEM	Federal Polytechnic Ilaro/NİGERİA
Global Collaboration Networks In Green Computing Research: A Review Of Organisation For Economic Co-Operation And Development (Oecd) Countries	Kamil Kaan ÖZDEMİR Assoc. Prof..Dr. Muhammet DAMAR	Muğla Sıtkı Koçman University
The Evolution Of Telemedicine Research In Turkey: A Comprehensive Content Analysis And Strategic Recommendations	Kamil Kaan ÖZDEMİR Melih TAKYACİ Assoc. Prof.Dr. Muhammet DAMAR	Muğla Sıtkı Koçman University/Dokuz Eylül University
The Impacts Of Global Climate Change On Environmental Health	Fatma TÜRKER	Niğde Ömer Halisdemir University
Biological Approaches In Water And Waste Management And Their Importance From An Environmental Health Perspective	Fatma TÜRKER	Niğde Ömer Halisdemir University
The Restructuring Of Public Relations In The Age Of Social Media: A Conceptual Analysis	Lect. F.Dilek DİKER	Gümüşhane University
Climate Risk Index And International Tourist Flows: A Panel Data Analysis Of High-Risk Destinations	Dr. Hilal ALTUN	MEB
Determinatıon The Impact Of Geopolitical Risks On Accommodation Expenditures In Faith Tourism Destinations: A Micro-Panel Data Analysis On Türkiye's Faith Corrıdors	Dr. Hilal ALTUN	MEB

23.07.2026 / Hall-6, Session-3

ANKARA LOCAL TIME	MEETING ID: 823 4034 6886
10 30 : 11 45	PASSCODE: 645341

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Koray KARABULUT

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Analysıs Of Heat Transfer And Pressure Drop In Mıcrochannel Heat Sınks Wıth Dıfferent Geometrıc Desıgns Usıng Mwcnt- Water Nanofluıd	Prof. Dr. Koray KARABULUT Assoc. Prof. Dr. Yeliz ALNAK	Sivas Cumhuriyet University
Investıgatıon Of The Thermal Performance Of Multı-Partıtıoned Mıcro-Channel Heat Sınks Usıng Graphene Oxıde- Water Nanofluıd	Assoc. Prof. Dr. Yeliz ALNAK Prof. Dr. Koray KARABULUT	Sivas Cumhuriyet University
Drought Analysis Using Chırps Precipitation Data: A Remote Sensing And Gıs-Based Approach	Meryem EDİS Asst. Prof. Dr. Murat BATAN	Batman University
Increasıng Lıne Efficıency Wıth Double-Sıded Assembly Lıne Balancıng Methods	Mustafa AKBULUT Assist. Prof. Dr. Berrin ATALAY Assoc. Prof. Dr. Oğuzhan Ahmet ARIK	Erciyes University
Development And Qualıty Characterıstıcs Of An Innovatıve Fermented Beverage: Mılk Kefır Enrıched Wıth Freeze-Drıed Şalgam Powder	Asst. Prof. Bilal AGIRMAN Ali Rıza SAK	Cukurova University

23.07.2026 / Hall-7, Session-3

ANKARA LOCAL TIME	MEETING ID: 823 4034 6886
10 30 : 12 00	PASSCODE: 645341

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Serkan GÜLDAL

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Surface Topography And Wear-Scar Profılometrıc Characterızatıon Of 3d-Prınted Pla+ And Petg Specımens At Varyıng Infill Ratıos	Kerim ANİK Güven SAYMAN Sinan FİDAN Mustafa Özgür BORA Satılmış ÜRGÜN Mehmet İskender ÖZSOY	Kocaeli University/Sakarya University
Investıgatıon Of Solıd Partıcle Erosıon Behavıor Of Fıber Laser Surface Textured Aa6061-T6 Alumınum Alloy	Özkan YILMAZ Cemile Nur ÖZDEMİR Mustafa Özgür BORA Sinan FİDAN Satılmış ÜRGÜN Mehmet İskender ÖZSOY	Kocaeli University/Sakarya University
Investıgatıon Of The Mechanıcal Properties Of Abs Plus Parts In Dıfferent Colors Produced By The 3d Prıntıng Method	Erhan ÇAYIR Assoc. Prof. Dr. Nergizhan ANAÇ Assoc. Prof. Dr. Oğuz KOÇAR	Bülent Ecevit University
Drıver Behavıor Classıfıcatıon And Scorıng System Usıng Real- Tıme Vehıcle Telemetry Data	Beyza SABANCI Assist. Prof. Dr. Merih YILDIZ	Dogus University
Elıcıt As An Aı-Assısted Research Tool: A Systematıc Revıew Of Its Performance, Applıcatıons, And Lımıtatıons	Assist. Prof. Dr. Serkan GÜLDAL	Adiyaman University
Cesium-Based Perovskite Structures: Synthesis Methods, Optoelectronic Properties, And Applications	Mehmet KANUR Assist. Prof. Dr. Serkan GÜLDAL	Adiyaman University

23.07.2026 / Hall-8, Session-3

ANKARA LOCAL TIME	MEETING ID: 823 4034 6886
10 30 : 12 30	PASSCODE: 645341

HEAD OF SESSION: Dr.Nodar Sulashvili

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
The Scientific Discussion Of Key Issue Features On Faith, Expectation, And The Healing Body: A Physiological Interpretation Of Recovery In Contexts Of Sacred Belief	Dr.Nodar Sulashvili , Archil Chirakadze , Lali Patsia , Marika Sulashvili , Tamar Okropiridze , David Aphkhazava	Tbilisi Humanitarian Teaching University/Tbilisi State University/The University of Georgia/GEORGIA
Religious Tourism İn The Blessed Valleys Of Amman And İts Surroundings (Jordan) And Tourism Investment Prospects	Mohammed Waheeb Eng. Mohammad Abu Zaytoun	Queen Rania Faculty of Archaeology Heritage, & Tourism/The Hashemite University
Contribution Of Treasury Single Account On Tranpirancy And Accountability In Tertiary Institution In Nigeria: A Study Of Federal University Of Education Zaria Kaduna State	Dr. Nuradeen Usman Dingyadi	Federal University/NİGERİA
Students' Performance And Lecturers' Engagement Techniques In Shehu Shagari University Of Education, Sokoto: Implications For Counselling	Bashiru Muhammad Liman, Abubakar Muhammad Liman	Shehu Shagari University
Challenges and Institutional–Structural Barriers to Individual Mastery in the Path of Iran's Political Economy Underdevelopment	Vorya Shabrandi 1 Dr. Sajjad Bahrami Moghadam	The Gap Between Individual Capability and Institutional Structure in IRAN
Beyond Language Proficiency: Investigating Synthesis as a Higher-Order Cognitive Competence in EFL Oral Presentations	Dr. Samia Moustaghfir Sakina El Khattabi	Ibn Tofail University-MOROCCO
The Problem Of Microplastics İn Environmental Medicine	Mariami Managadze	Tbilisi State Medical University/GEORGİA
The Scientific Perspectives On The Evolution Of Teaching And Learning Sciences In Global Higher Medical Education: A Comprehensive Analysis Of Competency-Based Education, Artificial Intelligence In Pedagogy, Immersive Learning Technologies, Clinical Decision-Making, Educational Leadership, And Sustainable Academic Transformation	Nodar Sulashvili , Ia Egnatievi , Manana Giorgobiani , Rusudan Kvanchakhadze , Magda Davitashvili , Lali Patsia , Marika Sulashvili , Giorgi Pkhakadze , Lela Grigolia , Kakhaber Robakidze , Tamar Okropiridze , David Aphkhazava	Tbilisi State University/University of Georgia/Sulkhan-Saba Orbeliani University/GEORGİA

23.07.2026 / Hall-9, Session-4

ANKARA LOCAL TIME	MEETING ID: 823 4034 6886
10 30 : 13 30	PASSCODE: 645341

HEAD OF SESSION: Dr. Safaa Rhaimi

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
In Assessment Of A-Glucosıdase Inhıbıtory Actıvıty Of A Medıcınal Plant Extract: An In Vıtro Study	Dr. Safaa Rhaimi	Ibn Tofail University
In Vıtro Evaluatıon Of A-Amylase Inhıbıtory Actıvıty Of A Medıcınal Plant Extract For Dıabetes Management	Dr. Safaa Rhaimi	Ibn Tofail University
Dıgıtal Health Lıteracy As A Tool For Strengthenıng Preventıve Health Behavıours Among Young Adults	Sodiq Adetunji Adekola , Suleiman Abeebat Abiola , Iwueke Obinna Adonischris	National Open University/NİGERİA
Productıon And Characterızatıon Of Carbon Nanotubes From Bıochar Under Mıcrowave Irradıatıon	Faisal Nazir	THE UNIVERSITY OF AGRICULTURE/PAKİSTAN
Influence Of Microwave Irradiation Treatment In The Enhancement Of Optical Properties Of Intrinsics Fe 2 O 3 Particles Based Geopolymers	Yassine Ballout , Yassine El Miz , Hanane El Harouachi , Amin El Azizi , Dounia Ahoudi , Mohammed Elgettafi , Rachid Hakkou , Mohamed Loutou	University Mohammed first/MOROCCO
Optımızatıon Of Antıbacterıal Essentıal Oıl Blends Usıng Neural Networks	Dr. Safaa Rhaimi ,Faima El hilah, Aicha Rossafi	Ibn Tofail University
Synergıstıc Antıoxıdant Potentıal Of Essentıal Oıl Blends: Predıctıve Modelıng And Optımızatıon	Dr. Safaa Rhaimi, Hassna leknizi	Ibn Tofail University
Industry 4.0 In Archıtecture: Leveragıng Prefabrıcatıon And Dıgıtal Constructıon For Efficıent Buıldıng Delıvery In Lagos Metropolıs, Nıgerıa	Moses Adeolu AGOI Samuel Olayiwola AJAGA Olajuwon Victor OLAYINKA Emmanuel Taiwo AGOI	Lagos State University/Loughborough University, UNİTED KİNGDOM./NİGERİA

23.07.2026 / Hall-10, Session-4

ANKARA LOCAL TIME	MEETING ID: 823 4034 6886
11 ^{00} : 13 ^{00}	PASSCODE: 645341

HEAD OF SESSION: Dr. Nacima DIAB

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
One-Pot Synthetic Protocols For Fused N-Heterocyclic Hybrid Derivatives	Tanzeela Riaz, Muqaddas Ashraf, Tanzeela, Matloob Ahmad	Government College University
Quality Assurance Mechanisms And Healthcare Delivery Outcomes İn Tertiary Health Institutions İn Nasarawa State Nigeria	Addra Noah Agbo	University of Port Harcourt
Modeling The Impact Of Vaccination And Treatment Strategies On Tuberculosis And Drug-Resistant Tuberculosis Transmission	Diala Leona C. , Abah Roseline T , ,Azuaba Emmanuel	University of Abuja
Comparatıve Analysıs On The Counsellıng Of Fırst And Fınal Year Students Of Shehu Shagarı Unıversıty Of Educatıon, Sokoto Undergraduate Students : Counsellıng Interventıons	Bashiru Muhammad Liman	Shehu Shagari University
Earthworm-Based Circular Bioeconomy: An Innovative Strategy for Sustainable Poultry Production and Food Security in Arid Ecosystems	Dr. Nacima DIAB Dr. Tesnim DEGHICHE	Mohamed Khider University/ALGERİA
Design and Development of a Hybrid Random Forest-LSTM Framework for Integrating Static and Dynamic Malware Features	Sabiratu Aliyu, Abdussalam Yau Gital , Badamasi Imam Ya'u	Abubakar Tafawa Balewa University/Islamic University Uganda/NİGERİA
The Effect of Computerized Accounting Systems on Financial Reporting Quality in Bauchi Metropolis: A Case Study of Bauchi State Internal Revenue Service	Murtala Mohammed Baba , Aminu Adamu Ahmed , Sadiq Mohammed Nadada , Ahmadi Abubakar Majidadi	Federal Polytechnic Kaltungo
A Mathematical Model for Typhoid Fever Transmission Incorporating Environmental Pathogen Dynamics and Treatment Interventions	Akoma Chinecherem Ukachi , Durojaye O. Mary , Ayinde Muhammed Abdullahi	University of Abuja

23.07.2026 / Hall-1, Session-5

ANKARA LOCAL TIME	MEETING ID: 823 4034 6886
11 ^{00} : 13 ^{00}	PASSCODE: 645341

HEAD OF SESSION: Prof.Colegiul German"Goethe''

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
From 'Inert'to Innovative: A Critical Review of Veterinary Excipients as Unregulated Environmental Pollutants and the Case for Sustainable Formulation Design	Sakineh Khanamani Falahatipour , Zahra Hallajian	University of Tehran/IRAN
Human-Centered Design of Smart Home Energy Management Interfaces for Low-Income Households	Mohammed Adamu Sule , Dauda Daniel , Usman Sa'id Ibrahim , Bubakari Joda 4, Aliyu Ibrahim Abbas, Abubakar Jibrin , Ahmed Aminu Adamu	Federal Polytechnic Kaltungo
Ecodentıstry Unplugged: Cuttıng Waste And Water For A Greener Practıce	Prof. Dr. Mehwash Kashif Dr. Anusha Ahmed Dr. Asma bint-e-Adil Dr. Syed Saqib Raza Dr. Yousuf Ali	Karachi Metropolitan University/Karachi Medical & Dental College,PAKİSTAN
Artificial Intelligence and the Criminogenic Factor – Challenges and Perspectives in Contemporary Criminology	Roxana Mihaela Moisoiu Prof.Colegiul German"Goethe"	U.S.P.E.E. „C. Stere" Chișinău, Moldova/ROMANİA
Mycobacterium spp. associated with Barbary macaque	BELLIL Dassine , GHAROUT-SAIT Alima , DJOUDI Ferhat , BELLIL Zahra , MENDIL Ouidad , MANSEUR Lyticia, DIB-SAIT Sabrina	Université de Bejaia/ALGERİA
The Role Of Telehealth And Remote Patıent Monıtorıng In Expandıng Healthcare Access In Nıgerıa: A Nursıng Informatıcs Perspectıve	Ene Odaudu	University of Abuja/NİGERİA
Applications Of Green's Theorem To Problems İn Mechanics And Elementary Fluid Dynamics	Gregory Fada Mandela , Akinwande Ife-Oluwa Ninuola , Akoma Chinecherem Ukachi Ayinde Muhammed Abdullahi	University of Abuja/Ahmadu Bello University
Therapeutıc Importance And Mechanısms Of Actıon Of Phytochemıcals From Cıtrullus Colocynthıs In Dıabetes Management	Tasawar Iqbal Sidra Altaf	University of Agriculture/PAKİSTAN
Nurturing Young Minds: Prioritizing Mental Health In Early Education	Ananda Majumdar	Harvard University

23.07.2026 / Hall-2, Session-5

ANKARA LOCAL TIME

11 ^{00} : 13 ^{00}

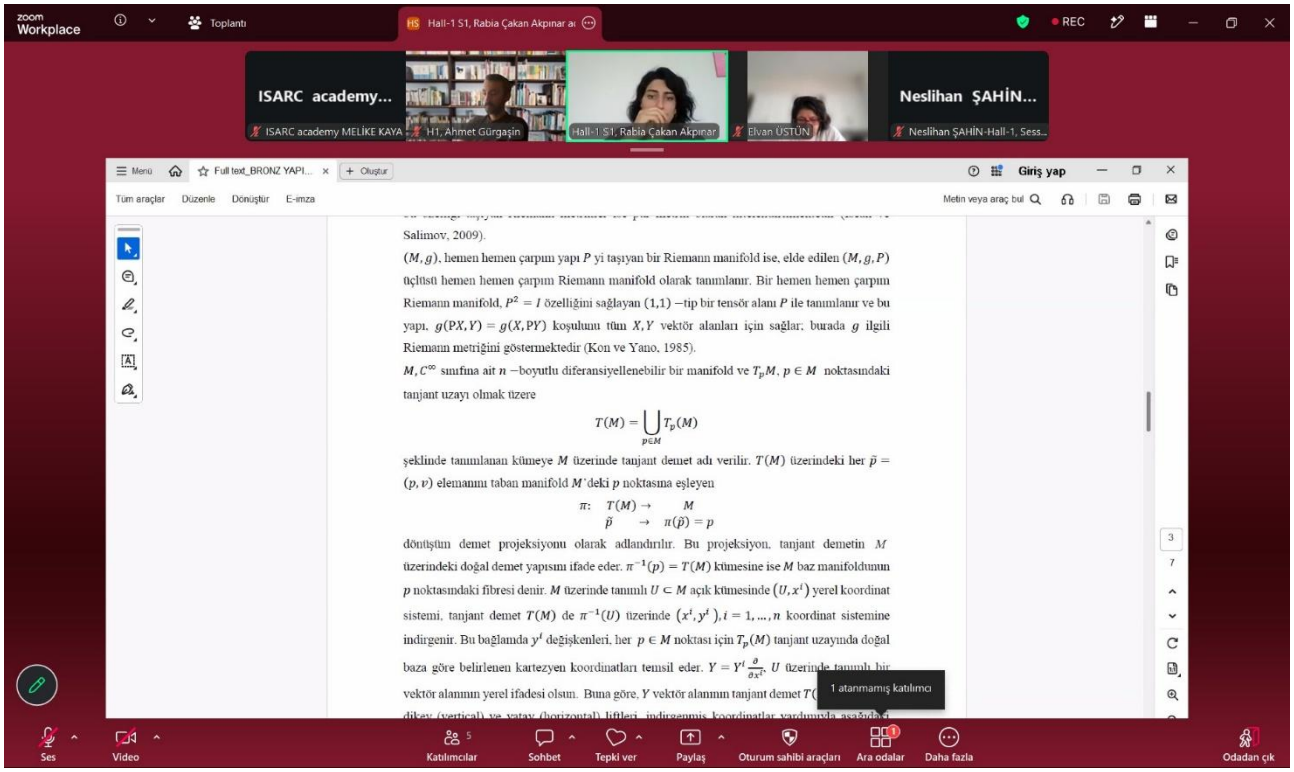
MEETING ID: 823 4034 6886

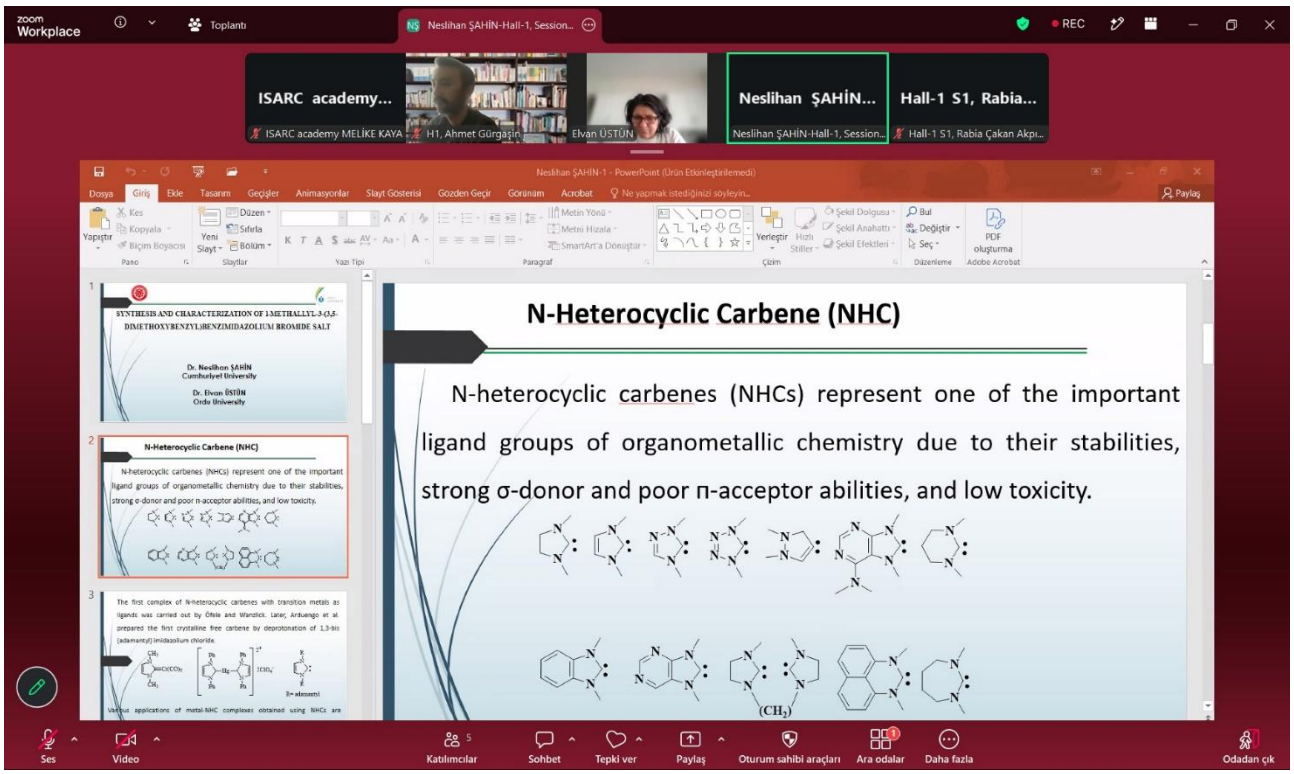
PASSCODE: 645341

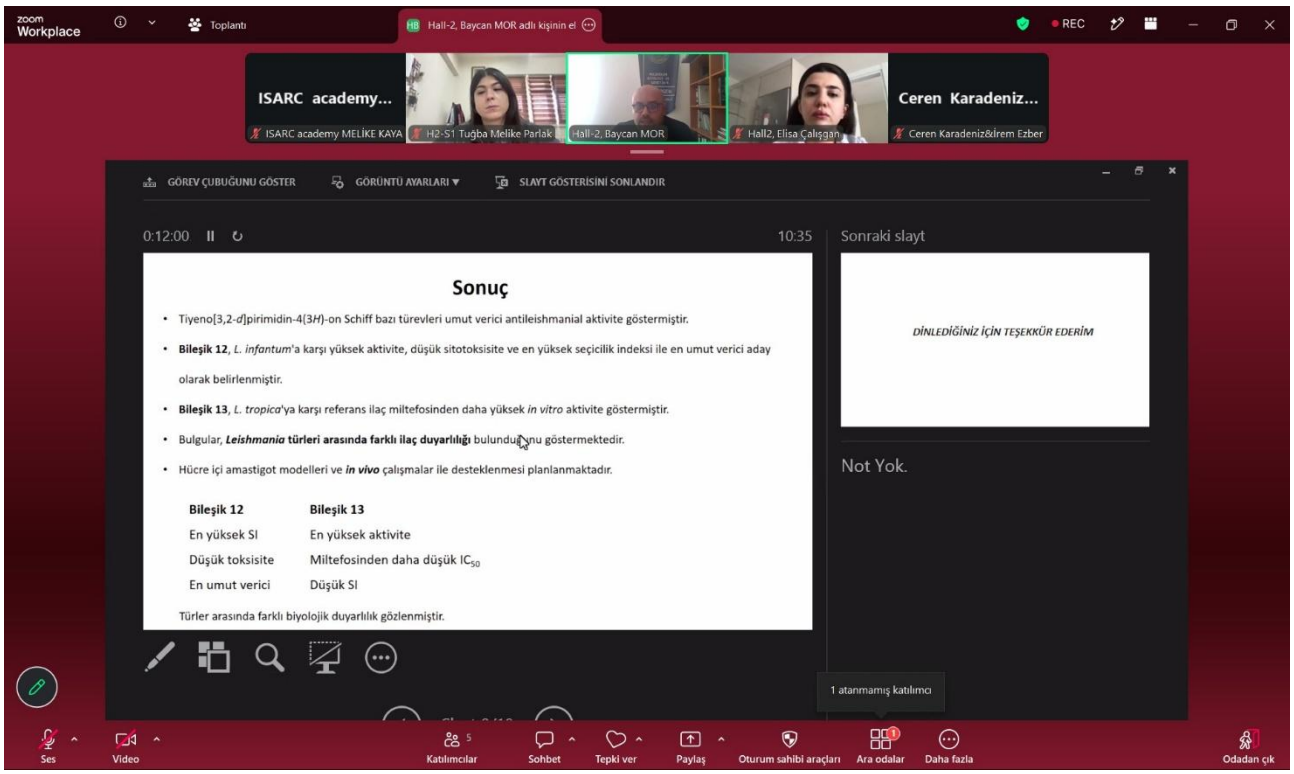
HEAD OF SESSION: Prof. Asoc. Marsida KRASNIQI

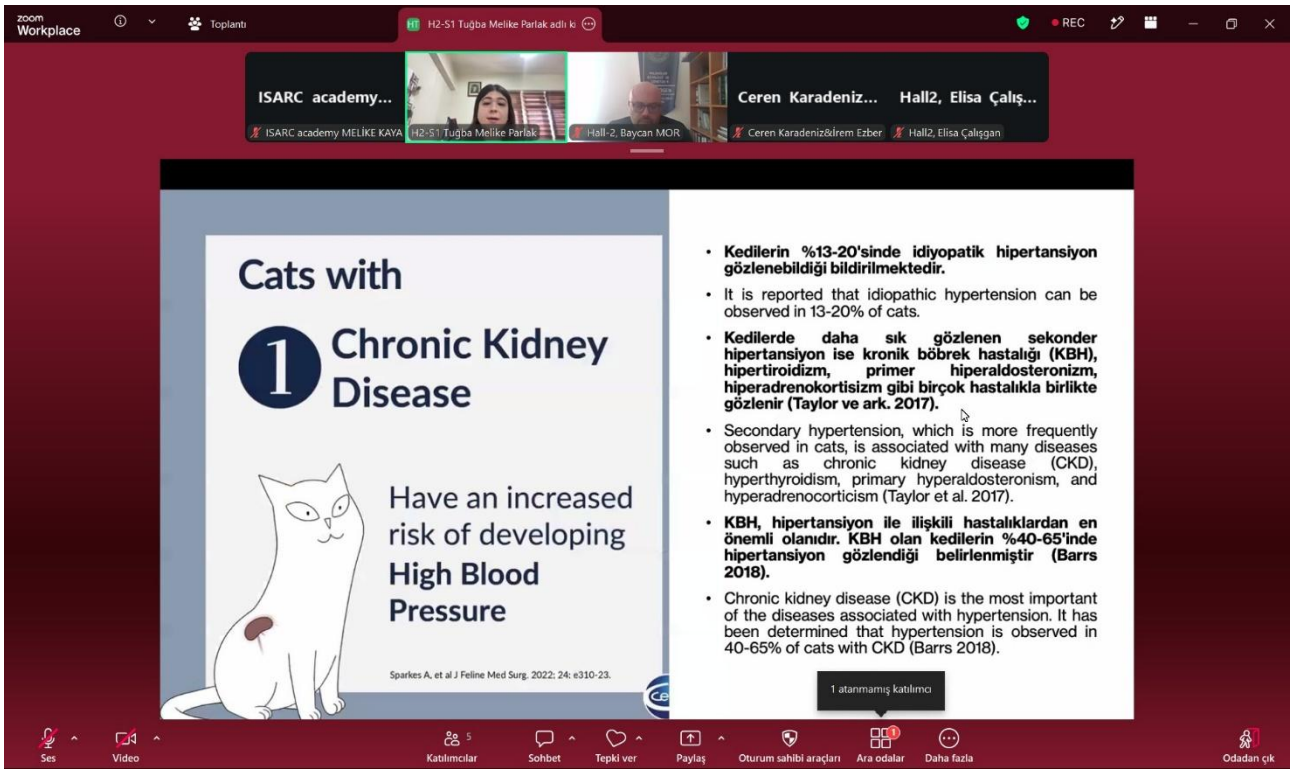
TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
First-Principles Study of the Effect of Boron Concentration on the Electronic Properties of $Tl_{1-x}B_xN$ Alloys Using the mBJ-GGA Approach	Abed zoulikha , Lachabi Abdelhadi , Laid Abdelali , Malki Faiza , Abid Hamza	Sidi Bel Abbes University/University of Boumerdes/ALGERİA
Management Of Metallıc Intraocular Foreıgn Body: A Case Report	Prof. Asoc. Marsida KRASNIQI MD Katerina Kasa	University Aleksander Moisiu Durres/University Trauma Hospital/ALBANİA
The Occurrence Of Rhodotorula Sp. In Natıonal Bıotechnology Research And Development Agency Premıses And Theır Bıotechnology Potentıals	Ideh, R.R. , Babalola, O.A. , Adetiloye, O.A. , Abdullahi, M. , Ezedozie, C.U. , Shuaibu, M.H. , Ojiego, B.O. , Ajulor, N.P. and Olukotun, G.B.	National Biotechnology Research and Development Agency/NİGERİA
Moroccan Medicinal and Aromatic Plants as Functional Foods: Nutritional Value and Health Benefits - A Systematic Review	Fatima El hilah , Nadia Belahbib , Jamila Dahmani , Lala Aicha Lrhorfi , Lahcen Zidane	Ibn Tofail University
Valorızatıon Of Agrıcultural Waste In Sustaınable Bıocomposıtes: Enhancıng Mechanıcal Propertıes Wıth Natural Fıber Reınforcements	OUMAIMA. EL MTIOUY , HAMID.ESSABIR	Ibn Zohr University
Automated Detection of Cancerous Cells in Microscopic Imagery Using Deep Learning Architectures	Chioma Juliet Olugh Solomon Onen Abam David Oloruntoba Aransiola	Federal College of Education/Lagos State University/NİGERİA
Zakat-Driven Venture Philanthropy: A Blended Finance Model for Islamic Social Entrepreneurship	Zahiduzzaman Zahid , Md. Shahed Alamm , Md. Mozammel Hoque	----------
Hankel Determinant for Certain Subclasses of Analytic Functions Associated with Kidney-Shaped Domain	HAQ MEEN	Kohat University of Science & Technology

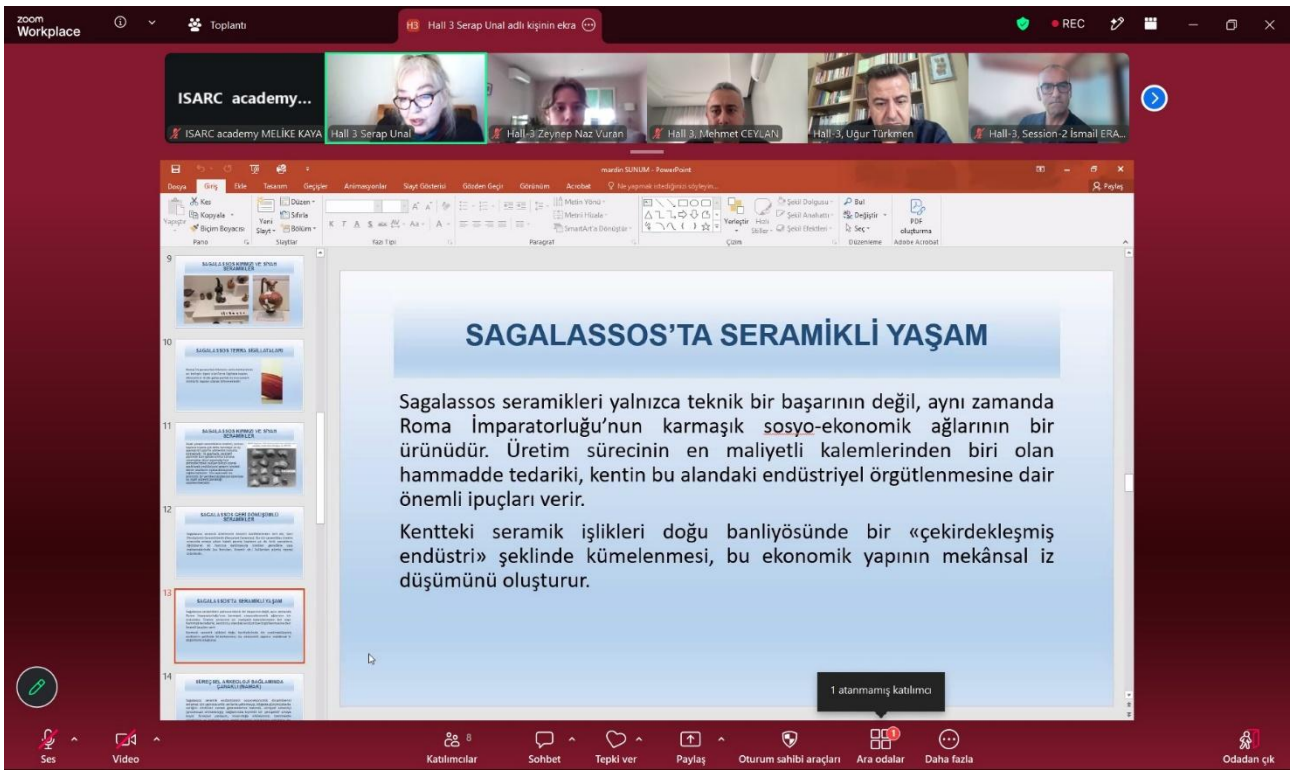
PHOTO GALLERY

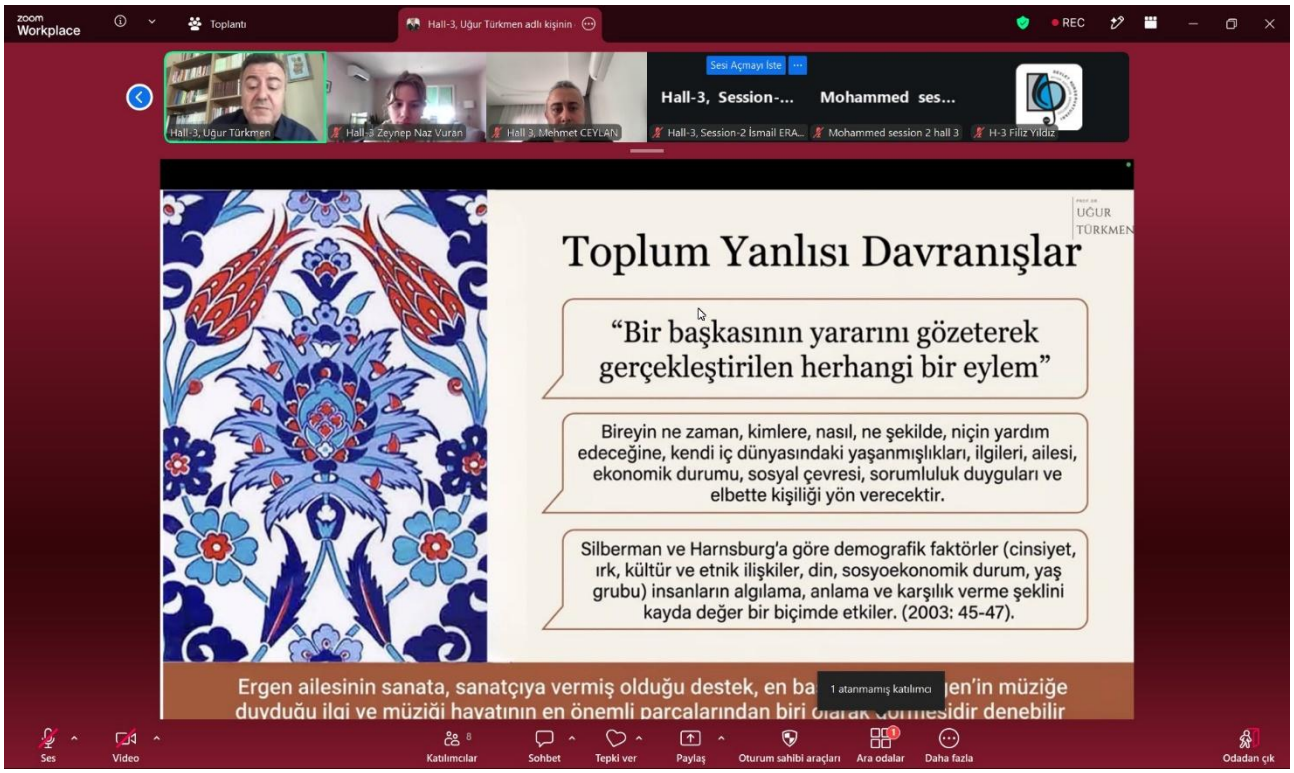


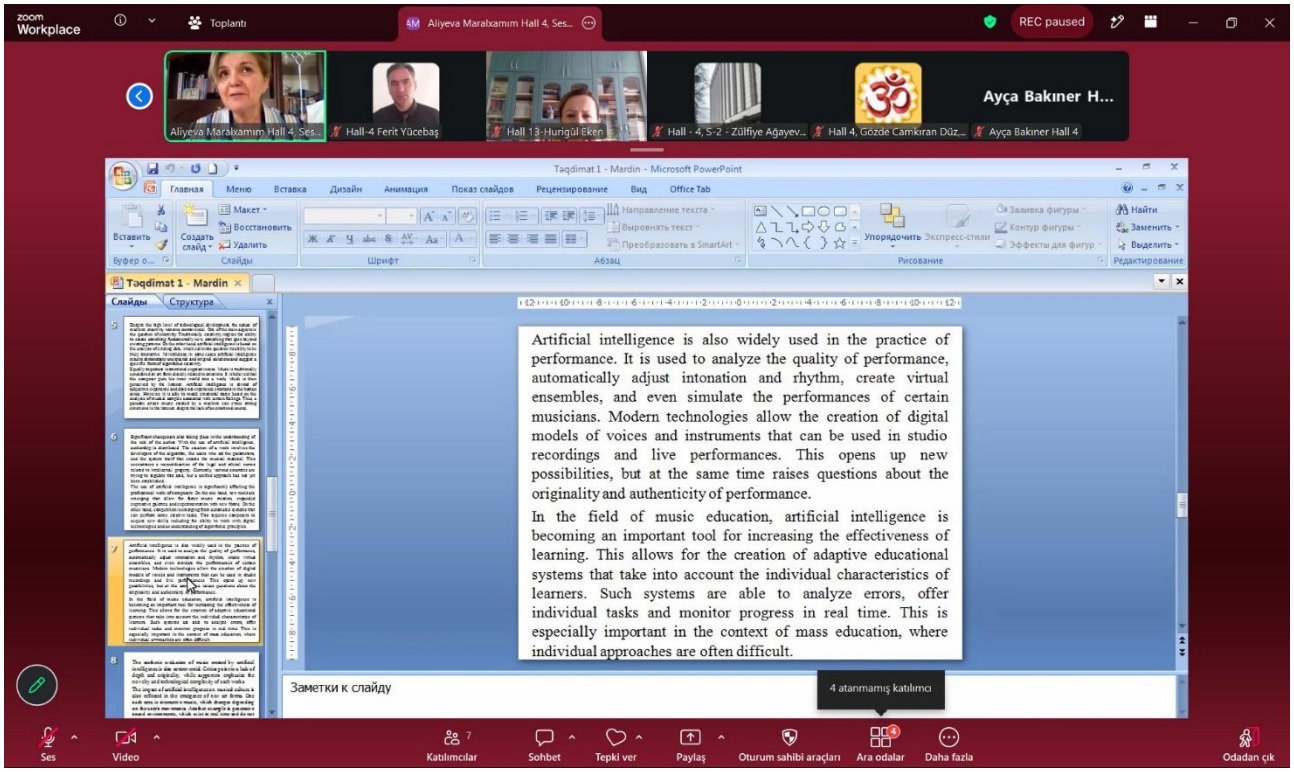


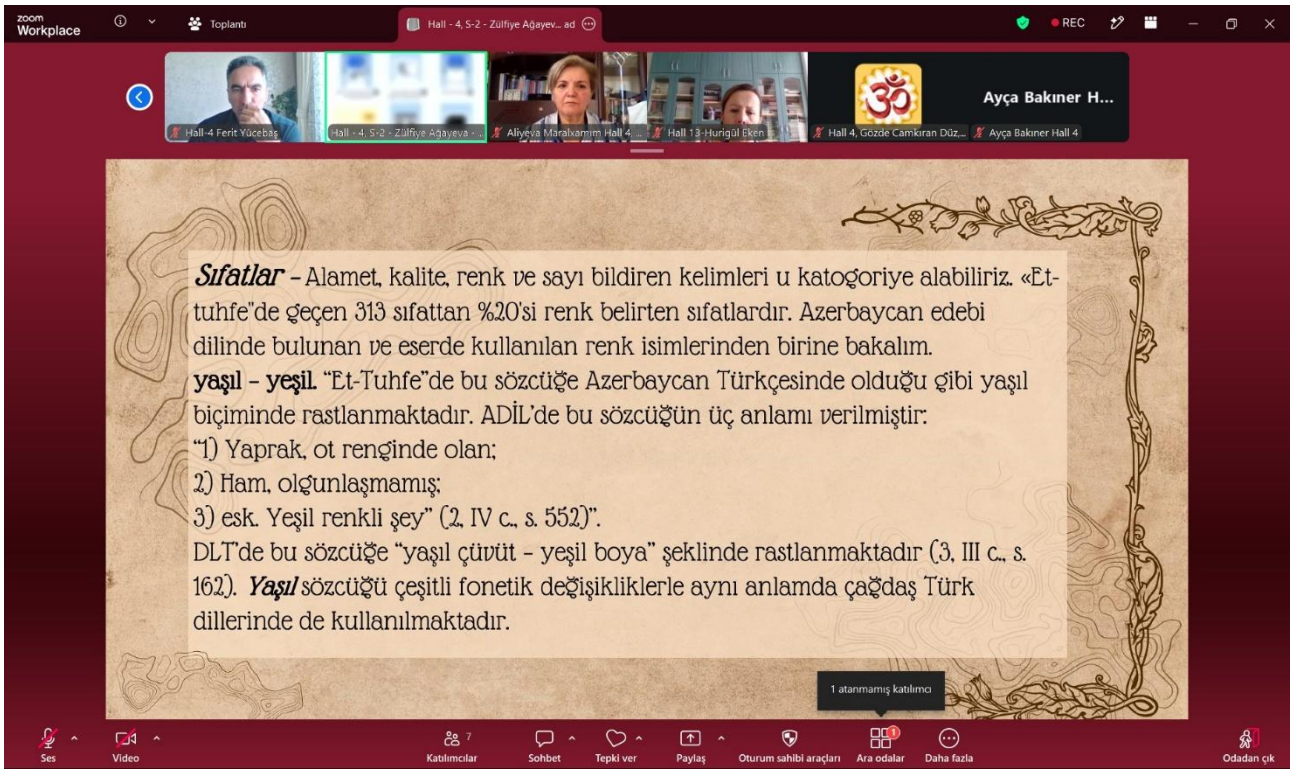

zoom Workplace
Toplantı
Hall-2, Baycan MOR adlı kişinin el
REC
ISARC academy...
Ceren Karadeniz...
ISARC academy MELİKE KAYA
H2-S1 Tuğba Melike Parlak
Hall-2, Baycan MOR
Hall2, Elisa Çalışgan
Ceren Karadeniz&İrem Ezber
GÖREV ÇUBUĞUNU GÖSTER
GÖRÜNTÜ AYARLARI
SLAYT GÖSTERİSİNİ SONLANDIR
0:12:00
10:35
Sonraki slayt
Sonuç
Tiyeno[3,2-d]pirimidin-4(3H)-on Schiff bazı türevleri umut verici antileishmanial aktivite göstermiştir.
Bileşik 12, L. infantum'a karşı yüksek aktivite, düşük sitotoksisite ve en yüksek seçicilik indeksi ile en umut verici aday olarak belirlenmiştir.
Bileşik 13, L. tropica'ya karşı referans ilaç miltefosinden daha yüksek in vitro aktivite göstermiştir.
Bulgular, Leishmania türleri arasında farklı ilaç duyarlılığı bulunduğunu göstermektedir.
Hücre içi amastigot modelleri ve in vivo çalışmalar ile desteklenmesi planlanmaktadır.
Bileşik 12
Bileşik 13
En yüksek SI
En yüksek aktivite
Düşük toksisite
Miltefosinden daha düşük IC50
En umut verici
Düşük SI
Türler arasında farklı biyolojik duyarlılık gözlenmiştir.
DİNLEDİĞİNİZ İÇİN TEŞEKKÜR EDERİM
Not Yok.
1 atanmamış katılımcı
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık


zoom Workplace
Toplantı
H2-S1 Tuğba Melike Parlak adlı ki
REC
ISARC academy...
Ceren Karadeniz...
Hall2, Elisa Çalış...
ISARC academy MELİKE KAYA
H2-S1 Tuğba Melike Parlak
Hall-2, Baycan MOR
Ceren Karadeniz&İrem Ezber
Hall2, Elisa Çalışgan
Cats with
1 Chronic Kidney Disease
Have an increased risk of developing High Blood Pressure
Sparkes A, et al J Feline Med Surg. 2022; 24: e310-23.
Kedilerin %13-20'sinde idiyopatik hipertansiyon gözlenebildiği bildirilmektedir.
It is reported that idiopathic hypertension can be observed in 13-20% of cats.
Kedilerde daha sık gözlenen sekonder hipertansiyon ise kronik böbrek hastalığı (KBH), hipertiroidizm, primer hiperaldosteronizm, hiperadrenokortisizm gibi birçok hastalıkla birlikte gözlenir (Taylor ve ark. 2017).
Secondary hypertension, which is more frequently observed in cats, is associated with many diseases such as chronic kidney disease (CKD), hyperthyroidism, primary hyperaldosteronism, and hyperadrenocorticism (Taylor et al. 2017).
KBH, hipertansiyon ile ilişkili hastalıklardan en önemli olanıdır. KBH olan kedilerin %40-65'inde hipertansiyon gözlendiği belirlenmiştir (Barrs 2018).
Chronic kidney disease (CKD) is the most important of the diseases associated with hypertension. It has been determined that hypertension is observed in 40-65% of cats with CKD (Barrs 2018).
1 atanmamış katılımcı
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık

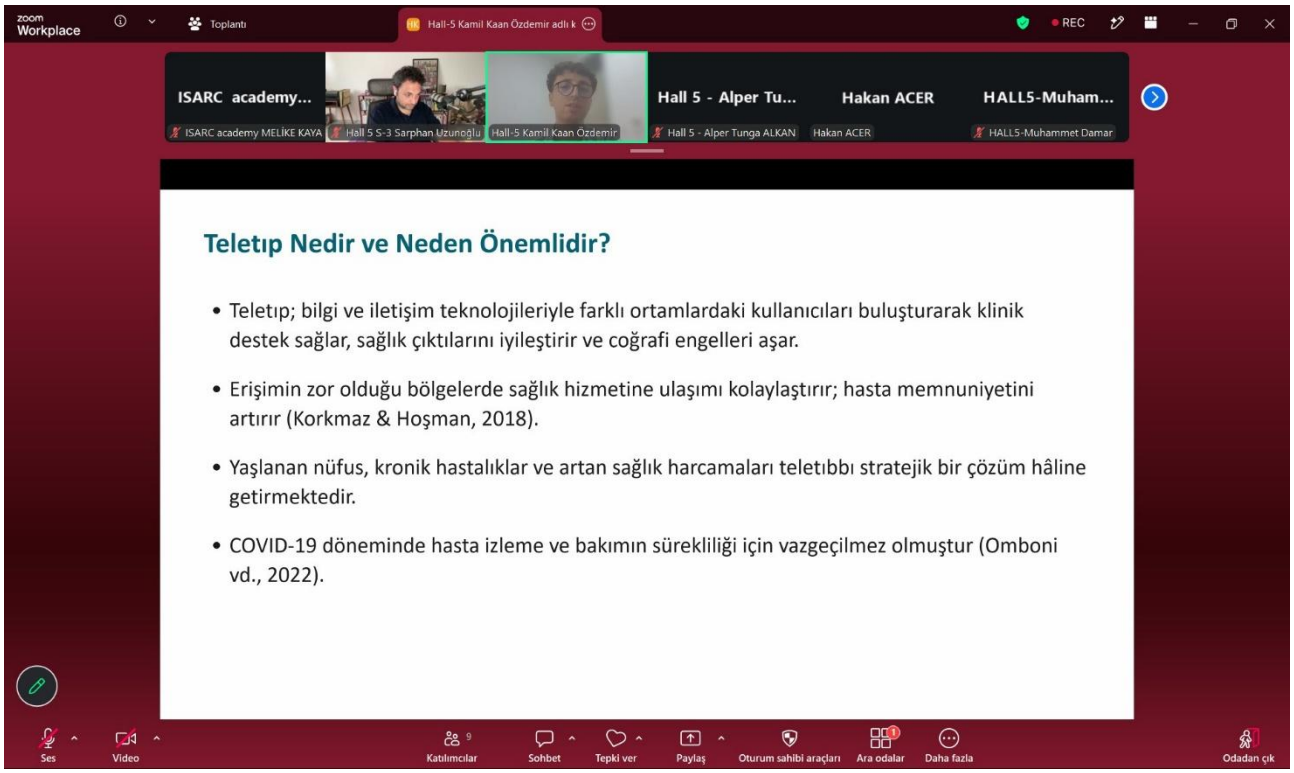

Toplantı
Hall 3 Serap Unal adlı kişinin ekra
REC
ISARC academy...
ISARC academy MELİKE KAYA
Hall 3 Serap Unal
Hall-3 Zeynep Naz Vuran
Hall 3, Mehmet CEYLAN
Hall-3, Uğur Türkmen
Hall-3, Session-2 İsmail ERA...
SAGALASSOS'TA SERAMİKLİ YAŞAM
Sagalassos seramikleri yalnızca teknik bir başarının değil, aynı zamanda Roma İmparatorluğu'nun karmaşık sosyo-ekonomik ağlarının bir ürünüdür. Üretim sürecinin en maliyetli kalemlerinden biri olan hammadde tedariki, kentin bu alandaki endüstriyel örgütlenmesine dair önemli ipuçları verir.
Kentteki seramik işlikleri doğu banliyösünde bir «çekirdekleşmiş endüstri» şeklinde kümelenmesi, bu ekonomik yapının mekânsal iz düşümünü oluşturur.
1 atanmamış katılımcı
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık

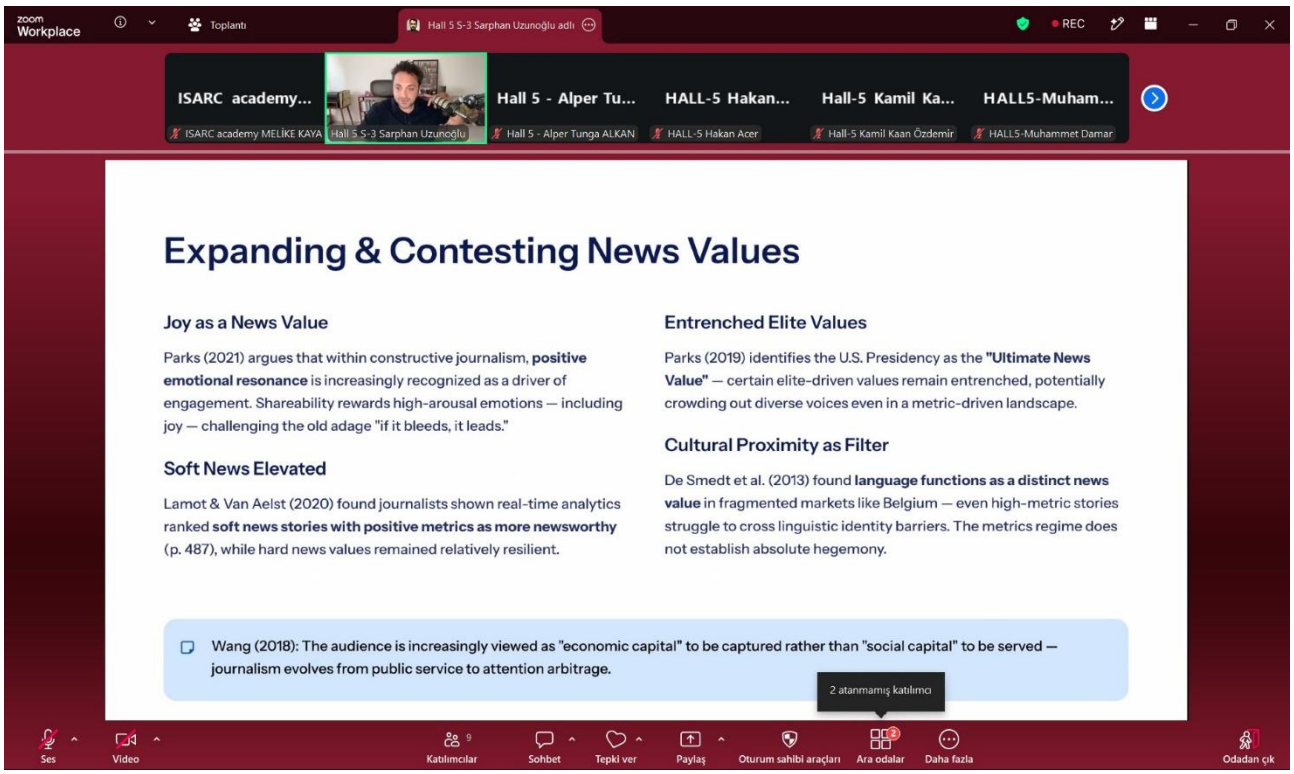

Toplantı
Hall-3, Uğur Türkmen adlı kişinin
REC
Ses Açmayı İste
Hall-3, Session-...
Mohammed ses...
Hall-3, Uğur Türkmen
Hall-3 Zeynep Naz Vuran
Hall 3, Mehmet CEYLAN
Hall-3, Session-2 İsmail ERA...
Mohammed session 2 hall 3
H-3 Filiz Yıldız
UĞUR TÜRKMEN
Toplum Yanlısı Davranışlar
"Bir başkasının yararını gözeterek gerçekleştirilen herhangi bir eylem"
Bireyin ne zaman, kimlere, nasıl, ne şekilde, niçin yardım edeceğine, kendi iç dünyasındaki yaşanmışlıkları, ilgileri, ailesi, ekonomik durumu, sosyal çevresi, sorumluluk duyguları ve elbette kişiliği yön verecektir.
Silberman ve Harnsburg'a göre demografik faktörler (cinsiyet, ırk, kültür ve etnik ilişkiler, din, sosyoekonomik durum, yaş grubu) insanların algılama, anlama ve karşılık verme şeklini kayda değer bir biçimde etkiler. (2003: 45-47).
Ergen ailesinin sanata, sanatçıya vermiş olduğu destek, en ba
en'in müziğe duyduğu ilgi ve müziği hayatının en önemli parçalarından biri olarak görmesidir denebilir
1 atanmamış katılımcı
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık

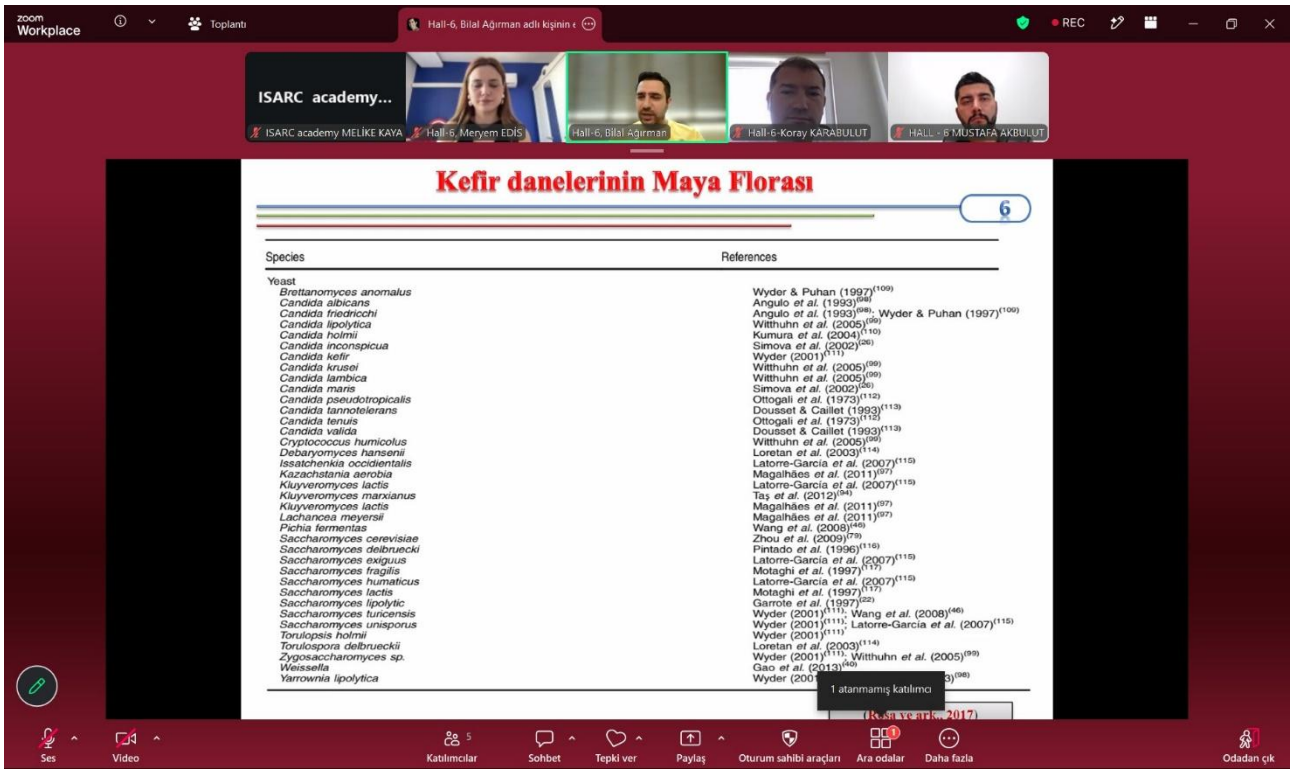

zoom Workplace
Toplantı
Aliyeva Maralxanım Hall 4, Ses...
REC paused
Ayça Bakıner H...
Hall-4 Ferit Yücebaş
Hall 13-Hurigül Eken
Hall - 4, S-2 - Zülfiye Ağayev...
Hall 4, Gözde Camkıran Düz...
Ayça Bakıner Hall 4
Taqdimat 1 - Mardin - Microsoft PowerPoint
Taqdimat 1 - Mardin
Artificial intelligence is also widely used in the practice of performance. It is used to analyze the quality of performance, automatically adjust intonation and rhythm, create virtual ensembles, and even simulate the performances of certain musicians. Modern technologies allow the creation of digital models of voices and instruments that can be used in studio recordings and live performances. This opens up new possibilities, but at the same time raises questions about the originality and authenticity of performance.
In the field of music education, artificial intelligence is becoming an important tool for increasing the effectiveness of learning. This allows for the creation of adaptive educational systems that take into account the individual characteristics of learners. Such systems are able to analyze errors, offer individual tasks and monitor progress in real time. This is especially important in the context of mass education, where individual approaches are often difficult.
Заметки к слайду
4 atanmamış katılımcı
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık


zoom Workplace
Toplantı
Hall - 4, S-2 - Zülfiye Ağayev... ad
REC
Ayça Bakıner H...
Hall-4 Ferit Yücebaş
Aliyeva Maralxanım Hall 4 ...
Hall 13-Hurigül Eken
Hall 4, Gözde Camkıran Düz...
Ayça Bakıner Hall 4
Sıfatlar – Alamet, kalite, renk ve sayı bildiren kelimleri u katogoriye alabiliriz. «Et-tuhfe"de geçen 313 sıfattan %20'si renk belirten sıfatlardır. Azerbaycan edebi dilinde bulunan ve eserde kullanılan renk isimlerinden birine bakalım.
yaşıl – yeşil. "Et-Tuhfe"de bu sözcüğe Azerbaycan Türkçesinde olduğu gibi yaşıl biçiminde rastlanmaktadır. ADİL'de bu sözcüğün üç anlamı verilmiştir:
"1) Yaprak, ot renginde olan;
2) Ham, olgunlaşmamış;
3) esk. Yeşil renkli şey" (2, IV c., s. 552)".
DLT'de bu sözcüğe "yaşıl çüvüt – yeşil boya" şeklinde rastlanmaktadır (3, III c., s. 162). Yaşıl sözcüğü çeşitli fonetik değişikliklerle aynı anlamda çağdaş Türk dillerinde de kullanılmaktadır.
1 atanmamış katılımcı
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık

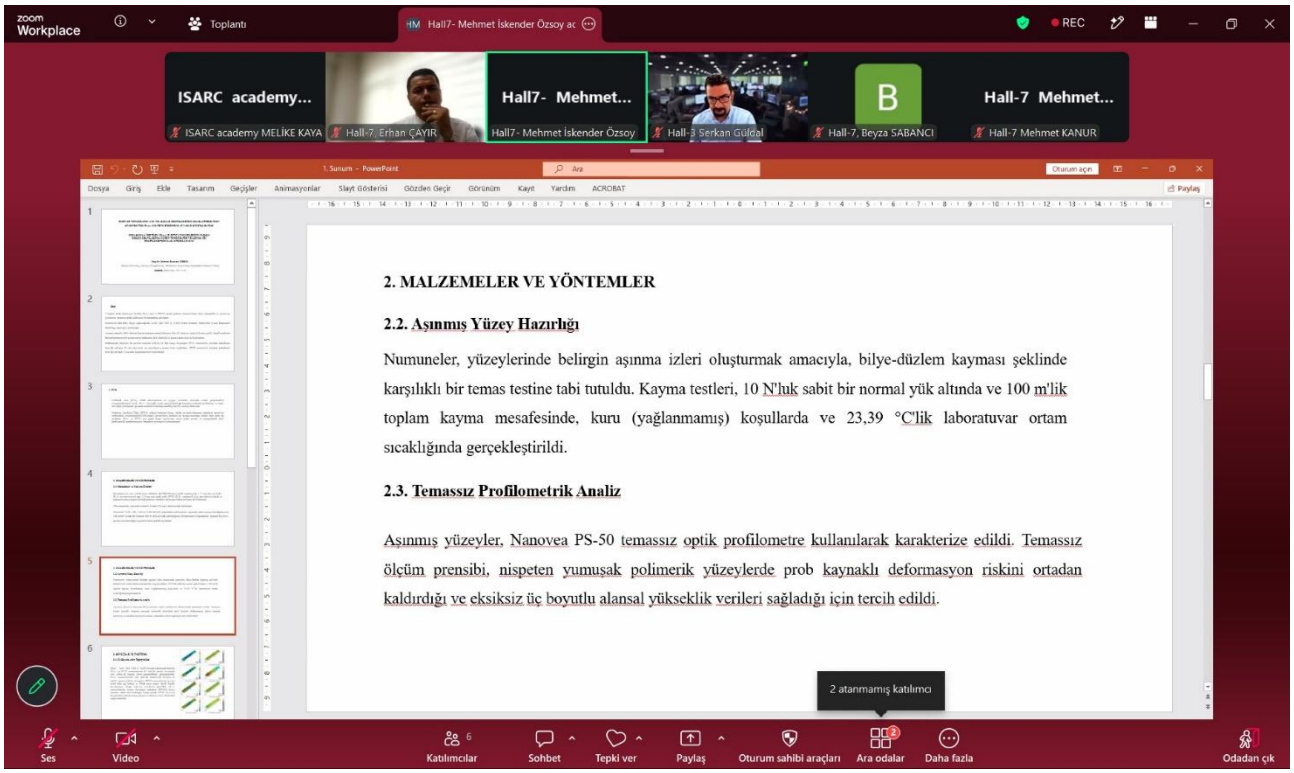

Toplantı
Hall-4 Ferit Yücebaş adlı kişinin el
REC
ISARC academy...
ISARC academy MELİKE KAYA
Hall-4 Ferit Yücebaş
Aliyeva Maralxanım Hall-4...
Hall 13-Hurigül Eken
Hall - 4, S-2 - Zülfiye Ağayev...
1940-1944 Yılları Arasında Tek Parti Yönetiminde Dinî ve Siyasi Propaganda
Religious and Political Propaganda Under One-Party Rule Between 1940-1944
Araştırmanın Tarihsel Arka Planı
• II. Dünya Savaşı'nın oluşturduğu olağanüstü şartlar
• İç güvenlik ve kamu düzeninin öncelik kazanması
• Dinî, siyasî ve ideolojik propaganda faaliyetlerinin yakından izlenmesi
• CHP Genel Sekreterliği koordinasyonunda kapsamlı denetim mekanizması
Historical Background of the Research
• II. Extraordinary condition created by World War II
• Priority of internal security public order
• Close monitoring of religio political and ideological propaganda activities
• Comprehensive control mechanism under the coordination of the CHP Ge
1 atanmamış katılımcı
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık


Toplantı
Hall-5 Kamil Kaan Özdemir adlı k
REC
ISARC academy...
ISARC academy MELİKE KAYA
Hall 5 S-3 Sarphan Uzunoğlu
Hall-5 Kamil Kaan Özdemir
Hall 5 - Alper Tu...
Hall 5 - Alper Tunga ALKAN
Hakan ACER
Hakan ACER
HALL5-Muham...
HALL5-Muhammet Damar
Teletıp Nedir ve Neden Önemlidir?
• Teletıp; bilgi ve iletişim teknolojileriyle farklı ortamlardaki kullanıcıları buluşturarak klinik destek sağlar, sağlık çıktılarını iyileştirir ve coğrafi engelleri aşar.
• Erişimin zor olduğu bölgelerde sağlık hizmetine ulaşımı kolaylaştırır; hasta memnuniyetini artırır (Korkmaz & Hoşman, 2018).
• Yaşlanan nüfus, kronik hastalıklar ve artan sağlık harcamaları teletıbbı stratejik bir çözüm hâline getirmektedir.
• COVID-19 döneminde hasta izleme ve bakımın sürekliliği için vazgeçilmez olmuştur (Omboni vd., 2022).
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık

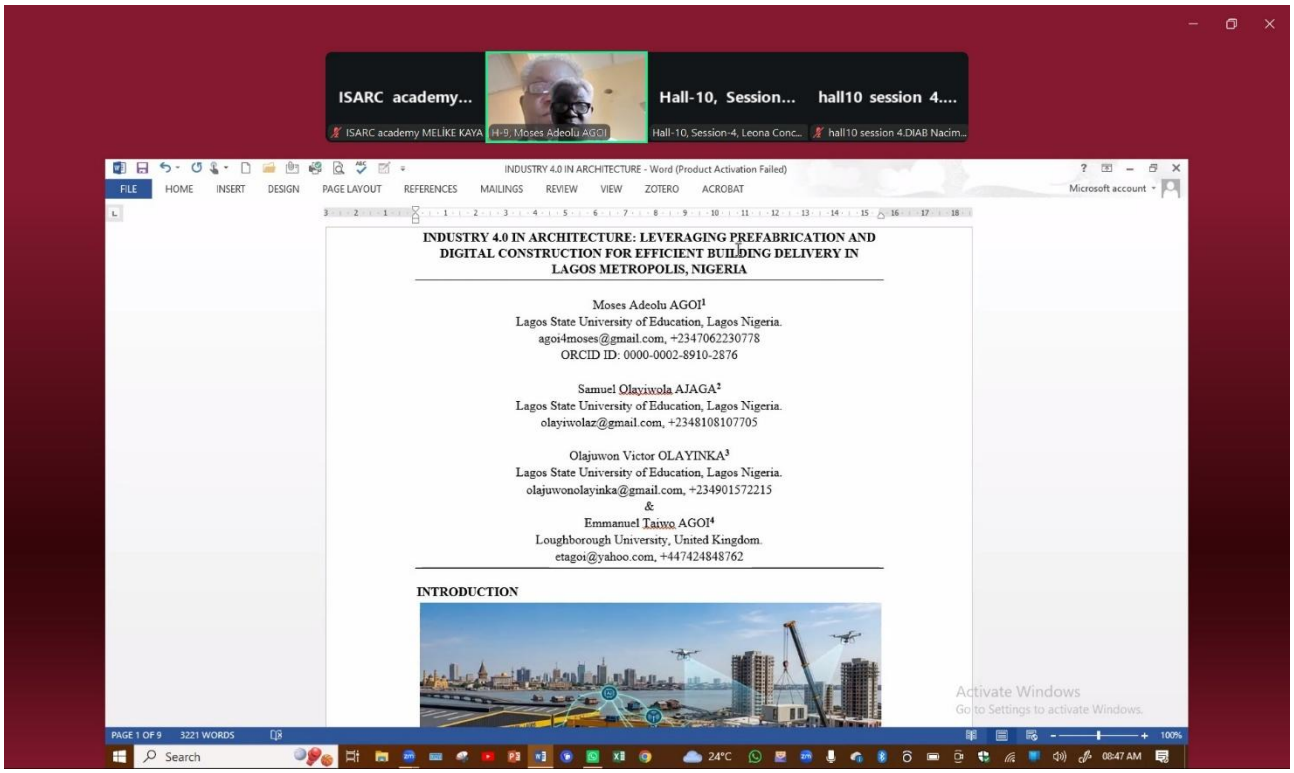

Hall 5 S-3 Sarphan Uzunoğlu adlı
ISARC academy...
Hall 5 - Alper Tu...
HALL-5 Hakan...
Hall-5 Kamil Ka...
HALL5-Muham...
ISARC academy MELİKE KAYA
Hall 5 S-3 Sarphan Uzunoğlu
Hall 5 - Alper Tunga ALKAN
HALL-5 Hakan Acer
Hall-5 Kamil Kaan Özdemir
HALL5-Muhammet Damar
Expanding & Contesting News Values
Joy as a News Value
Parks (2021) argues that within constructive journalism, positive emotional resonance is increasingly recognized as a driver of engagement. Shareability rewards high-arousal emotions — including joy — challenging the old adage "if it bleeds, it leads."
Soft News Elevated
Lamot & Van Aelst (2020) found journalists shown real-time analytics ranked soft news stories with positive metrics as more newsworthy (p. 487), while hard news values remained relatively resilient.
Entrenched Elite Values
Parks (2019) identifies the U.S. Presidency as the "Ultimate News Value" — certain elite-driven values remain entrenched, potentially crowding out diverse voices even in a metric-driven landscape.
Cultural Proximity as Filter
De Smedt et al. (2013) found language functions as a distinct news value in fragmented markets like Belgium — even high-metric stories struggle to cross linguistic identity barriers. The metrics regime does not establish absolute hegemony.
Wang (2018): The audience is increasingly viewed as "economic capital" to be captured rather than "social capital" to be served — journalism evolves from public service to attention arbitrage.
2 atanmamış katılımcı
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık

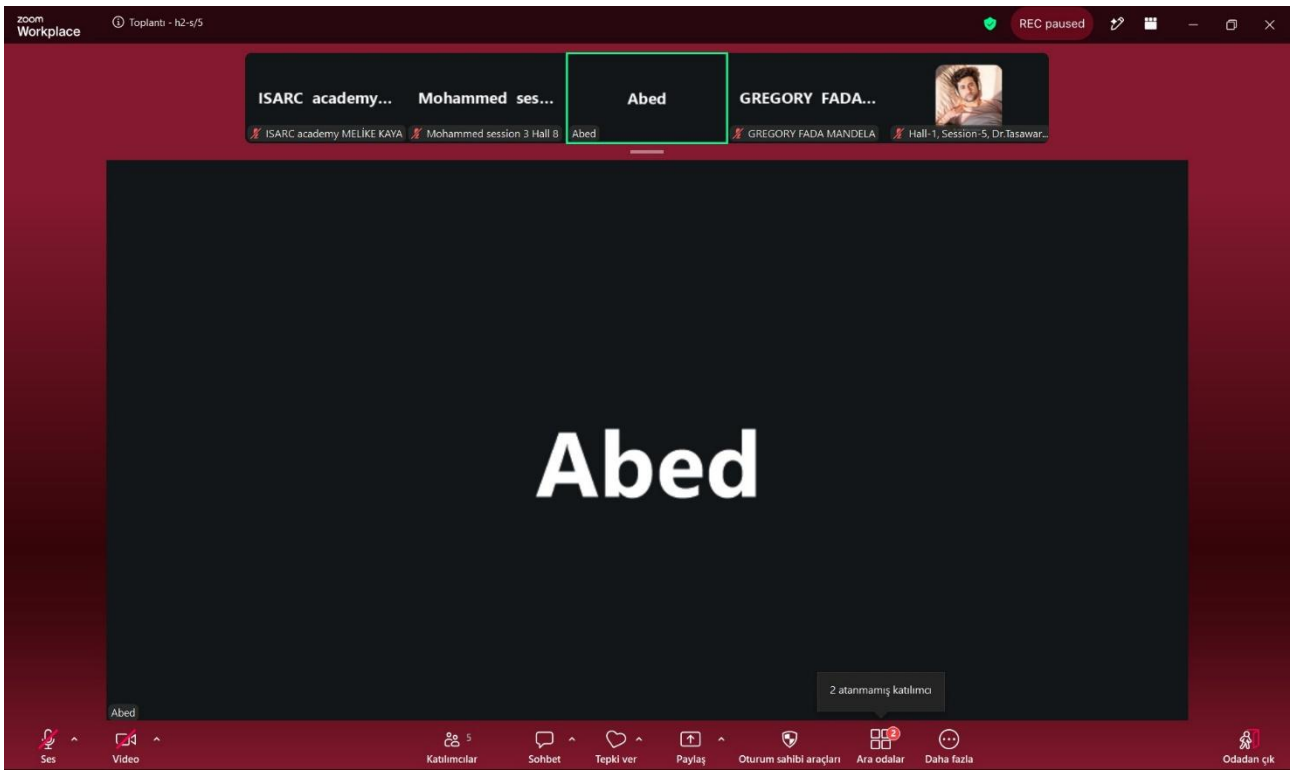

Hall-6, Bilal Ağırman adlı kişinin
ISARC academy...
ISARC academy MELİKE KAYA
Hall-6, Meryem EDİS
Hall-6, Bilal Ağırman
Hall-6-Koray KARABULUT
HALL - 6 MUSTAFA AKBULUT
Kefir danelerinin Maya Florası
6
Species
References
Yeast
Brettanomyces anomalus
Candida albicans
Candida friedrichii
Candida lipolytica
Candida holmii
Candida inconspicua
Candida kefir
Candida krusei
Candida lambica
Candida maris
Candida pseudotropicalis
Candida tannotolerans
Candida tenuis
Candida valida
Cryptococcus humicolus
Debaryomyces hansenii
Issatchenkia occidentalis
Kazachstania aerobia
Kluyveromyces lactis
Kluyveromyces marxianus
Kluyveromyces lactis
Lachancea meyersii
Pichia fermentas
Saccharomyces cerevisiae
Saccharomyces delbrueckii
Saccharomyces exiguus
Saccharomyces fragilis
Saccharomyces humaticus
Saccharomyces lactis
Saccharomyces lipolytic
Saccharomyces turicensis
Saccharomyces unisporus
Torulopsis holmii
Torulospora delbrueckii
Zygosaccharomyces sp.
Weissella
Yarrownia lipolytica
Wyder & Puhan (1997)[109]
Angulo et al. (1993)[98]; Wyder & Puhan (1997)[109]
Witthuhn et al. (2005)[99]
Kumura et al. (2004)[110]
Simova et al. (2002)[26]
Wyder (2001)[111]
Witthuhn et al. (2005)[99]
Witthuhn et al. (2005)[99]
Simova et al. (2002)[26]
Ottogali et al. (1973)[112]
Dousset & Caillet (1993)[113]
Ottogali et al. (1973)[112]
Dousset & Caillet (1993)[113]
Witthuhn et al. (2005)[99]
Loretan et al. (2003)[114]
Latorre-García et al. (2007)[115]
Magalhães et al. (2011)[97]
Latorre-García et al. (2007)[115]
Taş et al. (2012)[94]
Magalhães et al. (2011)[97]
Magalhães et al. (2011)[97]
Wang et al. (2008)[46]
Zhou et al. (2009)[79]
Pintado et al. (1996)[116]
Latorre-García et al. (2007)[115]
Motaghi et al. (1997)[117]
Latorre-García et al. (2007)[115]
Motaghi et al. (1997)[117]
Garrote et al. (1997)[22]
Wyder (2001)[111]; Wang et al. (2008)[46]
Wyder (2001)[111]; Latorre-García et al. (2007)[115]
Wyder (2001)[111]
Loretan et al. (2003)[114]
Wyder (2001)[111]; Witthuhn et al. (2005)[99]
Gao et al. (2013)[40]
Wyder (200
1 atanmamış katılımcı
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık

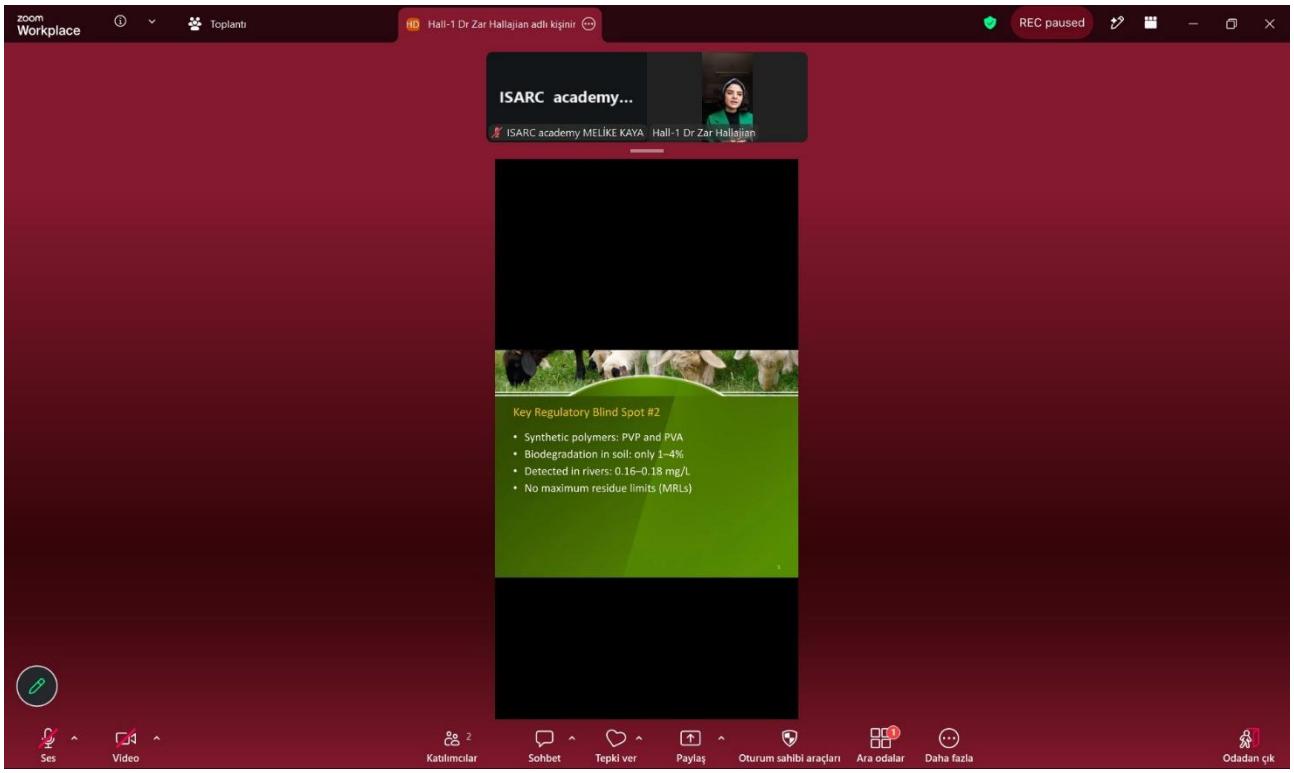

zoom Workplace
Toplantı
Hall-6-Koray KARABULUT adlı kiş
REC
ISARC academy...
ISARC academy MELİKE KAYA
Hall-6, Meryem EDİS
Hall-6-Koray KARABULUT
Hall-6, Bilal Ağırman
HALL - 6 MUST...
HALL - 6 MUSTAFA AKBULUT
1. Giriş
Bununla birlikte, dezavantajları arasında;
-büyük basınç düşüşleri,
-yüksek üretim maliyeti,
-kir tıkanması ve
-özellikle çift fazlı akışlar için (gaz-sıvı gibi) akış dağılımındaki bozukluk yer almaktadır.
Ancak, gelişmiş ısı transferi hızları nedeniyle mikro kanallar özellikle;
-otomotiv, havacılık, yakıt hücresi ve yüksek akışlı elektronik soğutma uygulamalarında kompakt ısı eşanjörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.
Bu sayede, elemanların sıcaklıkları güvenli seviye
lmektedir.
2 atanmamış katılımcı
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık

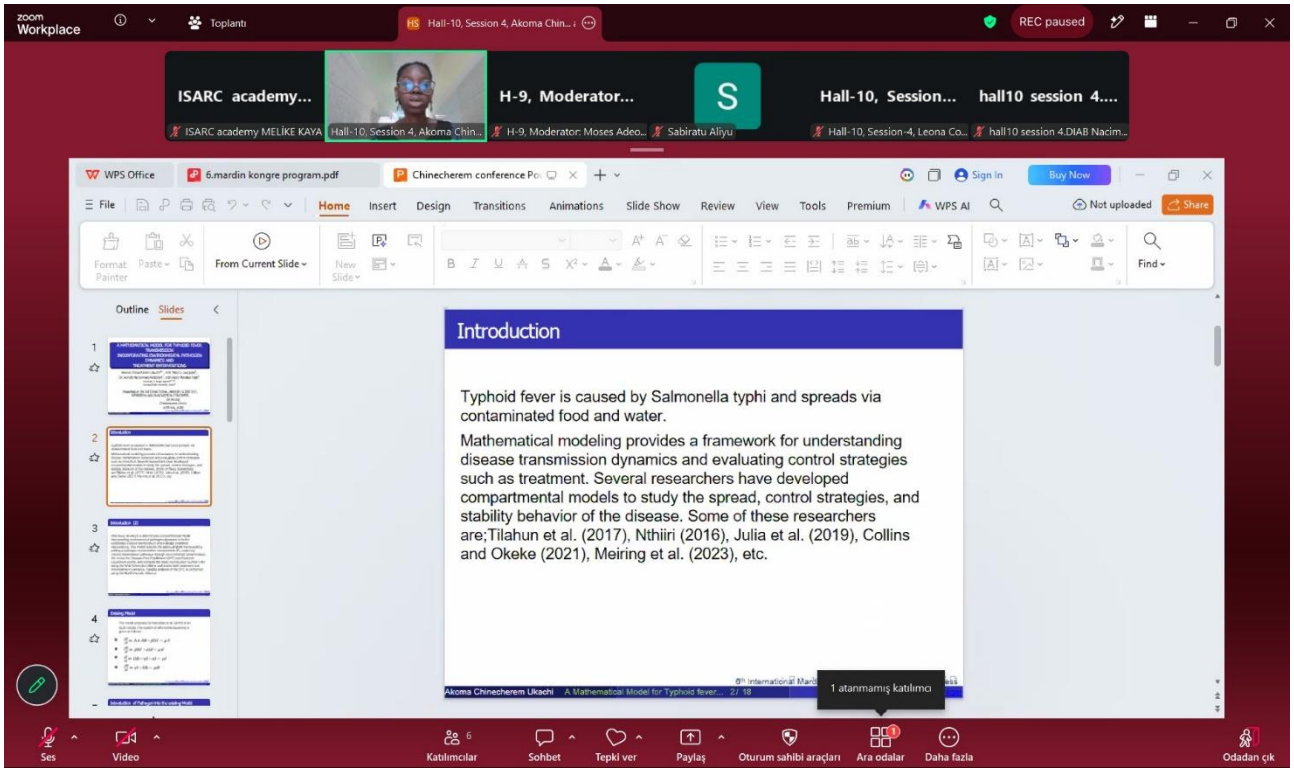

zoom Workplace
Toplantı
Hall7- Mehmet İskender Özsoy ac
REC
ISARC academy...
ISARC academy MELİKE KAYA
Hall-7, Erhan ÇAYIR
Hall7- Mehmet...
Hall7- Mehmet İskender Özsoy
Hall-3 Serkan Gülgel
B
Hall-7, Beyza SABANCI
Hall-7 Mehmet...
Hall-7 Mehmet KANUR
2. MALZEMELER VE YÖNTEMLER
2.2. Aşınmış Yüzey Hazırlığı
Numuneler, yüzeylerinde belirgin aşınma izleri oluşturmak amacıyla, bilye-düzlem kayması şeklinde karşılıklı bir temas testine tabi tutuldu. Kayma testleri, 10 N'luk sabit bir normal yük altında ve 100 m'lik toplam kayma mesafesinde, kuru (yağlanmamış) koşullarda ve 23,39 °C'lik laboratuvar ortam sıcaklığında gerçekleştirildi.
2.3. Temassız Profilometrik Analiz
Aşınmış yüzeyler, Nanovea PS-50 temassız optik profilometre kullanılarak karakterize edildi. Temassız ölçüm prensibi, nispeten yumuşak polimerik yüzeylerde prob kaynaklı deformasyon riskini ortadan kaldırdığı ve eksiksiz üç boyutlu alansal yükseklik verileri sağladığı için tercih edildi.
2 atanmamış katılımcı
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık

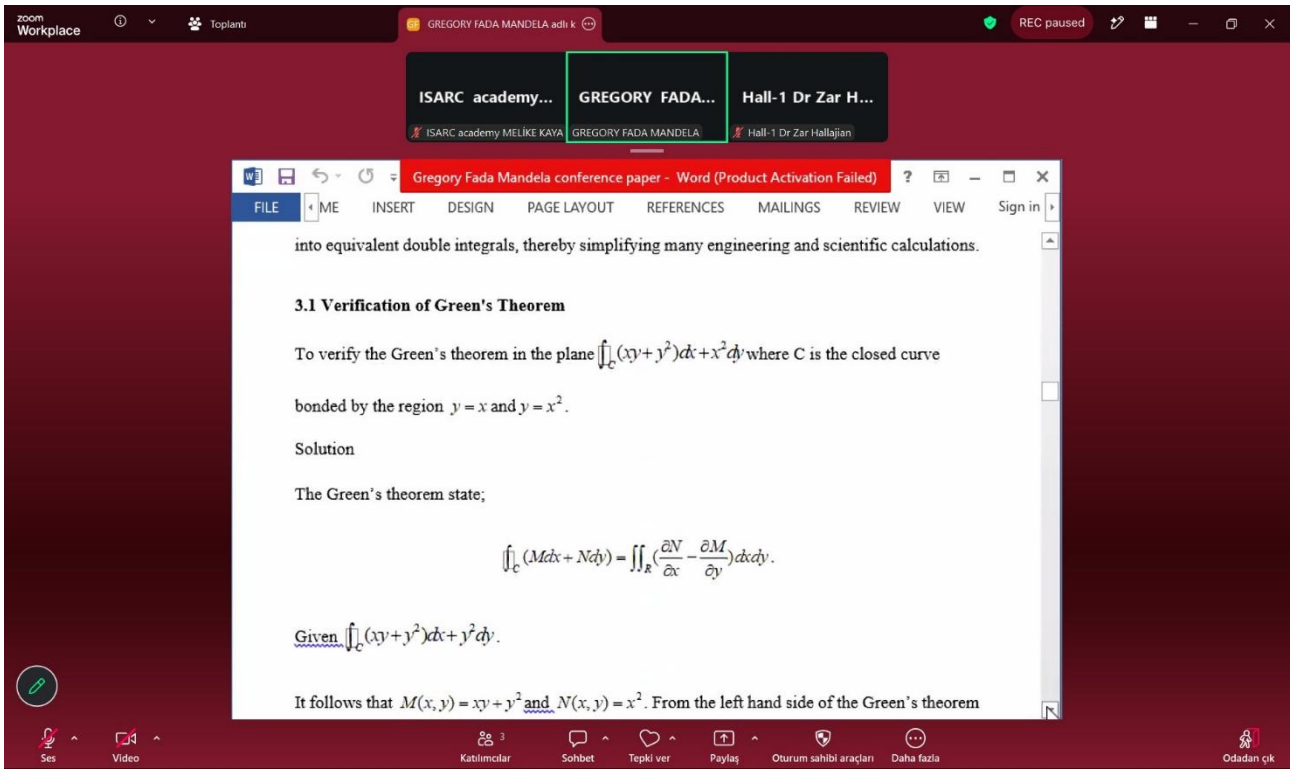

ISARC academy...
Mohammed ses...
Abed
ISARC academy MELİKE KAYA
Mohammed session 3 Hall 8
Abed
The Blessings and History of Iraq Al-Amir:
Every inch and meter of the land of Iraq Al-Amir holds a story, an event, and a blessing. One cannot truly grasp the profound significance of this cultural heritage until they walk through Wadi Iraq Al-Amir, which stretches from the Bayader Wadi Al-Seer area to Wadi Al-Shita, and from the western hills of Iraq Al-Amir town to its towering eastern highlands.
Here, history has kept its appointment with the place to recount the true events and stories of a region where God has bestowed secrets and a captivating ecological beauty. The waters flowing through the valley have always sustained, and continue to sustain, the landscape, covering it with lush greenery and freshness, filling the soul with joy and delight, and moving the heart to offer endless gratitude to God for these limitless blessings scattered across the valleys high up on the plateaus and between the slopes and foothills of Amman's mountains.
Wadi Hisban extends to the right, and Wadi Shu'ayb to the left—each harboring its own history and civilization. Yet, blessings and goodness flow day and night through the movement of water and the cycle of life.
Click to add notes
app.zoom.us is sharing your screen.
Stop sharing
Hide
1 atanmamış katılımcı
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık

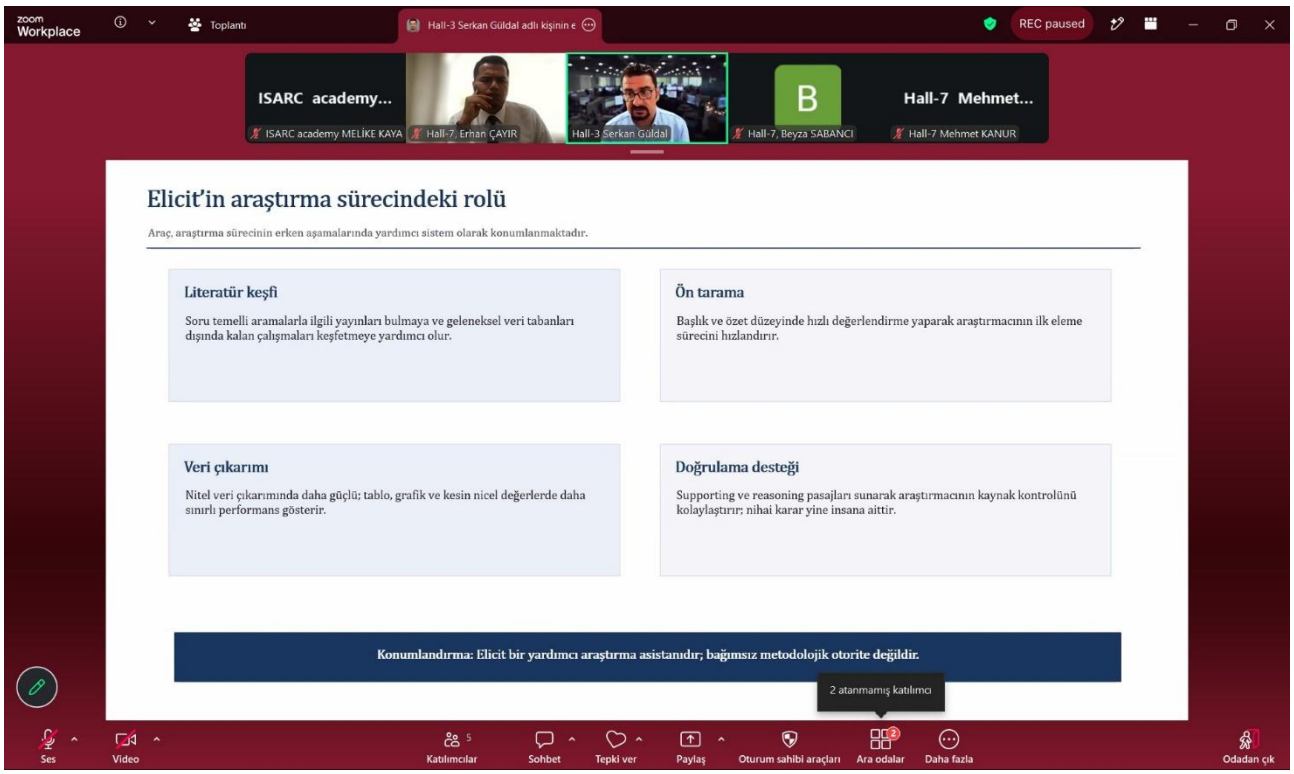

ISARC academy...
H-9, Moses Adeolu AGOI
Hall-10, Session...
hall10 session 4....
ISARC academy MELİKE KAYA
Hall-10, Session-4, Leona Conc...
hall10 session 4.DIAB Nacim...
INDUSTRY 4.0 IN ARCHITECTURE: LEVERAGING PREFABRICATION AND DIGITAL CONSTRUCTION FOR EFFICIENT BUILDING DELIVERY IN LAGOS METROPOLIS, NIGERIA
Moses Adeolu AGOI[1]
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
agoi4moses@gmail.com, +2347062230778
ORCID ID: 0000-0002-8910-2876
Samuel Olayiwola AJAGA[2]
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
olayiwolaz@gmail.com, +2348108107705
Olajuwon Victor OLAYINKA[3]
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
olajuwonolayinka@gmail.com, +234901572215
&
Emmanuel Taiwo AGOI[4]
Loughborough University, United Kingdom.
etagoi@yahoo.com, +447424848762
INTRODUCTION
Activate Windows
Go to Settings to activate Windows.
PAGE 1 OF 9
3221 WORDS
Search
24°C
08:47 AM

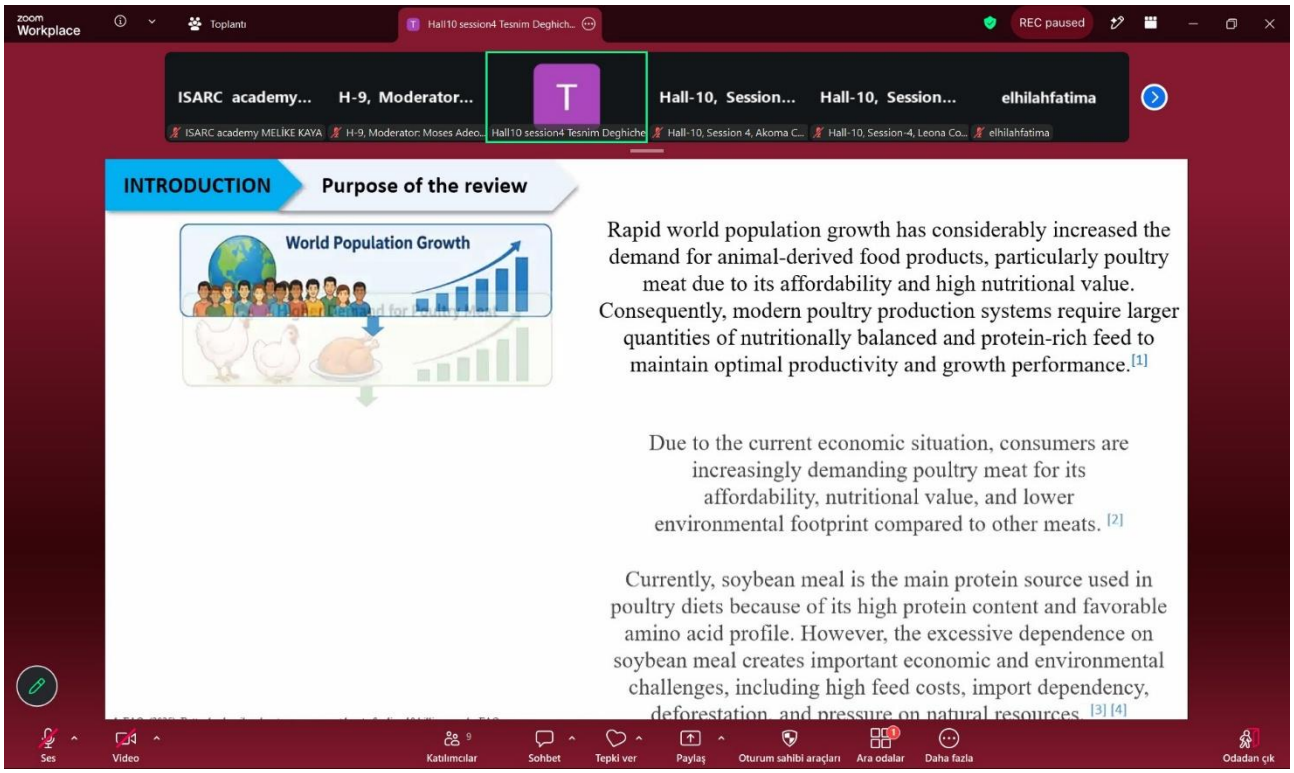

zoom Workplace
Toplantı - h2-s/5
REC paused
ISARC academy...
Mohammed ses...
Abed
GREGORY FADA...
ISARC academy MELİKE KAYA
Mohammed session 3 Hall 8
Abed
GREGORY FADA MANDELA
Hall-1, Session-5, Dr.Tasawar...
Abed
Abed
2 atanmamış katılımcı
Ses
Video
Katılımcılar
5
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık


zoom Workplace
Toplantı
Hall-1 Dr Zar Hallajian adlı kişinir
REC paused
ISARC academy...
ISARC academy MELİKE KAYA
Hall-1 Dr Zar Hallajian
Key Regulatory Blind Spot #2
• Synthetic polymers: PVP and PVA
• Biodegradation in soil: only 1–4%
• Detected in rivers: 0.16–0.18 mg/L
• No maximum residue limits (MRLs)
Ses
Video
Katılımcılar
2
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık


zoom Workplace
Toplantı
Hall-10, Session 4, Akoma Chin...
REC paused
ISARC academy...
H-9, Moderator...
Hall-10, Session...
hall10 session 4....
WPS Office
6.mardin kongre program.pdf
Chinecherem conference Po
Home
Insert
Design
Transitions
Animations
Slide Show
Review
View
Tools
Premium
WPS AI
Outline
Slides
Introduction
Typhoid fever is caused by Salmonella typhi and spreads via contaminated food and water.
Mathematical modeling provides a framework for understanding disease transmission dynamics and evaluating control strategies such as treatment. Several researchers have developed compartmental models to study the spread, control strategies, and stability behavior of the disease. Some of these researchers are;Tilahun et al. (2017), Nthiiri (2016), Julia et al. (2019), Collins and Okeke (2021), Meiring et al. (2023), etc.
Akoma Chinecherem Ukachi
1 atanmamış katılımcı
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık


zoom Workplace
Toplantı
GREGORY FADA MANDELA adlı k
REC paused
ISARC academy...
GREGORY FADA...
Hall-1 Dr Zar H...
Gregory Fada Mandela conference paper - Word (Product Activation Failed)
FILE
INSERT
DESIGN
PAGE LAYOUT
REFERENCES
MAILINGS
REVIEW
VIEW
Sign in
into equivalent double integrals, thereby simplifying many engineering and scientific calculations.
3.1 Verification of Green's Theorem
To verify the Green's theorem in the plane $\int_C (xy+y^2)dx+x^2dy$ where C is the closed curve
bonded by the region $y=x$ and $y=x^2$.
Solution
The Green's theorem state;
$$\int_C (Mdx+Ndy) = \iint_R (\frac{\partial N}{\partial x} - \frac{\partial M}{\partial y})dxdy.$$
Given $\int_C (xy+y^2)dx+y^2dy$.
It follows that $M(x,y)=xy+y^2$ and $N(x,y)=x^2$. From the left hand side of the Green's theorem
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Daha fazla
Odadan çık


Toplantı
Hall-3 Serkan Güldal adlı kişinin e
REC paused
ISARC academy...
Hall-7 Erhan ÇAYIR
Hall-3 Serkan Güldal
Hall-7, Beyza SABANCI
Hall-7 Mehmet...
Hall-7 Mehmet KANUR
Elicit'in araştırma sürecindeki rolü
Araç, araştırma sürecinin erken aşamalarında yardımcı sistem olarak konumlanmaktadır.
Literatür keşfi
Soru temelli aramalarla ilgili yayınları bulmaya ve geleneksel veri tabanları dışında kalan çalışmaları keşfetmeye yardımcı olur.
Ön tarama
Başlık ve özet düzeyinde hızlı değerlendirme yaparak araştırmacının ilk eleme sürecini hızlandırır.
Veri çıkarımı
Nitel veri çıkarımında daha güçlü; tablo, grafik ve kesin nicel değerlerde daha sınırlı performans gösterir.
Doğrulama desteği
Supporting ve reasoning pasajları sunarak araştırmacının kaynak kontrolünü kolaylaştırır; nihai karar yine insana aittir.
Konumlandırma: Elicit bir yardımcı araştırma asistanıdır; bağımsız metodolojik otorite değildir.
2 atanmamış katılımcı
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık


Toplantı
Hall10 session4 Tesnim Deghich...
REC paused
ISARC academy...
H-9, Moderator...
Hall10 session4 Tesnim Deghiche
Hall-10, Session...
Hall-10, Session...
elhilahfatima
INTRODUCTION
Purpose of the review
World Population Growth
Rapid world population growth has considerably increased the demand for animal-derived food products, particularly poultry meat due to its affordability and high nutritional value. Consequently, modern poultry production systems require larger quantities of nutritionally balanced and protein-rich feed to maintain optimal productivity and growth performance.[1]
Due to the current economic situation, consumers are increasingly demanding poultry meat for its affordability, nutritional value, and lower environmental footprint compared to other meats. [2]
Currently, soybean meal is the main protein source used in poultry diets because of its high protein content and favorable amino acid profile. However, the excessive dependence on soybean meal creates important economic and environmental challenges, including high feed costs, import dependency, deforestation, and pressure on natural resources. [3] [4]
Ses
Video
Katılımcılar
Sohbet
Tepki ver
Paylaş
Oturum sahibi araçları
Ara odalar
Daha fazla
Odadan çık

INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

KONU: Kongre Katılımcı Bilgisi **05.08.2026**

İLGİLİ MAKAMA

6.ULUSLARARASI MARDİN BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR VE İNOVASYON KONGRESİ 23-24 TEMMUZ 2026 tarihleri arasında MARDİN 'da online olarak 12 farklı ülkeden (Türkiye:42 ve diğer Ülkeler:49 Toplam:91 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-IV
PROGRAM	V-XVII
PHOTO GALLERY	XVIII-XXVIII
ACADEMIC INCENTIVE	XXIX
CONTENT	XXX-XXXIV

AUTHORS	TITLE	NO
Prof. Dr. Neslihan ŞAHİN Prof. Dr. Elvan ÜSTÜN	Synthesıs And Characterızatıon Of 1-Methallyl-3-(3,5-Dımethoxybenzyl)Benzımıdazolıum Bromıde Salt	1-8
Prof. Dr. Elvan ÜSTÜN Prof. Dr. Neslihan ŞAHİN	Investıgatıon Of The Antıcancer Actıvıty Of Benzımıdazole-Type Molecules: A Molecular Dokıng Study	9-16
Seyed Mehdi Talebi Kimiya Anjomani	DNA Markers-Based Assessment Of İnfraspecific Genetic Variation İn Sunflower Genotypes	17
Assoc. Prof. Dr.Rabia ÇAKAN AKPINAR	On Bronze Structures And The Vıshnevskıı Operator	18-24
Assoc. Prof. Dr. Rabia ÇAKAN AKPINAR	On Sılver Structures And The Nıjenhuıs Tensor	25-33
Ahmet GÜRGAŞİN	Order Forecastıng Analysıs Usıng Rıdge, Lasso, And Elastıc Net Regressıon Methods: An Applıcatıon In The Energy Sector	34-43
Ahmet GÜRGAŞİN	Monte Carlo And Copula-Based Stochastıc Volume Modelıng In The Manufacturıng Sector	44-53
Assist. Prof. Dr. Tuğba Melike PARLAK Prof. Dr. Enver YAZAR	Telmısartan Use In Cats	54-60
Assist. Prof. Dr. Tuğba Melike PARLAK Prof. Dr. Enver YAZAR	Use Of Cyclosporıne In Dogs And Cats	61-70
Assist. Prof. Dr. Baycan MOR	Evaluation of Antileishmanial Activity and Cytotoxicity against Leishmania infantum and Leishmania tropica: A Study of Thieno[3,2-d]pyrimidin-4(3H)-one Schiff Bases	71-81
Asisst. Prof. Elisa ÇALIŞGAN	Beyond Paın: A Comprehensıve Physıotherapy Assessment Of Spınal Tuberculosıs—A Case Report	82-91
Assoc. Prof. Dr. Genta NALLBANI Arzen VOCI	Knowledge Of Sports Trauma Among Sports Students	92-96
Prof. Dr.Havva Erdem Ceren Karadeniz	Clinicopathological Features Of Lichenoid Drug Eruption: A Case Report	97-101
Prof. Dr.Havva Erdem Hatice İrem Ezber	Clinicopathological Features Of Drug-Associated Erythema Multiforme: A Case Report	102-107
Prof. Dr. Uğur TÜRKMEN	The Support Of Rüveyde ‘ Yüksel Ergen For Art Wıthın The Context Of Prosocıal Behavıors	108-128
Prof. Dr. Uğur TÜRKMEN	The Appearance Of Educatıonal Musıc Composers Wıthın The Context Of The Amateur Instrumentalısts Festıval	129-137
Lect. İsmail ERASLAN	Musıcal Dıversıty And Cultural Interactıon In Mardın Folk Songs	138-151

Assoc. Prof. Dr. Serap ÜNAL Meral UYSALGENÇ	From Red To Black: Traces Of Industrıal Herıtage In The Potters' Quarter Of Sagalassos	152-164
Zeynep Naz VURAN Prof. Dr.Nezihat KÖŞKLÜK KAYA	Intangıble Cultural Herıtage Of Ayvalık	165-179
Prof. Dr. Celestina FAZIA Dr. Arch. Antonia POSTORINO	Emergency Management. Ss_Au Settlements Self-Sufficıent And Autonomous Based On Experımental Housıng Unıts	180-204
Assist. Prof. Dr. Mehmet CEYLAN	A Human-Centered Editorial Aı Journalism Model For Türkiye: A Risk-Based Decision Framework For Newsrooms	205-221
Prof. Mohammed Waheeb	Battle of Dhat al-Salasil in Southern Jordan: A Critical Site Study in Light of Archaeological Evidence from (Bir Madhkur) and the Historical Link to the Expedition of Dhat Atlah	222-223
Assoc. Prof. Dr. Ferit YÜCEBAŞ	Relıgıous And Polıtıcal Propaganda Under One-Party Rule Between 1940-1944	224-238
Aliyeva Maralkhanim Tofig gizi	Musical Creativity And Artificial Intelligence	239-243
Aliyeva Maralkhanim Tofig gizi	The Place Of Musical Education In The Modern Educational Space	244-248
Lecturer. Zulfiye AGHAYEVA	Traces Of Words Found In "Et-Tuhfetü'z-Zekiyye Fi Lugâti't-Türkiyye" In Azerbaıjanı Turkısh	249-250
Lect. Gözde CAMKIRAN DÜZ Lect. Nuray Tuğçe OĞUZ	The Voıce Of Women From Ancıent Tımes To The Present:Polyphony And Dıalogısm In The Work I, Anatolıa	251-252
Dr. Ayça BAKINER	From Self-Dısclosure To Communıcatıve Practıce: Oversharıng On Tıktok In Türkıye	253-271
Assist. Prof. Dr. Sarphan UZUNOĞLU	The Quantifıed Newsroom: A Review Of The Transformation Of News Values, Professional Roles, And Editorial Autonomy In The Age Of Metrics	272-286
Assoc. Prof. Dr. Alper Tunga ALKAN SMMM Hakan ACER	From Double-Entry Accounting To Triple-Entry Accounting: An Exaınation Of The Impact Of Blockchain Technology On Accounting Record Systems	287-302
Stephen Oluwatosin KAZEEM	Influence Of Organizational Culture On Employee Job Satisfaction In Public Institutions: A Study Of Federal Polytechnic, Ilaro, Nigeria	303
Kamil Kaan ÖZDEMİR Assoc. Prof..Dr. Muhammet DAMAR	Global Collaboration Networks In Green Computing Research: A Review Of Organisation For Economic Co-Operation And Development (Oecd) Countries	304-315
Kamil Kaan ÖZDEMİR Melih TAKYACİ Assoc. Prof.Dr. Muhammet DAMAR	The Evolution Of Telemedicine Research In Turkey: A Comprehensive Content Analysis And Strategic Recommendations	316-328
Fatma TÜRKER	The Impacts Of Global Climate Change On Environmental Health	329-330
Fatma TÜRKER	Biological Approaches In Water And Waste Management And Their Importance From An Environmental Health Perspective	331-338
Lect. F.Dilek DİKER	The Restructuring Of Public Relations In The Age Of Social Media: A Conceptual Analysis	339-340
Dr. Hilal ALTUN	Climate Risk Index And International Tourist Flows: A Panel Data Analysis Of High-Risk Destinations	341-350
Dr. Hilal ALTUN	Determınatıon The Impact Of Geopolitical Risks On Accommodation Expenditures In Faith Tourism Destinations: A Micro-Panel Data Analysis On Türkiye's Faith Corrıdors	351-360
Prof. Dr. Koray KARABULUT Assoc. Prof. Dr. Yeliz ALNAK	Analysıs Of Heat Transfer And Pressure Drop In Mıcrochannel Heat Sınks Wıth Dıfferent Geometrıc Desıgns Usıng Mwcnt- Water Nanofluıd	361-380
Assoc. Prof. Dr. Yeliz ALNAK Prof. Dr. Koray KARABULUT	Investıgatıon Of The Thermal Performance Of Multı-Partıtıoned Mıcro-Channel Heat Sınks Usıng Graphene Oxıde-Water Nanofluıd	381-399

Meryem EDİS Asst. Prof. Dr. Murat BATAN	Drought Analysis Using Chırps Precipitation Data: A Remote Sensing And Gıs-Based Approach	400-401
Mustafa AKBULUT Assist. Prof. Dr. Berrin ATALAY Assoc. Prof. Dr. Oğuzhan Ahmet ARIK	Increasıng Lıne Effıcıency Wıth Double-Sıded Assembly Lıne Balancıng Methods	402-408
Asst. Prof. Bilal AGIRMAN Ali Rıza SAK	Development And Qualıty Characterıstıcs Of An Innovatıve Fermented Beverage: Mılk Kefır Enrıched Wıth Freeze-Drıed Şalgam Powder	409
Erhan ÇAYIR Assoc. Prof. Dr. Nergizhan ANAÇ Assoc. Prof. Dr. Oğuz KOÇAR	Investıgatıon Of The Mechanıcal Properties Of Abs Plus Parts In Dıfferent Colors Produced By The 3d Prıntıng Method	410-412
Beyza SABANCI Assist. Prof. Dr. Merih YILDIZ	Drıver Behavıor Classıfıcatıon And Scorıng System Usıng Real- Tıme Vehıcle Telemetry Data	413-415
Assist. Prof. Dr. Serkan GÜLDAL	Elıcıt As An Aı-Assısted Research Tool: A Systematıc Revıew Of Its Performance, Applıcatıons, And Lımıtatıons	416-432
Mehmet KANUR Assist. Prof. Dr. Serkan GÜLDAL	Cesium-Based Perovskite Structures: Synthesis Methods, Optoelectronic Properties, And Applications	433-442
Kerim ANİK Güven SAYMAN Sinan FİDAN Mustafa Özgür BORA Satılmış ÜRGÜN Mehmet İskender ÖZSOY	Surface Topography And Wear-Scar Profılometrıc Characterızatıon Of 3d-Prınted Pla+ And Petg Specımens At Varyıng Infıll Ratıos	443-463
Özkan YILMAZ Cemile Nur ÖZDEMİR Mustafa Özgür BORA Sinan FİDAN Satılmış ÜRGÜN Mehmet İskender ÖZSOY	Investıgatıon Of Solıd Partıcle Erosıon Behavıor Of Fıber Laser Surface Textured Aa6061-T6 Alumınum Alloy	464-484
Dr.Nodar Sulashvili , Archil Chirakadze , Lali Patsia , Marika Sulashvili , Tamar Okropiridze , David Aphkhazava	The Scıentıfıc Dıscussıon Of Key Issue Features On Faıth, Expectatıon, And The Healıng Body: A Physıologıcal Interpretatıon Of Recovery In Contexts Of Sacred Belıef	485-540
Mohammed Waheeb Eng. Mohammad Abu Zaytoun	Religious Tourism İn The Blessed Valleys Of Amman And İts Surroundings (Jordan) And Tourism Investment Prospects	541-543
Dr. Nuradeen Usman Dingyadi	Contrıbutıon Of Treasury Sıngle Account On Tranpırancy And Accountabılıty In Tertıary Instıtutıon In Nıgerıa: A Study Of Federal Unıversıty Of Educatıon Zarıa Kaduna State	544-557
Bashiru Muhammad Liman, Abubakar Muhammad Liman	Students' Performance And Lecturers' Engagement Technıques In Shehu Shagarı Unıversıty Of Educatıon, Sokoto: Implıcatıons For Counsellıng	558-570
Vorya Shabrandi 1 □ Dr. Sajjad Bahrami Moghadam	Challenges and Institutional–Structural Barriers to Individual Mastery in the Path of Iran's Political Economy Underdevelopment	571
Dr. Samia Moustaghfir Sakina El Khattabi	Beyond Language Proficiency: Investigating Synthesis as a Higher-Order Cognitive Competence in EFL Oral Presentations	572-573
Mariami Managadze	The Problem Of Microplastics İn Environmental Medicine	574-575
Nodar Sulashvili , Ia Egnatievi , Manana Giorgobiani , Rusudan Kvanchakhadze , Magda Davitashvili , Lali Patsia , Marika Sulashvili , Giorgi Pkhakadze , Lela Grigolia , Kakhaber Robakidze , Tamar Okropiridze , David Aphkhazava	The Scıentıfıc Perspectıves On The Evolutıon Of Teachıng And Learnıng Scıences In Global Hıgher Medıcal Educatıon: A Comprehensıve Analysıs Of Competency-Based Educatıon, Artıfıcıal Intellıgence In Pedagogy, Immersıve Learnıng Technologıes, Clınıcal Decısıon-Makıng, Educatıonal Leadershıp, And Sustaınable Academıc Transformatıon	576-644
Dr. Safaa Rhaimi	In Assessment Of A-Glucosıdase Inhıbıtory Actıvıty Of A Medıcınal Plant Extract: An In Vıtro Study	645
Dr. Safaa Rhaimi	In Vıtro Evaluatıon Of A-Amylase Inhıbıtory Actıvıty Of A Medıcınal Plant Extract For Dıabetes Management	646
Sodiq Adetunji Adekola , Suleiman Abeebat Abiola , Iwueke Obinna Adonischris	Dıgıtal Health Lıteracy As A Tool For Strengthenıng Preventıve Health Behavıours Among Young Adults	647

Faisal Nazir	Productıon And Characterızatıon Of Carbon Nanotubes From Bıochar Under Mıcrowave Irradıatıon	648
Yassine Ballout , Yassine El Miz , Hanane El Harouachi , Amin El Azizi , Dounia Ahoudi , Mohammed Elgettafi , Rachid Hakkou , Mohamed Loutou	Influence Of Microwave Irradiation Treatment In The Enhancement Of Optical Properties Of Intrinsics Fe 2 O 3 Particles Based Geopolymers	649
Dr. Safaa Rhaimi ,Faima El hilah, Aicha Rossafi	Optımızatıon Of Antıbacterıal Essentıal Oıl Blends Usıng Neural Networks	650
Dr. Safaa Rhaimi, Hassna leknizi	Synergıstıc Antıoxıdant Potentıal Of Essentıal Oıl Blends: Predıctıve Modelıng And Optımızatıon	651
Moses Adeolu AGOI Samuel Olayiwola AJAGA Olajuwon Victor OLAYINKA Emmanuel Taiwo AGOI	Industry 4.0 In Archıtecture: Leveragıng Prefabrıcatıon And Dıgıtal Constructıon For Effıcıent Buıldıng Delıvery In Lagos Metropolıs, Nıgerıa	652-664
Tanzeela Riaz, Muqaddas Ashraf, Tanzeela, Matloob Ahmad	One-Pot Synthetic Protocols For Fused N-Heterocyclic Hybrid Derivatives	665
Addra Noah Agbo	Quality Assurance Mechanisms And Healthcare Delivery Outcomes İn Tertiary Health Institutions İn Nasarawa State Nigeria	666-667
HAQ MEEN	Hankel Determinant for Certain Subclasses of Analytic Functions Associated with Kidney-Shaped Domain	668
Bashiru Muhammad Liman	Comparatıve Analysıs On The Counsellıng Of Fırst And Fınal Year Students Of Shehu Shagarı Unıversıty Of Educatıon, Sokoto Undergraduate Students : Counsellıng Interventıons	669-683
Dr. Nacima DIAB Dr. Tesnim DEGHICHE	Earthworm-Based Circular Bioeconomy: An Innovative Strategy for Sustainable Poultry Production and Food Security in Arid Ecosystems	684-685
Sabiratu Aliyu, Abdussalam Yau Gital , Badamasi Imam Ya'u	Design and Development of a Hybrid Random Forest-LSTM Framework for Integrating Static and Dynamic Malware Features	686-698
Murtala Mohammed Baba , Aminu Adamu Ahmed , Sadiq Mohammed Nadada , Ahmadi Abubakar Majidadi	The Effect of Computerized Accounting Systems on Financial Reporting Quality in Bauchi Metropolis: A Case Study of Bauchi State Internal Revenue Service	699-710
Akoma Chinecherem Ukachi , Durojaye O. Mary , Ayinde Muhammed Abdullahi	A Mathematical Model for Typhoid Fever Transmission Incorporating Environmental Pathogen Dynamics and Treatment Interventions	711-727
Sakineh Khanamani Falahatipour , Zahra Hallajian	From 'Inert'to Innovative: A Critical Review of Veterinary Excipients as Unregulated Environmental Pollutants and the Case for Sustainable Formulation Design	728-741
Mohammed Adamu Sule , Dauda Daniel , Usman Sa'id Ibrahim , Bubakari Joda 4, Aliyu Ibrahim Abbas, Abubakar Jibrin , Ahmed Aminu Adamu	Human-Centered Design of Smart Home Energy Management Interfaces for Low-Income Households	742-760
Prof. Dr. Mehwash Kashif Dr. Anusha Ahmed Dr. Asma bint-e-Adil Dr. Syed Saqib Raza Dr. Yousuf Ali	Ecodentıstry Unplugged: Cuttıng Waste And Water For A Greener Practıce	761-762
Roxana Mihaela Moisoiu Prof.Colegiul German"Goethe"	Artificial Intelligence and the Criminogenic Factor – Challenges and Perspectives in Contemporary Criminology	763
BELLIL Dassine , GHAROUT-SAIT Alima , DJOUDI Ferhat , BELLIL Zahra , MENDIL Ouidad , MANSEUR Lyticia, DIB-SAIT Sabrina	Mycobacterium spp. associated with Barbary macaque	764
Ene Odaudu	The Role Of Telehealth And Remote Patıent Monıtorıng In Expandıng Healthcare Access In Nıgerıa: A Nursıng Informatıcs Perspectıve	765-766
Gregory Fada Mandela , Akinwande Ife-Oluwa Ninuola , Akoma Chinecherem Ukachi Ayinde Muhammed Abdullahi	Applications Of Green's Theorem To Problems İn Mechanics And Elementary Fluid Dynamics	767

Tasawar Iqbal Sidra Altaf	Therapeutıc Importance And Mechanısms Of Actıon Of Phytochemıcals From Cıtrullus Colocynthıs In Dıabetes Management	768-769
Ananda Majumdar	Nurturing Young Minds: Prioritizing Mental Health In Early Education	770
Abed zoulikha , Lachabi Abdelhadi , Laid Abdelali , Malki Faiza , Abid Hamza	First-Principles Study of the Effect of Boron Concentration on the Electronic Properties of $Tl_{1-x}B_xN$ Alloys Using the mBJ-GGA Approach	771
Prof. Asoc. Marsida KRASNIQI MD Katerina Kasa	Management Of Metallıc Intraocular Foreıgn Body: A Case Report	772-777
Ideh, R.R. , Babalola, O.A. , Adetiloye, O.A. , Abdullahi, M. , Ezedozie, C.U. , Shuaibu, M.H. , Ojiego, B.O. , Ajulor, N.P. and Olukotun, G.B.	The Occurrence Of Rhodotorula Sp. In Natıonal Bıotechnology Research And Development Agency Premıses And Theır Bıotechnology Potentıals	778
Fatima El hilah , Nadia Belahbib , Jamila Dahmani , Lala Aicha Lrhorfi , Lahcen Zidane	Moroccan Medicinal and Aromatic Plants as Functional Foods: Nutritional Value and Health Benefits - A Systematic Review	779
OUMAIMA. EL MTIOUY , HAMID.ESSABIR	Valorızatıon Of Agrıcultural Waste In Sustaınable Bıocomposıtes: Enhancıng Mechanıcal Propertıes Wıth Natural Fıber Reınforcements	780
Chioma Juliet Olugh Solomon Onen Abam David Oloruntoba Aransiola	Automated Detection of Cancerous Cells in Microscopic Imagery Using Deep Learning Architectures	781
Zahiduzzaman Zahid , Md. Shahed Alamm , Md. Mozammel Hoque	Zakat-Driven Venture Philanthropy: A Blended Finance Model for Islamic Social Entrepreneurship	782-783
Diala Leona C. , Abah Roseline T , ,Azuaba Emmanuel	Modeling The Impact Of Vaccination And Treatment Strategies On Tuberculosis And Drug- Resistant Tuberculosis Transmission	784-806
Assist. Prof. Dr. Hurigül EKEN	Health Self-Efficacy Among Unıversıty Youth Aged 18-25	807-838

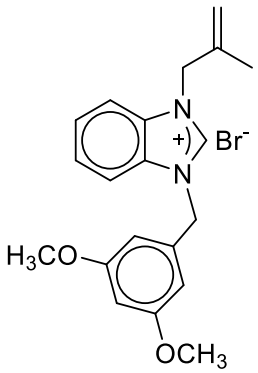
1-METALLİL-3-(3,5-DİMETOKSİBENZİL)BENZİMİDAZOLYUM BROMÜR TUZUNUN SENTEZİ VE KARAKTERİZASYONU

Prof. Dr. Neslihan ŞAHİN
Malatya Turgut Özal University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Engineering Basic Sciences, 44900, Malatya, Türkiye
Cumhuriyet University, Faculty of Education, Department of Science Education, 58040, Sivas
ORCID: 0000-0003-1498-4170
Prof. Dr. Elvan ÜSTÜN
Ordu University, Faculty of Art and Science, Department of Chemistry, 52200 Altınordu, Ordu
ORCID: 0000-0002-0587-7261

ÖZET

N-Heterosiklik karbenler (NHC'ler), organometalik kimya ve koordinasyon kimyasının en önemli ligand sınıflarından biri olarak kabul edilmektedir. Karben karbonunun iki azot atomu tarafından stabilize edilmesi, bu bileşiklere yüksek termal ve kimyasal kararlılık kazandırmaktadır. NHC ligandları güçlü σ-verici ve zayıf π-alıcı özellikleri sayesinde geçiş metalleriyle oldukça kararlı metal-karben bağları oluşturabilmektedir. Bu özellikleri, metal komplekslerinin reaktivitesini, seçiciliğini ve dayanıklılığını artırmaktadır. Günümüzde NHC ligandları, özellikle homojen kataliz, organik sentez, malzeme bilimi ve koordinasyon kimyasında geniş kullanım alanına sahiptir. Çapraz eşleşme, olefin metatezi, hidrojenasyon ve C–H aktivasyonu gibi birçok katalitik reaksiyonda başarılı sonuçlar vermektedir. Bunun yanında, son yıllarda biyolojik özellikleri de dikkat çekmiş; antikanser, antimikrobiyal ve antioksidan aktiviteleri nedeniyle ilaç geliştirme çalışmalarında ilgi görmeye başlamıştır.

Bu çalışmada, 1-metallil-3-(3,5-dimetoksibenzil)benzimidazolyum bromür tuzu sentezlendi ve bu yeni bileşiğin yapısal analizi NMR (^{1}H, $^{13}C\{^{1}H\}$) spektroskopisi ile yapıldı.

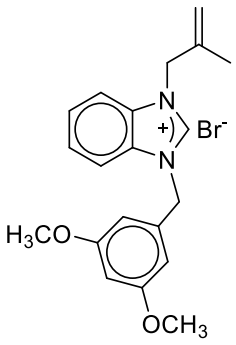


Anahtar Kelimeler: N-Heterosiklik karben, metallil, NMR.

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF 1-METHALLYL-3-(3,5-DIMETHOXYBENZYL)BENZIMIDAZOLIUM BROMIDE SALT

ABSTRACT

N-Heterocyclic carbenes (NHCs) are considered one of the most important classes of ligands in organometallic chemistry and coordination chemistry. The stabilization of the carbene carbon by two nitrogen atoms confers high thermal and chemical stability to these compounds. Thanks to their strong σ-donor and weak π-acceptor properties, NHC ligands can form highly stable metal-carbene bonds with transition metals. These properties increase the reactivity, selectivity, and stability of metal complexes. Currently, NHC ligands have a wide range of applications, particularly in homogeneous catalysis, organic synthesis, materials science, and coordination chemistry. They yield successful results in many catalytic reactions such as cross-coupling, olefin metathesis, hydrogenation, and C-H activation. In addition, their biological properties have attracted attention in recent years; they have begun to be used in drug development studies due to their anticancer, antimicrobial, and antioxidant activities. In this study, the salt of 1-methallyl-3-(3,5-dimethoxybenzyl)benzimidazolium bromide was synthesized, and the structural analysis of this new compound was performed using NMR (^{1}H, $^{13}C\{^{1}H\}$) spectroscopy.



Keywords: N-Heterocyclic carbene, methallyl, NMR.

1. INTRODUCTION

N-Heterocyclic carbenes (NHCs) are a distinctive class of cyclic carbenes containing at least one α-amino substituent, which is primarily responsible for their exceptional stability and unique chemical behavior (Diez-Gonzalez et al. 2009). Structural investigations based on bond lengths, bond angles, and *ab initio* electronic structure calculations have consistently shown that these compounds predominantly exist in the singlet electronic state (Bourissou et al. 2000; Arduengo 1999; Heinemann and Thiel 1994). Unlike conventional carbenes, which are generally highly reactive and short-lived, NHCs possess remarkable kinetic and thermodynamic stability (Arduengo III et al. 1992; Jafarpour and Nolan 2000). This unusual

stability is attributed to a combination of steric shielding and electronic effects. The α-amino substituents act as strong π-electron donors, allowing efficient overlap with the vacant p-orbital of the carbene carbon and thereby stabilizing the singlet carbene center (Heinemann and Thiel 1994). Furthermore, the adjacent nitrogen atoms exert an inductive effect by withdrawing a small amount of electron density from the carbene lone pair, providing additional stabilization to the carbene framework (Jafarpour and Nolan 2000; Arduengo III et al. 1991). Representative examples of common NHC structures are presented in Figure 1.

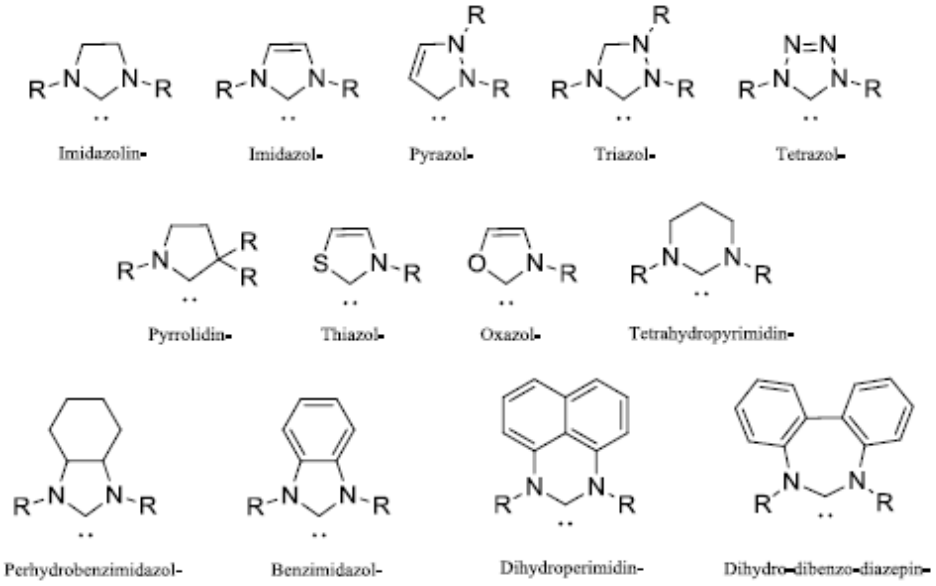


Figure 1. Examples of common N-heterocyclic carbene structures

A landmark development in carbene chemistry was achieved in 1991 when Arduengo and co-workers reported the first successful isolation of a stable N-heterocyclic carbene, fundamentally changing the understanding and applications of these compounds. The stable carbene was generated by deprotonation of its corresponding imidazolium salt (Arduengo III et al. 1991). The exceptional stability of this compound was largely attributed to the presence of two bulky adamantyl substituents attached to the α-nitrogen atoms, which effectively shielded the reactive carbene center from external reagents. Under strictly inert conditions and in the absence of oxygen and moisture, the isolated carbene exhibited remarkable stability. This pioneering discovery initiated extensive research on NHCs, leading to their widespread application as ligands in coordination chemistry and as highly efficient organocatalysts in numerous synthetic transformations (Cervantes-Reyes et al. 2026; Chang 2025 et al.; Guerfi et al. 2025; Wang and Yang 2026; Cruz et al. 2025; Lin and Vasam 2007; Moffett et al. 2025; Clavier and Nolan 2007; Cheng et al. 2026).

The outstanding donor properties of NHCs have established them as one of the most versatile ligand families in modern organometallic chemistry. Their strong σ-donating and relatively weak π-accepting character enables the formation of robust metal-carbon bonds with a wide range of transition metals, resulting in highly stable metal complexes. Moreover, the steric and electronic characteristics of NHC ligands can be readily tuned through modification of the nitrogen substituents and heterocyclic backbone, allowing the rational design of catalysts with tailored reactivity and selectivity. Consequently, NHC-based metal complexes have found extensive applications in homogeneous catalysis, including cross-coupling reactions, olefin metathesis, hydrogenation, hydrosilylation, and C-H bond activation. Beyond catalysis, NHC-containing complexes have also attracted increasing attention in materials science, medicinal chemistry, and small-molecule activation because of their excellent stability and highly tunable coordination properties.

In this study, a novel NHC salt, of 1-methallyl-3-(3,5-dimethoxybenzyl)benzimidazolium bromide was synthesized. The structure of the salt was characterized by NMR (^{1}H, $^{13}C\{^{1}H\}$) spectroscopy.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1 General

Synthesis of compounds was done under argon in flame-dried glassware using standard Schlenk line techniques. Chemicals and solvents were purchased from Sigma Aldrich Co. (Dorset, UK). The solvents used were purified by distillation over the drying agents indicated and were transferred under Argon. ^{1}H NMR and ^{13}C NMR spectra were recorded using a Varian As 400 Mercury spectrometer operating at 400 MHz (^{1}H), 100 MHz (^{13}C) in $CDCl_3$ with tetramethylsilane as the internal reference.

2.2. Synthesis of 1-methallyl-3-(3,5-dimethoxybenzyl)benzimidazolium bromide

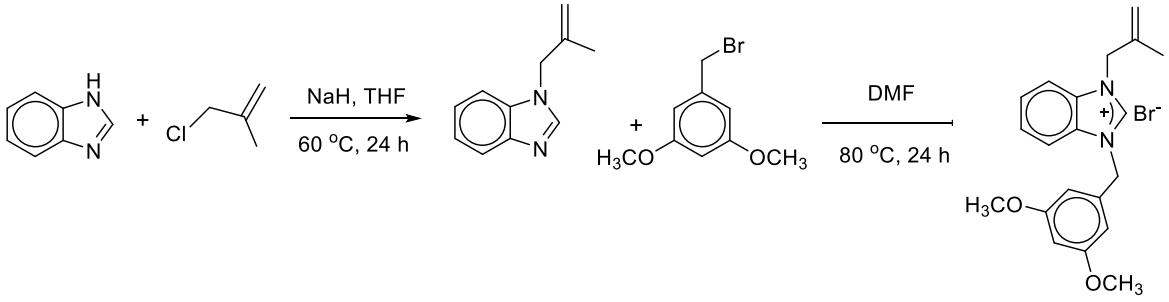
1-Methallyl-3-(3,5-dimethoxybenzyl)benzimidazolium bromide was synthesized according to the previous studies (Şahin et al. 2026). Benzimidazole (10 mmol) was dissolved in dry THF (30 mL), and NaH (10 mmol) was added to the solution. The reaction mixture was stirred at room temperature for 1 h. Subsequently, methallyl chloride (10.1 mmol) was introduced, and the resulting mixture was heated at 60 °C for 24 h. Upon completion of the reaction, the mixture was allowed to cool to room temperature, and the solvent was removed under reduced pressure. The resulting residue was dissolved in dichloromethane (50 mL), filtered to remove insoluble materials, and the filtrate was concentrated under vacuum. Purification by distillation afforded 1-methallylbenzimidazole as the intermediate product.

The obtained 1-methallylbenzimidazole (1 mmol) was then reacted with 3,5-dimethoxybenzyl bromide (1 mmol) in DMF (5 mL). The reaction mixture was stirred at 80 °C for 24 h. After completion of the reaction, the mixture was filtered, and the resulting solid was washed thoroughly with diethyl ether before being dried under reduced pressure. Finally, the crude product was purified by recrystallization from a dichloromethane/diethyl ether solvent system to afford 1-methallyl-3-(3,5-dimethoxybenzyl)benzimidazolium bromide. Yield: 79%; m.p. 198-199 ^{o}C. ^{1}H NMR (400 MHz, $CDCl_3$) δ (ppm): 1.80 (s, 3H, $NCH_2C(CH_3)CH_2$), 3.78 (s, 6H, $CH_2C_6H_3(OCH_3)_2$-3,5), 5.0 (s, 1H, $NCH_2C(CH_3)CH_2$), 5.14 (s, 1H, $NCH_2C(CH_3)CH_2$), 5.27 (s, 2H, $NCH_2C(CH_3)CH_2$), 5.81 (s, 2H, $CH_2C_6H_3(OCH_3)_2$-3,5), 6.40 (s, 1H, Ar-*H*), 6.68 (s, 2H, Ar-*H*), 7.57-7.59 (m, 2H, Ar-*H*), 7.67-7.70 (m, 2H, Ar-*H*), 11.75 (s, 1H, NC*H*N). ^{13}C{^{1}H} NMR (100 MHz, $CDCl_3$) δ (ppm): 19.8 ($CH_2C_6H_3(OCH_3)_2$-3,5), 51.5 ($CH_2C_6H_3(OCH_3)_2$-3,5), 53.6 ($NCH_2C(CH_3)CH_2$), 55.8 ($CH_2C_6H_3(OCH_3)_2$-3,5), 127.2 ($NCH_2C(CH_3)CH_2$), 134.7 ($NCH_2C(CH_3)CH_2$), 101.0, 106.3, 106.4, 113.7, 113.9, 116.3, 127.3, 131.3, 131.5, 137.3, 161.5 (Ar-*C*), 143.5 (N*C*HN).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Structural analysis of compounds

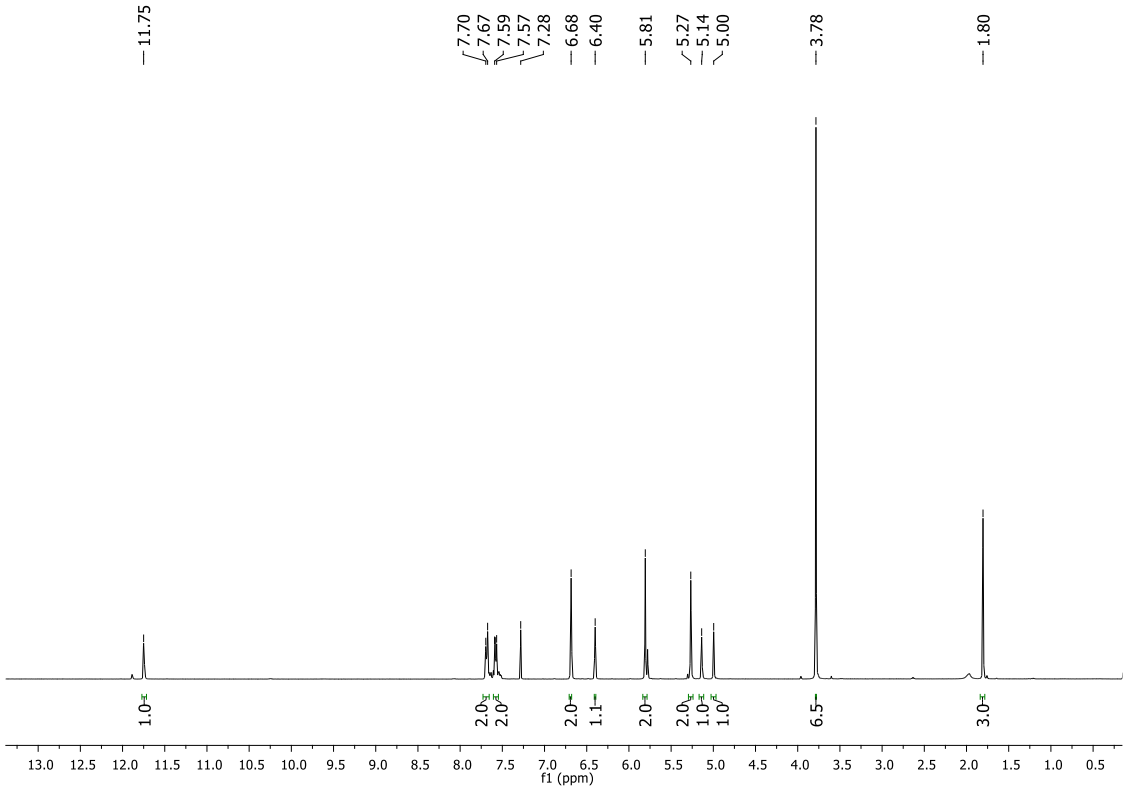
The synthesis of NHC salt was accomplished through a two-step alkylation sequence. Initially, benzimidazole was treated with NaH in THF to generate the corresponding sodium benzimidazolide intermediate. Subsequently, methallyl chloride was introduced into the reaction mixture to afford 1-methallylbenzimidazole. In the final step, the resulting intermediate underwent quaternization with 3,5-dimethoxylbenzyl bromide, yielding the target benzimidazolium salt. The overall synthetic pathway leading to the NHC salt is presented in Scheme 1**.** The molecular structure of the synthesized compound was confirmed by ^{1}H NMR and ^{13}C{^{1}H} NMR spectroscopic analyses.



Scheme 1. Synthesis of 1-methallyl-3-(3,5-dimethoxybenzyl)benzimidazolium bromide

The N-Heterocyclic carbene salt was found to be stable toward both air and moisture in the solid state as well as in solution. The compound exhibited good solubility in chlorinated solvents, including dichloromethane and chloroform, and was also readily soluble in polar organic solvents such as dimethyl sulfoxide and ethyl acetate. Structural characterization was carried out using ^{1}H NMR and $^{13}C\{^{1}H\}$ NMR spectroscopy in $CDCl_3$.

In the ^{1}H NMR spectrum, the characteristic NCHN proton resonance of NHC salt appeared as a sharp singlet at 11.75 ppm, confirming the formation of the benzimidazolium salt. The aromatic proton signals were observed at 7.67-7.70 and 7.57.7.59 ppm as multiplets, and at 6.68 and 6.40 ppm as singlets. A singlet at 5.81 ppm corresponds to the benzylic protons. The methallyl =CH_2 protons and –CH_2 protons showed singlet peaks at 5.00, 5.14 and 5.27 ppm, respectively. Proton signals associated with methoxy substituents were detected as singlets at 3.78 ppm. The methally –CH3 prptons were observed at 1.80 ppm as singlet. All spectroscopic data are consistent with those reported for structurally related benzimidazolium salts in the literature (Şahin et al. 2026). The ^{1}H NMR and $^{13}C\{^{1}H\}$ NMR spectra of the NHC salt are presented in Figure 2**.**



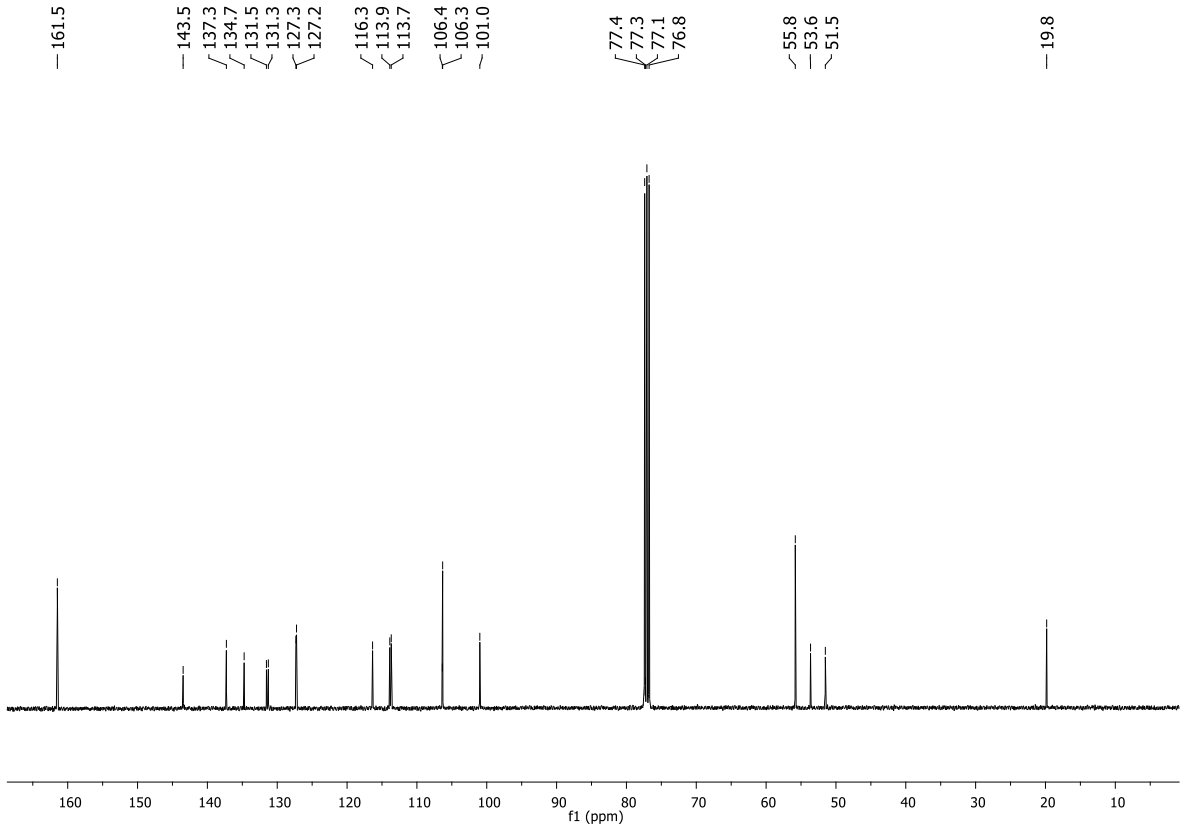


Figure 2. ^{1}H and $^{13}C\{^{1}H\}$ NMR spectrums of NHC salt

4. CONCLUSIONS

A novel N-heterocyclic carbene (NHC) precursor, 1-methallyl-3-(3,5-dimethoxybenzyl)benzimidazolium bromide**,** was successfully synthesized in this study. The molecular structure of the synthesized salt was confirmed by ^{1}H and $^{13}C\{^{1}H\}$ NMR spectroscopy, and its spectroscopic data are reported for the first time. This new NHC salt expands the library of benzimidazolium salts available for carbene chemistry. Future work will focus on the preparation of its silver(I) and palladium(II) complexes, followed by investigations of their potential applications in homogeneous catalysis and the evaluation of their biological properties, including antimicrobial and anticancer activities.

REFERENCES

Arduengo III AJ, Harlow RL, Kline M. (1991). A stable crystalline carbene. Journal of the American Chemical Society, 113(1), 361-363.

Arduengo III AJ, Dias HR, Harlow RL, Kline M. (1992). Electronic stabilization of nucleophilic carbenes. Journal of the American Chemical Society, 114(14), 5530-5534.

Arduengo AJ. (1999). Looking for stable carbenes: the difficulty in starting anew. Accounts of Chemical Research, 32(11), 913-921.

Bourissou D, Guerret O, Gabbaï FP, Bertrand G. (2000). Stable carbenes. Chemical Reviews, 100(1), 39-92.

Cervantes-Reyes, A., Malpica-Calderón, R., Valdés, H., & Morales-Morales, D. (2026). Purine-derived N-heterocyclic carbene metal complexes: catalytic applications and reactivity. *Dalton Transactions*, *55*(20), 7752-7776.
Chang, W. L., Lee, J. Y., Tsai, H. T., Lin, M. H., & Lee, H. M. (2025). Enhanced Catalytic Activities of Palladium Complexes with Nitron-Based N-Heterocyclic Carbene Ligands. *Organometallics*, *44*(20), 2466-2480.
Chen, X., Li, T., Gan, Y., Cheng, M., Tang, J., Jia, Y., ... & Szostak, M. (2026). N-heterocyclic carbene (NHC) catalysis in enzymatic organic synthesis. *Coordination chemistry reviews*, *549*, 217319.
Clavier H, Nolan SP. (2007). N-Heterocyclic carbenes: advances in transition metal-mediated transformations and organocatalysis. Annual Reports Section" B"(Organic Chemistry), 103, 193-222.
Cruz, T. F., Zobernig, D. P., Stöger, B., Pittenauer, E., & Kirchner, K. (2025). Synthesis, Characterization and Catalytic Activity of Iron, Cobalt and Nickel Complexes Bearing an N-Heterocyclic Carbene-Based PCP Pincer Ligand. *Organometallics*, *44*(11), 1217-1226.
Diez-Gonzalez S, Marion N, Nolan SP. (2009). N-heterocyclic carbenes in late transition metal catalysis. Chemical Reviews, 109(8), 3612-3676.
Guerfi, S., Berredjem, Y., Boubakri, L., Zouaghi, M. O., Mansour, L., Gürbüz, N., ... & Hamdi, N. (2025). Design, synthesis, and biological investigation of N-heterocyclic carbene–silver complexes for catalytic multicomponent coupling reactions. *Polyhedron*, 117794.
Heinemann C, Thiel W. (1994). Ab initio study on the stability of diaminocarbenes. Chemical physics letters, 217(1-2), 11-16.
Jafarpour L, Nolan SP. (2000). Transition-metal systems bearing a nucleophilic carbene ancillary ligand: from thermochemistry to catalysis. Advances in Organometallic Chemistry, 46, 181-222.
Lin IJ, Vasam CS. (2007). Preparation and application of N-heterocyclic carbene complexes of Ag (I). Coordination Chemistry Reviews, 251(5-6), 642-670.
Moffett, A. L., Beams, E. C., Zigbuo, J. D., McMillen, C. D., Chianese, A. R., & Green, K. A. (2025). An investigation of dinuclear nickel (II) complexes featuring double-bridging bis (N-heterocyclic carbene) ligands. *Inorganica Chimica Acta*, 123032.
Şahin, N., Polat, Z. A., Gülpınar, D. G., Ataş, A. D., Üstün, E., Özdemir, İ., & Sémeril, D. (2026). Silver-N-Heterocyclic Complexes Against Leishmania major: In Vitro, In Vivo and In Silico Therapeutic Activities. *Pharmaceuticals*, *19*(3), 356.
Wang, W., & Yang, J. (2026). N-Heterocyclic Carbene− PdCl2− Isoxazole Complexes: Synthesis and Catalytic Activity toward Sonogashira Coupling and Domino Sonogashira Coupling/Cyclization Reaction. *Journal of Molecular Structure*, 146712.

BENZİMİDAZOL TİPİ MOLEKÜLLERİN ANTİKANSER AKTİVİTESİNİN ARAŞTIRILMASI: MOLEKÜLER DOKİNG ÖRNEĞİ

Prof. Dr. Elvan ÜSTÜN
Ordu University, Faculty of Science and Art, Department of Chemistry, 52200 Altınordu, Ordu
ORCID ID: 0000-0002-0587-7261
Prof. Dr. Neslihan ŞAHİN
Malatya Turgut Özal University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Engineering Basic Sciences, 44900, Malatya, Türkiye
Cumhuriyet University, Faculty of Education, Department of Science Education, 58040, Sivas
ORCID: 0000-0003-1498-4170

ÖZET

N-heterosiklik karbenler (NHC'ler), ilk sentezlerinden bu yana yapısal ve fizikokimyasal özellikleri kapsamlı bir şekilde araştırılmış çok yönlü bir bileşik sınıfıdır. Güçlü σ-verici yetenekleri, nötr karakterleri ve elektronca zengin yapıları nedeniyle NHC'ler kolayca sentezlenebilir ve kolayca modifiye edilebilir, bu da onları kimyanın çeşitli alanlarında oldukça çekici ligandlar haline getirmektedir. Benzimidazoller, en önemli NHC türevi molekül ailelerinden biridir. Moleküler doking, biyolojik aktivite değerlendirmesi ve ilaç tasarımı çalışmalarında yaygın olarak kullanılan bir hesaplama yaklaşımı haline gelmiştir. Çok sayıda çalışmada, deneysel bulgular moleküler kenetlenme gibi hesaplama teknikleriyle tamamlanmakta ve desteklenmektedir. Dahası, moleküler kenetlenme, bileşiklerin farklı biyolojik hedeflere karşı değerlendirilmesini kolaylaştırarak gelecekteki araştırmalara değerli bilgiler sağlamaktadır. Tedavi stratejilerindeki önemli ilerlemelere rağmen, kanser önde gelen küresel sağlık sorunlarından biri olmaya devam etmektedir. Önceki çalışmalar, antikanser ajanların etkilerini kanser türüne bağlı olarak çeşitli mekanizmalar aracılığıyla gösterdiğini ortaya koymuştur. VEGF reseptörleri aracılığıyla gerçekleşen vasküler endotelyal büyüme faktörü (VEGF) sinyallemesi, hücre büyümesi, kanser hücresi proliferasyonu ve metastazda kritik bir rol oynamaktadır. Bu reseptörler arasında, vasküler endotelyal büyüme faktörü reseptör-2 (VEGFR-2) özellikle tiroid, kolorektal ve meme kanserlerinde rol oynamaktadır. Bu nedenle, VEGFR-2 uygun bir terapötik hedef olarak ortaya çıkmış ve inhibisyonu kanser tedavisi için umut vadeden bir strateji olarak değerlendirilmiştir. Bu çalışmada, daha önce karakterize edilmiş bileşikler olan 1-izopropil-3-(2-metilbenzil)-5,6-dimetilbenzimidazolium klorür ve 1-izopropil-3-(3-metilbenzil)-5,6-dimetilbenzimidazolium klorür, moleküler doking yöntemiyle olası antikanser aktivitesine dair fikir edinmek amacıyla analiz edilmiştir.

Anahtar kelimeler: benzimidazol, molecular doking, antikanser, VEGFR-2

INVESTIGATION OF THE ANTICANCER ACTIVITY OF BENZIMIDAZOLE-TYPE MOLECULES: A MOLECULAR DOKING STUDY

ABSTRACT

N-Heterocyclic carbenes (NHCs) constitute a versatile class of compounds whose structural and physicochemical properties have been extensively investigated since their first synthesis. Owing to their strong σ-donor ability, neutral character, and electron-rich nature, NHCs are readily synthesized and can be easily modified, making them highly attractive ligands in various fields of chemistry. Benzimidazoles, one of the most important NHC derivative molecules family. Molecular docking has become a widely employed computational approach in bioactivity assessment and drug design studies. In numerous reports, experimental findings are complemented and supported by computational techniques such as molecular docking. Moreover, molecular docking provides valuable insights into future research by facilitating the evaluation of compounds against different biological targets. Despite considerable advances in treatment strategies, cancer remains one of the leading global health challenges. Previous studies have demonstrated that anticancer agents exert their effects through diverse mechanisms depending on the type of cancer. Vascular endothelial growth factor (VEGF) signaling, mediated through VEGF receptors, plays a crucial role in cell growth, cancer cell proliferation, and metastasis. Among these receptors, vascular endothelial growth factor receptor-2 (VEGFR-2) is particularly implicated in thyroid, colorectal, and breast cancers. Therefore, VEGFR-2 has emerged as an attractive therapeutic target, and its inhibition represents a promising strategy for cancer treatment. In this study, previously characterized compounds, namely 1-isopropyl-3-(2-methylbenzyl)-5,6-dimethylbenzimidazolium chloride and 1-isopropyl-3-(3-methylbenzyl)-5,6-dimethylbenzimidazolium chloride, were analyzed for getting insight into the possible anticancer activity with molecular docking method.

Keywords: benzimidazoles, molecular docking, anticancer, VEGFR-2

1. INTRODUCTION

The development of NHC chemistry dates to the pioneering studies of Wanzlick and Öfele in the 1960s, although the field advanced significantly following the isolation of the first stable free carbene by Arduengo and co-workers in 1991 (Wanzlick and Schönherr, 1968; Öfele, 1968; Arduengo et al. 1991). Structurally, NHCs consist of a divalent carbene carbon atom stabilized by two adjacent nitrogen atoms within a heterocyclic framework. Consequently, NHCs have become fundamental building blocks for the design of efficient, robust, and highly active molecules.

One of the most significant advantages of NHC ligands is their exceptional structural tunability. Modifications of the substituents, particularly those attached to the nitrogen atoms, allow fine control over the electronic and steric properties, lipophilicity, and overall reactivity of the ligands (Nesterov et al. 2018). This high degree of synthetic flexibility has enabled them to use homogeneous catalysis and medicinal chemistry.

Benzimidazole which is an important member of NHC family is a privileged heterocyclic scaffold composed of a benzene ring fused to an imidazole ring (Üstün and Şahin, 2022). As a five-membered nitrogen-containing heterocycle, benzimidazole is a key structural motif in numerous biologically active synthetic and naturally occurring compounds and has attracted considerable attention in medicinal chemistry because of its broad spectrum of biological activities (Gaba and Mohan, 2016). The remarkable pharmacological potential of benzimidazole derivatives has encouraged extensive efforts toward the development of novel chemotherapeutic agents (Brishty et al. 2021). 5,6-dimethylbenzimidazole constitutes a metabolically important component of vitamin B_{12}, highlighting the biological significance of benzimidazole-based structures (Karaca et al. 2026). The benzimidazole nucleus can readily interact with biological macromolecules, including proteins and nucleic acids, thereby contributing to its diverse pharmacological properties (Abu-Dief et al. 2024). Consequently, the benzimidazole framework has become an important pharmacophore in drug discovery and has been incorporated into compounds exhibiting a wide range of therapeutic activities, such as antitumor (Gursoy and Ersan, 2024), antibacterial (Bishop et al. 1964), antihistaminic (Hernández-López et al. 2022), antioxidant (Çelebi et al. 2025), antihypertensive (Gaba and Mohan, 2016), and anticoagulant (Çelik et al. 2022).

Angiogenesis, the process by which new blood vessels develop from pre-existing vasculature, is essential for normal physiological events such as tissue growth, embryonic development, and wound healing (Auerbach and Auerbach, 1994). Nevertheless, dysregulated or excessive angiogenesis has been implicated in the progression of numerous pathological conditions, particularly cancer, where it promotes tumor growth, invasion, and metastasis (Weidner, 1993). Consequently, targeting the molecular pathways that regulate angiogenesis has emerged as a promising therapeutic strategy for cancer treatment. Among the key regulators of this process is Vascular Endothelial Growth Factor (VEGF), a signaling protein that stimulates the proliferation, migration, and survival of vascular endothelial cells (Chung and Ferrara, 2011). The biological effects of VEGF are mediated through its receptors, Vascular Endothelial Growth Factor Receptors (VEGFRs), which comprise three structurally related tyrosine kinase

receptors: VEGFR-1, VEGFR-2, and VEGFR-3. Of these, VEGFR-2 is the principal mediator of VEGF-induced angiogenic signaling and plays a central role in both physiological and pathological angiogenesis (Matulonis et al. 2009). Numerous studies have demonstrated that VEGFR-2 is overexpressed in several malignancies, including breast, colorectal, ovarian, and thyroid cancers (Senge, 2009). Owing to its pivotal role in tumor-associated angiogenesis, VEGFR-2 has become an attractive molecular target for anticancer drug development, and considerable research efforts have been devoted to the discovery of novel VEGFR-2 inhibitors (Abdel-Mohsen et al. 2020).

In this study, previously synthesized and characterized 1-isopropyl-3-(2-methylbenzyl)-5,6-dimethylbenzimidazolium chloride (**1a**) (Üstün and Şahin, 2024) and 1-isopropyl-3-(3-methylbenzyl)-5,6-dimethylbenzimidazolium chloride (**1b**) (Üstün et al.2025) molecules (Fig. 1) were optimized with DFT-based methods and the interaction of these molecules were evaluated against VEGFR-2 for getting insight into the possible anticancer activity.

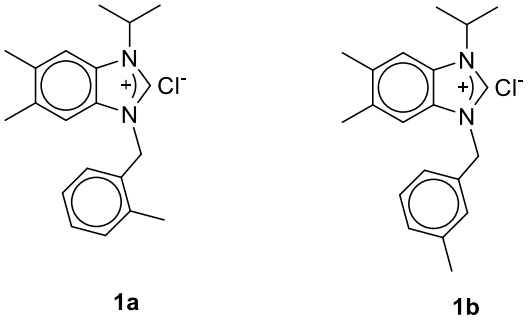


Figure 1. The structures of **1a** and **1b**

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Molecular Docking Method

All the molecular docking performances were carried out with AutodockTools (Huey et al. 2011) against Vegfr-2 (pdb: 1ywn) (Miyazaki et al. 2005) which was downloaded RCSB protein data bank (https://www.rcsb.org/). The target molecules were saved as pdbqt format with Kollman charges with the polar hydrogens and without water molecules. The benzimidazole type molecules were also recorded in pdbqt format with Gasteiger charges. The performances were carried out with Lamarckian Genetic Algorithms with the random positions of the small molecules (Üstün et al, 2023). All the visualizations were prepared by Discovery Studio 4.1.0.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Molecular docking has become an indispensable computational approach in drug discovery and bioactivity evaluation due to its ability to predict ligand–target interactions at the molecular level. It is widely employed alongside experimental investigations to provide mechanistic insights into the binding behavior of biologically active compounds with proteins, enzymes, and other macromolecular targets. In addition to complementing conventional experimental techniques, molecular docking facilitates the identification of novel biological targets and helps guide the rational design of new therapeutic agents (Nivatya et al, 2025).

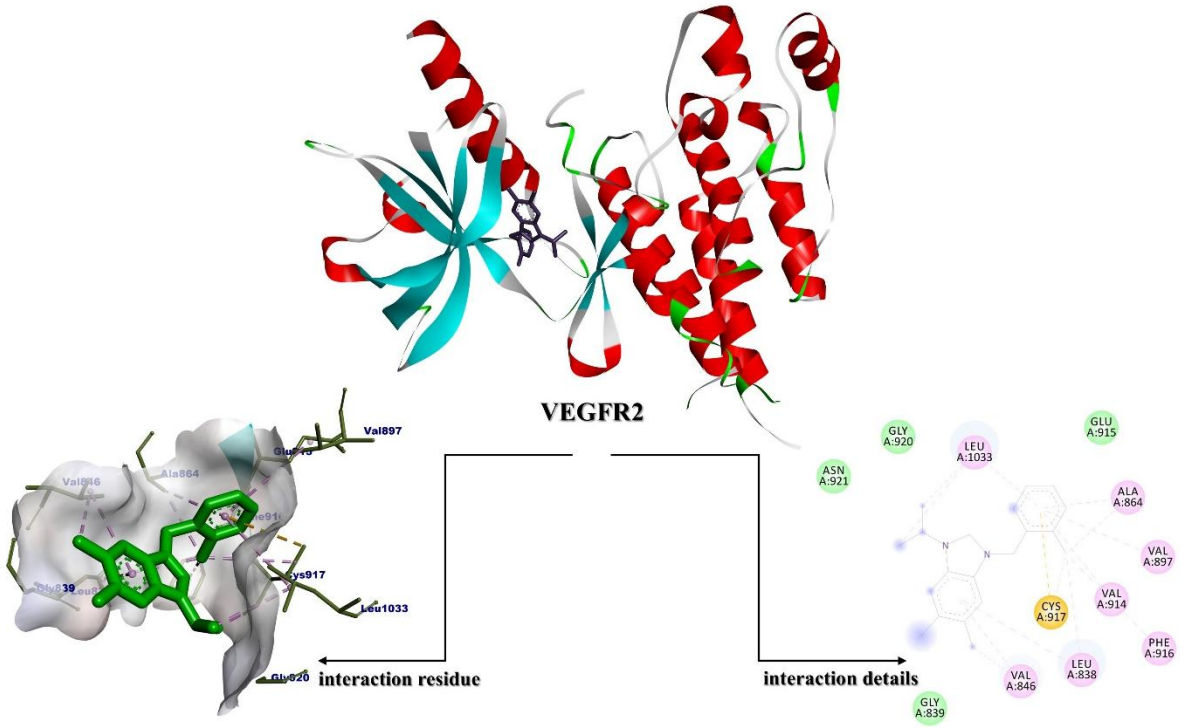


Figure 2. Interaction details and interaction residue of **1a** against VEGFR2

Cancer progression is regulated through multiple signaling pathways, and the efficacy of anticancer agents often depends on their ability to interfere with specific molecular mechanisms. One of the most important pathways involves vascular endothelial growth factor (VEGF) signaling, which regulates angiogenesis, tumor cell proliferation, and metastatic progression through activation of VEGF receptors. Among these receptors, vascular endothelial growth factor receptor-2 (VEGFR-2) plays a central role in the development and progression of several malignancies, including breast, colorectal, and thyroid cancers. Because VEGFR-2 is a key mediator of tumor angiogenesis, its inhibition has emerged as an attractive

therapeutic strategy, making it a widely investigated molecular target in anticancer drug discovery (Shah et al. 2025).

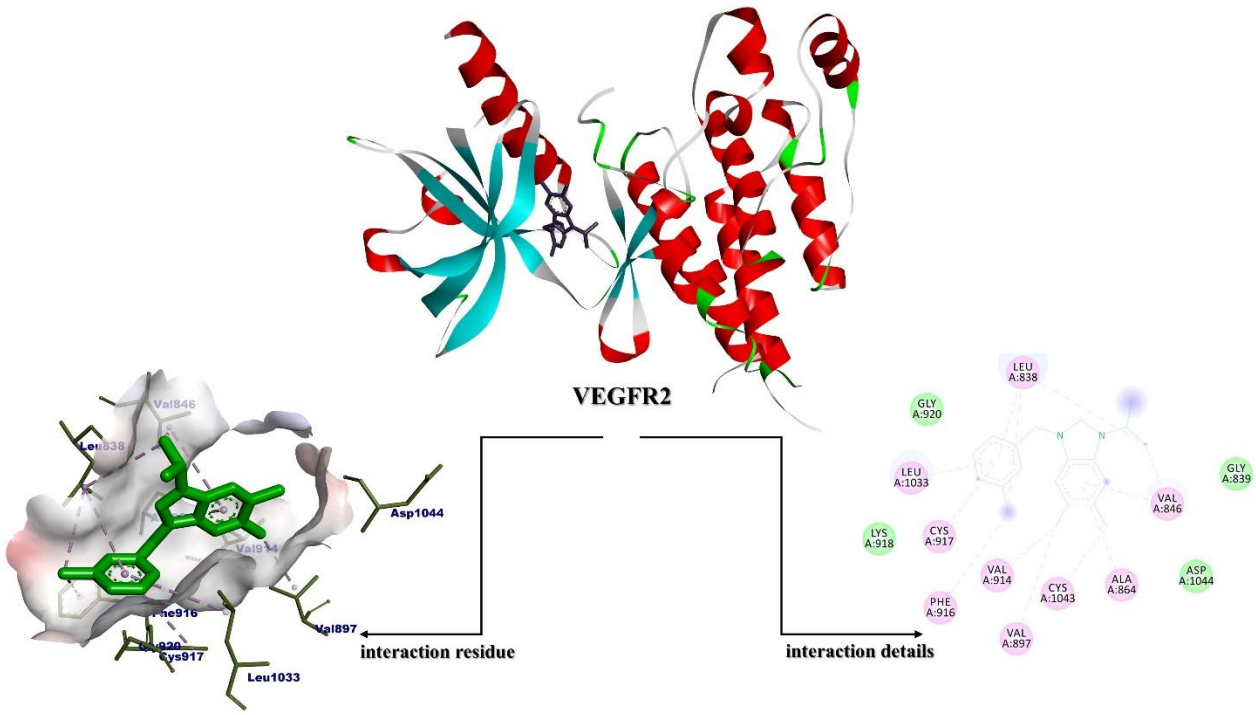


Figure 3. Interaction details and interaction residue of **1b** against VEGFR2

Table 1. Interaction details of the molecules against VEGFR2 (*: Binding Activity)

Molecules	BA*	Amino Acids Residue
1a	-5.73	Cys917 (pi-interaction), Leu838, Val846, Ala864, Val897, Val914, Phe916, Leu1033 (alkylic interactions), Gly839, Glu915, Gly920, Asn921 (van der Waals interactions)
1b	-5.83	Leu838, Val846, Ala864, Val897, Val914, Phe916, Cys917, Leu1033, Cys1043 (alkylic interactions), Gly839, Lys918, Gly920, Asp1044 (van der Waals interactions)

In this study, **1a** has interacted with the region that formed by Cys917, Leu838, Val846, Ala864, Val897, Val914, Phe916, Leu1033, Gly839, Glu915, Gly920, and Asn921 amino acids of VEGFR-2 with the binding energy of -5.73 kcal/mol. Effective alkyl and pi-alkyl interactions were noted, while no H-bond interaction was detected. Although it is not high enough, van der Waals interactions have been noted for **1a** with Gly839, Glu915, Gly920, and Asn921. **1b**, interacted with the same region of VEGFR-2 with -5.83 kcal/mol binding energy. While the **1b** molecule represented alkylic interactions with Leu838, Val846, Ala864, Val897, Val914, Phe916, Cys917, Leu1033, Cys1043, van der Waals interactions between

benzimidazole ring of the molecule and Gly839, Lys918, Gly920, Asp1044 were recorded. (Table 1, Fig. 2, and Fig. 3).

4. CONCLUSIONS

In this study, previously synthesized and characterized two benzimidazole type NHC salt molecules were optimized with DFT-based methods, and the interaction of these molecules were evaluated against VEGFR-2 for getting insight into the possible anticancer activity. The better binding affinity was determined for **1b** with alkylic interactions through Leu838, Val846, Ala864, Val897, Val914, Phe916, Cys917, Leu1033, Cys1043. According to the results, 1b could be more active against VEGFR2 and show better anticancer activity.

REFERENCES

Abdel-Mohsen, H.T., Abdullaziz, M.A., Kerdawy, A.M.E., Ragab, F.A., Flanagan, K.J., Mahmoud, A.E., Senge, M.O., Targeting Receptor Tyrosine Kinase VEGFR-2 in Hepatocellular Cancer: Rational Design, Synthesis and Biological Evaluation of 1, 2Disubstituted Benzimidazoles, Molecules, 25(4), 770, 1-37, 2020.

Abu-Dief, A. M., El-Khatib, R. M., El-Dabea, T., Feizi-Dehnayebi, M., Barnawi, I. O., Alsehli, A. H., ... & El-Remaily, M. A. E. A. A. A. (2024). Design, preparation, physicochemical characterization, structural conformational, biological evaluation, and DNA interaction for some new benzimidazole complexes. Applied Organometallic Chemistry, 38(3), e7358.

Arduengo III, A. J., Harlow, R. L., & Kline, M. (1991). A stable crystalline carbene. *Journal of the American Chemical society*, *113*(1), 361-363.

Auerbach, W., Auerbach, R., Angiogenesis inhibition: a review, Pharmacology & Therapeutics, 63(3), 265-311, 1994.

Bishop, B. C., Chelton, E. T. J., & Jones, A. S. (1964). The antibacterial activity of some fluorine-containing benzimidazoles. Biochemical Pharmacology, 13(5), 751-754.

Brishty, S. R., Hossain, M. J., Khandaker, M. U., Faruque, M. R. I., Osman, H., & Rahman, S. A. (2021). A comprehensive account on recent progress in pharmacological activities of benzimidazole derivatives. Frontiers in pharmacology, 12, 762807.

Çelebi, M. S., Ayvaz, M. Ç., Şakar, D., Üstün, E., & Ertürk, Ö. (2025). Novel manganese tricarbonyl complexes with benzimidazole ligands: Investigation of CO-releasing, antioxidant, antibacterial, zeta potential, theoretical, and electrochemical properties. Inorganica Chimica Acta, 585, 122752.

Celik, C., Üstün, E., Şahin, N., & Tutar, U. (2022). Antimicrobial and antibiofilm activities and bovine serum albumin binding properties of benzimidazolium derivative NHC salts and their Ag (I)-NHC complexes. Applied Organometallic Chemistry, 36(12), e6891.

Chung, A.S., Ferrara, N., Developmental and pathological angiogenesis, Annual Review of Cell and Developmental Biology, 27, 563-584, 2011.

Gaba, M., & Mohan, C. (2016). Development of drugs based on imidazole and benzimidazole bioactive heterocycles: recent advances and future directions. Medicinal Chemistry Research, 25(2), 173-210.

Gursoy, S., & Ersan, R. H. (2024). Diaryl-substituted benzimidazole derivatives as antiproliferative agents: design, synthesis, in vitro activity, and SAR analysis. Journal of Molecular Structure, 1308, 137960.

Hernández-López, H., Tejada-Rodríguez, C. J., & Leyva-Ramos, S. (2022). A panoramic review of benzimidazole derivatives and their potential biological activity. Mini Reviews in Medicinal Chemistry, 22(9), 1268-1280.

Huey, R., Morris, G. M., & Forli, S. (2011). Using AutoDock 4 and Vina with AutoDockTools: a tutorial. Scripps Research Institute, California, USA.

Karaca, E. Ö., Önder, B., Tayar, M., Gürbüz, N., & Özdemir, İ. (2026). Synthesis, characterization and A3-coupling activity of novel Ag-NHC complexes bearing a 5, 6-dimethylbenzimidazole core. Journal of Molecular Structure, 146370.
Matulonis, U.A., Berlin, S., Ivy, P., Tyburski, K., Krasner, C., Zarwan, C., Lee, H., Cediranib, An oral inhibitor of vascular endothelial growth factor receptor kinases, is an active drug in recurrent epithelial ovarian, fallopian tube, and peritoneal cancer, Journal of clinical oncology, 27(33), 5601-5606, 2009.
Miyazaki, Y., Matsunaga, S., Tang, J., Maeda, Y., Nakano, M., Philippe, R. J., ... & Nolte, R. T. (2005). Novel 4-amino-furo [2, 3-d] pyrimidines as Tie-2 and VEGFR2 dual inhibitors. Bioorganic & medicinal chemistry letters, 15(9), 2203-2207.
Nesterov, V., Reiter, D., Bag, P., Frisch, P., Holzner, R., Porzelt, A., & Inoue, S. (2018). NHCs in main group chemistry. Chemical reviews, 118(19), 9678-9842.
Nivatya, H. K., Singh, A., Kumar, N., Sonam, Sharma, L., Singh, V., ... & Mishra, A. K. (2025). Assessing molecular docking tools: understanding drug discovery and design. Future Journal of Pharmaceutical Sciences, 11(1), 111.
Öfele, K. (1968). 1, 3-Dimethyl-4-imidazolinyliden-(2)-pentacarbonylchrom ein neuer bergangsmetall-carben-komplex. Journal of Organometallic Chemistry, 12(3), P42-P43.
Shah, F. H., Nam, Y. S., Bang, J. Y., Hwang, I. S., Kim, D. H., Ki, M., & Lee, H. W. (2025). Targeting vascular endothelial growth receptor-2 (VEGFR-2): structural biology, functional insights, and therapeutic resistance. Archives of Pharmacal Research, 48(5), 404-425.
Üstün, E., & Şahin, N. (2022). Density functional theory and molecular docking analysis of newly synthesized and characterized benzimidazolium salts. Ordu Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 12(1), 52-63.
Üstün, E., & Şahin, N. (2024). Insight into the effect of Ca2+, Mg2+ and Zn2+ on serum albumin interaction of benzimidazole-type new isopropyl substituted N-heterocyclic carbene molecules. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, 447, 115282.
Üstün, E., Şahin, N., & Sémeril, D. (2025). DNA and BSA Binding, Molecular Docking Interactions and ADMET Properties of New PEPPSI-Type Palladium Complexes. Inorganics, 13(12), 391.
Üstün, E., Şahin, N., Özdemir, İ., Günal, S., Gürbüz, N., Özdemir, İ., & Semeril, D. (2023). Design, synthesis, antimicrobial activity and molecular docking study of cationic bis-benzimidazole-silver (I) complexes. Archiv der Pharmazie, 356(10), 2300302.
Wanzlick, H. W., & Schönherr, H. J. (1968). Direct synthesis of a mercury salt-carbene complex. *Angewandte Chemie International Edition in English*, *7*(2), 141-142.
Weidner, N., Tumor angiogenesis: review of current applications in tumor prognostication, In Seminars in Diagnostic Pathology, 10(4), 302-313, 1993.

DNA MARKERS-BASED ASSESSMENT OF INFRASPECIFIC GENETIC VARIATION IN SUNFLOWER GENOTYPES

Seyed Mehdi Talebi [1 *], Kimiya Anjomani [1]
[1] Department of Biology, Faculty of Science, Arak University, Arak, Iran

Abstract:

Understanding genetic diversity and population structure in sunflower cultivars is essential for germplasm conservation and the development of improved breeding strategies. The present study aimed to evaluate genetic diversity, polymorphism, and population structure among oilseed and non-oilseed sunflower (*Helianthus annuus* L.) cultivars using ISSR molecular markers. A total of 15 sunflower cultivars were analyzed using ISSR markers following genomic DNA extraction by the CTAB method. Amplified bands were scored as binary data, and genetic diversity analyses were performed using GenAlex, PopGene, STRUCTURE, and GenoDive software. Considerable genetic variation was detected among cultivars. Subaru cultivar exhibited the highest genetic diversity, whereas Suzuka cultivar showed the lowest diversity levels. Private alleles were identified in Subaru, Shamshiri, Shams, and Shq7 cultivars. Principal Coordinate Analysis confirmed broad genetic dispersion in Subaru and high uniformity in Suzuka cultivars. AMOVA revealed significant genetic differentiation, with 56% of total variation distributed among cultivars and 44% within cultivars. STRUCTURE analysis identified five major genetic groups with evidence of admixture among several cultivars. Cluster and heatmap analyses further demonstrated variable levels of genetic divergence and within-cultivar uniformity. The findings demonstrated that ISSR markers are effective tools for evaluating genetic diversity and population structure in sunflower cultivars. Non-oilseed cultivars exhibited comparatively higher genetic divergence, and highly distinct cultivars such as Subaru and Shq7 may represent valuable genetic resources for future sunflower breeding programs aimed at improving genetic diversity, stress tolerance, and environmental adaptability.

Keywords: *Helianthus annuus*; ISSR markers; genetic diversity; population structure; germplasm; sunflower breeding

BRONZ YAPILAR VE VISHNEVSKII OPERATÖRÜ ÜZERİNE

Rabia ÇAKAN AKPINAR
Kafkas University, Faculty of Science and Letters, Department of Mathematics, Kars, Turkey
ORCID: 0000-0001-9885-6373

ÖZET

Metalik yapılar, ikinci dereceden polinom özdeşliklerini sağlayan tensör alanları olarak diferansiyel geometride klasik geometrik yapıların genelleştirilmesine yönelik önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır. Bu yapıların farklı üyeleri, sahip oldukları cebirsel özellikler sayesinde Riemann manifoldları üzerinde yeni geometrik ilişkilerin kurulmasına ve çeşitli tensöryel operatörlerin incelenmesine olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada, metalik yapı ailesinin $\mathrm{B}^2 = 3\mathrm{B} + I$ özdeşliğini sağlayan özel bir elemanı olan bronz yapı ele alınmıştır. İlk olarak, bronz yapı ile ilişkili hemen hemen çarpım yapı arasındaki cebirsel dönüşüm bağıntıları incelenmiş ve bu iki yapının birbirini karşılıklı olarak belirlediği gösterilmiştir. Ardından, bronz yapı ile uyumlu bir Riemann metriğinin pür olma koşulu araştırılarak, bu özelliğin ilişkili hemen hemen çarpım yapı bakımından pür olma koşuluna eşdeğer olduğu ispatlanmıştır. Ayrıca, bronz yapı ve ilişkili hemen hemen çarpım yapı tarafından indirgenen Vishnevskii operatörleri arasındaki analitik ilişki elde edilmiştir. Çalışmanın son bölümünde bronz yapı tanjant demete taşınmış, Vishnevskii operatörünün yatay ve dikey liftler altındaki bileşenleri açık biçimde hesaplanmış ve operatörün tanjant demet üzerindeki davranışı ayrıntılı olarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, bronz yapıların geometrik özelliklerinin daha kapsamlı biçimde anlaşılmasına katkı sağlamakta ve metalik yapı ailesinin diğer üyeleri üzerinde gerçekleştirilecek araştırmalar için uygulanabilir bir yöntem ve genel bir yaklaşım sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Bronz yapı, metalik yapı, hemen hemen çarpım yapı, Vishnevskii operatörü, tanjant demet

ON BRONZE STRUCTURES AND THE VISHNEVSKII OPERATOR

ABSTRACT

Metallic structures, as tensor fields satisfying second-order polynomial identities, constitute an important area of research in differential geometry for the generalization of classical geometric structures. Owing to their algebraic properties, different members of this family provide a natural framework for establishing new geometric relationships on Riemannian manifolds and for investigating various tensorial operators. In this study, the bronze structure, which is a distinguished member of the metallic structure family satisfying the polynomial identity $\mathrm{B}^2 =$

$3\mathrm{B}+I$, is investigated. First, the algebraic transformation relations between the bronze structure and its associated almost product structure are established, and it is shown that these two structures determine each other uniquely. Next, the purity condition of a Riemannian metric compatible with the bronze structure is examined, and it is proved to be equivalent to the purity condition with respect to the associated almost product structure. Furthermore, the analytical relationship between the Vishnevskii operators induced by the bronze structure and the associated almost product structure is obtained. In the final part of the paper, the bronze structure is lifted to the tangent bundle, where the horizontal and vertical components of the Vishnevskii operator are explicitly computed and its behavior on the tangent bundle is investigated in detail. The obtained results contribute to a deeper understanding of the geometric properties of bronze structures and provide an effective framework and a general methodology for future investigations of other members of the metallic structure family.

Keywords: Bronze structure, metallic structure, almost product structure, Vishnevskii operator, tangent bundle.

1. GİRİŞ

İkinci dereceden denklemlerle belirlenen polinom yapılar, zengin cebirsel ve geometrik sonuçları nedeniyle diferansiyel geometri alanında önemli ölçüde ilgi görmüştür. Bu doğrultuda geliştirilen en sistematik çerçevelerden biri, Spinadel (Spinadel, 1999; Spinadel 2002) tarafından tanıtılan metalik oran ailesidir. Bu aile,

$$x^2 - qx - r = 0$$

denkleminin reel parametreler q ve r için pozitif ikinci dereceden irrasyonel çözümlerinden oluşmaktadır. Bu sayılar, altın oran ve bronz oran gibi klasik oranların genelleştirilmiş biçimlerini kapsamakta ve geometrik yapıların inşası için birleştirici bir cebirsel çerçeve sunmaktadır. Söz konusu cebirsel çerçeveden hareketle Hretcanu ve Crasmareanu (Hretcanu ve Crasmareanu, 2013), diferansiyellenebilir manifoldlar üzerinde metalik yapı kavramını ortaya koymuşlardır. Bir metalik yapı,

$$\mathrm{B}^2 = q\mathrm{B} + \mathrm{rI}$$

polinom özdeşliğini sağlayan $(1,1)$ −tipli bir tensör alanı B ile tanımlanır; burada I, özdeşlik tensör alanını ifade etmektedir.

Metalik ailenin geometrik açıdan özel ve önemli bir elemanı, $q = 3$ ve $r = 1$ durumuna karşılık gelmektedir. Bu durumda tensör alanı

$$\mathrm{B}^2 = 3\mathrm{B} + \mathrm{I}$$

polinom eşitliğini sağlar ve buna karşılık gelen cebirsel sabit, $x^2 - 3x - 1 = 0$ denkleminin pozitif kökü olan bronz orandır. Bu özel durum *bronz yapı* olarak adlandırılmaktadır (Akpınar, 2020).

2. MATERYAL VE METOD

Bir Riemann metrik g, $g(\mathrm{B}X, Y) = g(X, \mathrm{B}Y)$ eşitliğini sağladığı takdirde bronz yapı B ile uyumlu kabul edilir ve bu durumda (M, g, B) üçlüsü bir *Bronz Riemann manifold* olarak adlandırılır (Akpınar, 2020). Bu uyumluluk, metriğin ilgili yapı açısından pür olmasını sağlar; bu özelliği taşıyan Riemann metrikler ise pür metrik olarak nitelendirilmektedir (Iscan ve Salimov, 2009).

(M, g), hemen hemen çarpım yapı P yi taşıyan bir Riemann manifold ise, elde edilen (M, g, P) üçlüsü hemen hemen çarpım Riemann manifold olarak tanımlanır. Bir hemen hemen çarpım Riemann manifold, $P^2 = I$ özelliğini sağlayan $(1,1)$ $-$tip bir tensör alanı P ile tanımlanır ve bu yapı, $g(\mathrm{P}X, Y) = g(X, \mathrm{P}Y)$ koşulunu tüm X, Y vektör alanları için sağlar; burada g ilgili Riemann metriğini göstermektedir (Kon ve Yano, 1985).

M, C^∞ sınıfına ait n $-$boyutlu diferansiyellenebilir bir manifold ve T_pM, $p \in M$ noktasındaki tanjant uzayı olmak üzere

$$T(M) = \bigcup_{p \in M} T_p(M)$$

şeklinde tanımlanan kümeye M üzerinde tanjant demet adı verilir. $T(M)$ üzerindeki her $\tilde{p} = (p, v)$ elemanını taban manifold M'deki p noktasına eşleyen

$$\begin{array}{rccc} \pi: & T(M) & \to & M \\ & \tilde{p} & \to & \pi(\tilde{p}) = p \end{array}$$

dönüşüm demet projeksiyonu olarak adlandırılır. Bu projeksiyon, tanjant demetin M üzerindeki doğal demet yapısını ifade eder. $\pi^{-1}(p) = T(M)$ kümesine ise M baz manifoldunun p noktasındaki fibresi denir. M üzerinde tanımlı $U \subset M$ açık kümesinde $\left(U, x^i\right)$ yerel koordinat sistemi, tanjant demet $T(M)$ de $\pi^{-1}(U)$ üzerinde $\left(x^i, y^i\right), i = 1, \ldots, n$ koordinat sistemine indirgenir. Bu bağlamda y^i değişkenleri, her $p \in M$ noktası için $T_p(M)$ tanjant uzayında doğal baza göre belirlenen kartezyen koordinatları temsil eder. $Y = Y^i \frac{\partial}{\partial x^i}$, U üzerinde tanımlı bir vektör alanının yerel ifadesi olsun. Buna göre, Y vektör alanının tanjant demet $T(M)$ üzerindeki dikey (vertical) ve yatay (horizontal) liftleri, indirgenmiş koordinatlar yardımıyla aşağıdaki biçimde ifade edilir:

$$^{V}Y = \left(0, Y^i\right), \quad ^{H}Y = \left(Y^i, -Y^s y^t \Gamma^i_{ts}\right)$$

şeklinde tanımlanır. Burada Γ_{ts}^{i} metrik g nin Levi–Civita konneksiyonuna ait Christoffel sembolleridir (Yano ve Ishihara, 1973).

Önerme 2.1: Herhangi $X, Y \in \Im_0^1(M)$ için M manifoldundaki bir afin konneksiyon ∇ nın tanjant demet $T(M)$ deki yatay lifti ${}^{H}\nabla$ aşağıdaki durumlara göre tanımlanır (Yano ve Ishihara, 1973):

$$ {}^{H}\nabla_{{}^{V}\mathrm{X}}\,{}^{V}\mathrm{Y} = 0, \qquad {}^{H}\nabla_{{}^{V}\mathrm{X}}\,{}^{H}\mathrm{Y} = 0$$
$$ {}^{H}\nabla_{{}^{H}\mathrm{X}}\,{}^{V}\mathrm{Y} = {}^{V}(\nabla_X Y), \quad {}^{H}\nabla_{{}^{H}\mathrm{X}}\,{}^{H}\mathrm{Y} = {}^{H}(\nabla_X Y).$$

Tanım 2.2: $\varphi \in \Im_1^1(M)$, $(1,1)$ $-$tipli bir tensör alanı ve $\Im(M) = \sum_{r,s=0}^{\infty} \Im_s^r(M)$ de , $\mathbb{R}$ üzerinde bir tensör cebiri olsun. $\psi_\varphi : \overset{*}{\Im}(M) \to \Im(M)$ dönüşümü aşağıdaki koşulları sağladığı takdirde $\Im(M)$ üzerinde bir Vishnevskii operatörü (veya ψ_φ $-$operatörü) olarak adlandırılır (Salimov, 2013):

a) ψ_φ, sabit katsayılara göre lineerdir,

b) Her r ve s için $\psi_\varphi : \overset{*}{\Im}_s^r(M) \to \Im_{s+1}^r(M)$,

c) Her $K, L \in \overset{*}{\Im}(M)$ için $\psi_\varphi\left(K \overset{C}{\otimes} L\right) = \left(\psi_\varphi K\right) \overset{C}{\otimes} L + K \overset{C}{\otimes} \left(\psi_\varphi L\right)$

d) Herhangi $X, Y \in \Im_0^1(M)$ için $\psi_{\varphi X} Y = \nabla_{\varphi X} Y - \varphi(\nabla_X Y)$,

e) $\iota_Y \omega = \omega(Y) = \omega \overset{C}{\otimes} Y$ olmak üzere her $X, Y \in \Im_0^1(M)$, $\omega \in \Im_1^0(M)$ için $\psi_{\varphi X}(\iota_Y \omega) = (\varphi X)(\iota_Y \omega) - X(\iota_{\varphi Y} \omega)$ dir. Burada $\overset{*}{\Im}_s^r(M)$, φ afinor alanına göre M üzerindeki (r,s) tipli bütün pür tensör alanlarının modülüdür.

3. BULGULAR

Önerme 3.1: Eğer B, M üzerinde bir bronz yapı ise, buna karşılık gelen yapı

$$P = \pm \frac{1}{\sqrt{13}} (2\mathrm{B} - 3I)$$

M üzerinde bir hemen hemen çarpım yapı oluşturur. Buna karşılık olarak, M üzerinde tanımlı her hemen hemen çarpım yapı P, aşağıdaki ifadelerle tanımlanan iki farklı bronz yapı meydana getirir (Akpınar, 2020):

$$\mathrm{B}_1 = \frac{1}{2}\left(3I + \sqrt{13}P\right), \quad \mathrm{B}_2 = \frac{1}{2}\left(3I - \sqrt{13}P\right).$$

Önerme 3.2: Bir Riemann metrik g'nin bronz yapı B bakımından pür olması, ilişkili hemen hemen çarpım yapı P bakımından da pür olması ile eşdeğerdir.

İspat: Önerme 3.1 ve g Riemann metriğinin hemen hemen çarpım yapı P bakımından pür olması dikkate alınarak

$$g(\mathrm{P}X,Y) = g(X,\mathrm{P}Y)$$
$$g\left(\frac{1}{\sqrt{13}}(2\mathrm{B}-3I)X,Y\right) = g\left(X,\frac{1}{\sqrt{13}}(2\mathrm{B}-3I)Y\right)$$
$$g\left(\frac{2}{\sqrt{13}}\mathrm{B}X-\frac{3}{\sqrt{13}}X,Y\right) = g\left(X,\frac{2}{\sqrt{13}}\mathrm{B}Y-\frac{3}{\sqrt{13}}Y\right)$$
$$\frac{2}{\sqrt{13}}g(\mathrm{B}X,Y)-\frac{3}{\sqrt{13}}g(X,Y) = \frac{2}{\sqrt{13}}g(X,\mathrm{B}Y)-\frac{3}{\sqrt{13}}g(X,Y)$$
$$g(\mathrm{B}X,Y) = g(X,\mathrm{B}Y)$$

elde edilir.

Önerme 3.3: P ve B sırasıyla, hemen hemen çarpım yapı ve bronz yapı olsun. $t\in\overset{*}{\Im}(M)$ olmak üzere P ve B tarafından belirlenen Vishnevskii operatörleri arasındaki bağıntı

$$\psi_{\mathrm{B}X}t = \frac{\sqrt{13}}{2}\psi_{\mathrm{P}X}t$$

olur.

İspat: Tanım 2.2 nin (d) şıkkındaki eşitlik kullanılarak $t\in\overset{*}{\Im}(M)$ için

$$\begin{aligned}\psi_{\mathrm{B}X}t &= \nabla_{\mathrm{B}X}t-\mathrm{B}(\nabla_X t)\\ &= \nabla_{\frac{3}{2}X+\frac{\sqrt{13}}{2}PX}t-\left(\frac{3}{2}I+\frac{\sqrt{13}}{2}P\right)(\nabla_X t)\\ &= \frac{3}{2}\nabla_X t+\frac{\sqrt{13}}{2}\nabla_{\mathrm{P}X}t-\frac{3}{2}\nabla_X t-\frac{\sqrt{13}}{2}\mathrm{P}\nabla_X t\\ &= \frac{\sqrt{13}}{2}(\nabla_{\mathrm{P}X}t-\mathrm{P}\nabla_X t)\\ &= \frac{\sqrt{13}}{2}\psi_{\mathrm{P}X}t\end{aligned}$$

elde edilir.

Tanjant demet $T(M)$ de yatay ve dikey lifte göre bronz yapı $\tilde{B}$

$$\tilde{B}\left({}^{H}X\right) = \frac{3}{2}{}^{H}X+\frac{\sqrt{13}}{2}{}^{V}X$$
$$\tilde{B}\left({}^{V}X\right) = \frac{3}{2}{}^{V}X+\frac{\sqrt{13}}{2}{}^{H}X$$

olarak tanımlanır. Bu bronz yapı $\tilde{B}^2 - 3\tilde{B} - I = 0$ eşitliğini sağlar (Akpınar, 2020).

Önerme 3.4: M manifoldundaki bir afin konneksiyon ∇ nın tanjant demet $T(M)$ deki yatay lifti ${}^{H}\nabla$ olmak üzere tanjant demette bronz yapı $\tilde{B}$ ye göre Vishnevskii operatörü için aşağıdakiler elde edilir:

a) $\psi_{\tilde{B}\,{}^{V}X}\,{}^{V}Y = \frac{\sqrt{13}}{2}\,{}^{V}(\nabla_X Y)$

b) $\psi_{\tilde{B}\,{}^{V}X}\,{}^{H}Y = \frac{\sqrt{13}}{2}\,{}^{H}(\nabla_X Y)$

c) $\psi_{\tilde{B}\,{}^{H}X}\,{}^{V}Y = -\frac{\sqrt{13}}{2}\,{}^{H}(\nabla_X Y)$

d) $\psi_{\tilde{B}\,{}^{H}X}\,{}^{H}Y = -\frac{\sqrt{13}}{2}\,{}^{V}(\nabla_X Y).$

Burada $X, Y \in \Im_0^1(M)$ dir.

İspat: $\tilde{X}, \tilde{Y} \epsilon T(M)$ olmak üzere $\tilde{B}\left({}^{H}X\right) = \frac{3}{2}\,{}^{H}X + \frac{\sqrt{13}}{2}\,{}^{V}X$ ve $\tilde{B}\left({}^{V}X\right) = \frac{3}{2}\,{}^{V}X + \frac{\sqrt{13}}{2}\,{}^{H}X$ için tanjant demet $T(M)$ de Vishnevskii operatörü

$$\psi_{\tilde{B}\tilde{X}}\tilde{Y} = {}^{H}\nabla_{\tilde{B}\tilde{X}}\tilde{Y} - \tilde{B}\left({}^{H}\nabla_{\tilde{X}}\tilde{Y}\right)$$

eşitliğiyle tanımlanır. Önerme 2.1 dikkate alınarak bronz yapı $\tilde{B}$ ye göre Vishnevskii operatörü için aşağıdakiler elde edilir:

a)
$$\begin{aligned}\psi_{\tilde{B}\,{}^{V}X}\,{}^{V}Y &= {}^{H}\nabla_{\tilde{B}\,{}^{V}X}\,{}^{V}Y - \tilde{B}\left({}^{H}\nabla_{{}^{V}X}\,{}^{V}Y\right)\\ &= {}^{H}\nabla_{\frac{3}{2}{}^{V}X+\frac{\sqrt{13}}{2}{}^{H}X}\,{}^{V}Y\\ &= \frac{3}{2}\,{}^{H}\nabla_{{}^{V}X}\,{}^{V}Y + \frac{\sqrt{13}}{2}\,{}^{H}\nabla_{{}^{H}X}\,{}^{V}Y = \frac{\sqrt{13}}{2}\,{}^{V}(\nabla_X Y),\end{aligned}$$

b)
$$\begin{aligned}\psi_{\tilde{B}\,{}^{V}X}\,{}^{H}Y &= {}^{H}\nabla_{\tilde{B}\,{}^{V}X}\,{}^{H}Y - \tilde{B}\left({}^{H}\nabla_{{}^{V}X}\,{}^{H}Y\right)\\ &= {}^{H}\nabla_{\frac{3}{2}{}^{V}X+\frac{\sqrt{13}}{2}{}^{H}X}\,{}^{H}Y\\ &= \frac{3}{2}\,{}^{H}\nabla_{{}^{V}X}\,{}^{H}Y + \frac{\sqrt{13}}{2}\,{}^{H}\nabla_{{}^{H}X}\,{}^{H}Y = \frac{\sqrt{13}}{2}\,{}^{H}(\nabla_X Y),\end{aligned}$$

c)
$$\begin{aligned}\psi_{\tilde{B}\,{}^{H}X}\,{}^{V}Y &= {}^{H}\nabla_{\tilde{B}\,{}^{H}X}\,{}^{V}Y - \tilde{B}\left({}^{H}\nabla_{{}^{H}X}\,{}^{V}Y\right)\\ &= {}^{H}\nabla_{\frac{3}{2}{}^{H}X+\frac{\sqrt{13}}{2}{}^{V}X}\,{}^{V}Y - \tilde{B}\;{}^{V}(\nabla_X Y)\\ &= \frac{3}{2}\,{}^{V}(\nabla_X Y) - \frac{3}{2}\,{}^{V}(\nabla_X Y) - \frac{\sqrt{13}}{2}\,{}^{H}(\nabla_X Y) = -\frac{\sqrt{13}}{2}\,{}^{H}(\nabla_X Y),\end{aligned}$$

$$\psi_{\tilde{B}^{H}X}{}^{H}Y = {}^{H}\nabla_{\tilde{B}^{H}X}{}^{H}Y - \tilde{B}\left({}^{H}\nabla_{{}^{H}X}{}^{H}Y\right)$$

d)

$$= {}^{H}\nabla_{\frac{3}{2}{}^{H}X+\frac{\sqrt{13}}{2}{}^{V}X}{}^{H}Y - \tilde{B}\ {}^{H}(\nabla_X Y)$$

$$= \frac{3}{2}{}^{H}(\nabla_X Y) - \frac{3}{2}{}^{H}(\nabla_X Y) - \frac{\sqrt{13}}{2}{}^{V}(\nabla_X Y) = -\frac{\sqrt{13}}{2}{}^{V}(\nabla_X Y).$$

SONUÇLAR

Bu çalışmada bronz yapı ile hemen hemen çarpım yapı arasındaki yapısal ilişki incelenmiş ve bu iki yapının karşılıklı olarak birbirini belirlediği gösterilmiştir. Bir Riemann metriğinin bronz yapıya göre pür olmasının, ilişkili hemen hemen çarpım yapıya göre pür olması ile eşdeğer olduğu ortaya konulmuştur. Ayrıca, Vishnevskii operatörü kullanılarak her iki yapı tarafından indirgenen operatörler arasındaki analitik bağıntı elde edilmiştir. Tanjant demet üzerinde tanımlanan bronz yapı için operatörün yatay ve düşey liftler altındaki davranışı hesaplanmış ve temel manifold ile demet düzeyi arasında doğal bir geçiş mekanizması ortaya konulmuştur.

KAYNAKLAR

Akpınar, R. Ç. (2020). On bronze Riemannian structures. *Tbilisi Mathematical Journal, 13*(3), 161–169.

Hreţcanu, C.-E., & Crasmareanu, M. (2013). Metallic structures on Riemannian manifolds. *Revista de la Unión Matemática Argentina, 54*(2), 15–27.

Iscan, M., & Salimov, A. A. (2009). On Kähler–Norden manifolds. *Proceedings of the Indian Academy of Sciences: Mathematical Sciences, 119*(1), 71–80.

Kon, M., & Yano, K. (1985). *Structures on manifolds* (Vol. 3). World Scientific.

Salimov, A. A. (2013). *Tensor operators and their applications*. Nova Science Publishers.

Spinadel, V. W. (1999). The metallic means family and multifractal spectra. *Nonlinear Analysis: Real World Applications, 36*(6), 721–745.

Spinadel, V. W. (2002). The metallic means family and forbidden symmetries. *International Mathematical Journal, 2*(3), 279–288.

Yano, K., & Ishihara, S. (1973). *Tangent and cotangent bundles*. Marcel Dekker.

GÜMÜŞ YAPILAR VE NIJENHUIS TENSÖRÜ ÜZERİNE

Rabia ÇAKAN AKPINAR
Kafkas University, Faculty of Science and Letters, Department of Mathematics, Kars, Turkey
ORCID: 0000-0001-9885-6373

ÖZET

Riemann manifoldları, diferansiyel geometrinin temel çalışma alanlarından biri olup, eğrilik, konneksiyon ve metrik gibi geometrik kavramların incelenmesine olanak sağlayan önemli yapılardır. Tanjant demetleri üzerinde tanımlanan doğal lift yapıları sayesinde taban manifolduna ait geometrik yapıların tanjant demete taşınması ve bu yapıların yeni geometrik özelliklerinin araştırılması mümkün olmaktadır. Hemen hemen çarpım yapılar, manifoldlar üzerinde tanımlanan temel geometrik yapılardan biri olup, birçok polinom yapının elde edilmesine temel oluşturmaktadır. Polinom yapılar arasında yer alan gümüş yapı, son yıllarda diferansiyel geometri alanında dikkat çeken araştırma konularından biri olmuştur. Bu yapı, $\Theta^2 = 2\Theta + I$ cebirsel bağıntısını sağlayan bir $(1,1)-$tipli tensör alanı olup hemen hemen çarpım yapılarla yakın ilişki içerisindedir. Bu çalışmada, bir Riemann manifoldunun tanjant demeti üzerinde yatay ve dikey liftler yardımıyla yeni bir $(1,1)-$tipli tensör alanı tanımlanmıştır. Bu tensör alanının gümüş polinomunu sağladığı gösterilerek tanjant demet üzerinde bir gümüş yapı oluşturduğu ispatlanmıştır. Nijenhuis tensörü, manifold üzerinde tanımlanan $(1,1)-$tipli tensör alanlarının integrallenebilirlik koşullarını belirlemede kullanılan temel bir diferansiyel geometrik invariyanttır. Nijenhuis tensörünün yatay ve dikey liftler üzerindeki bileşenleri açık olarak hesaplanmış ve gümüş yapının integrallenebilirliğinin taban manifoldunun eğrilik tensörü tarafından belirlendiği gösterilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, tanjant demeti üzerinde tanımlanan gümüş yapıların geometrik özelliklerinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlamakta ve bu yapıların özel konneksiyonlar, eğrilik teorisi ve farklı polinom yapılar çerçevesinde incelenmesine yönelik gelecekte yapılacak araştırmalar için sağlam bir temel oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Gümüş yapı, hemen hemen çarpım yapı, Nijenhuis tensörü, pür metrik, tanjant demet

ON SILVER STRUCTURES AND THE NIJENHUIS TENSOR

ABSTRACT

Riemannian manifolds play a central role in differential geometry, providing a natural framework for the study of geometric concepts such as curvature, connections, and metrics. Through the natural lift structures defined on their tangent bundles, geometric structures on the

base manifold can be transferred to the tangent bundle, making it possible to investigate their induced geometric properties. Almost product structures are among the fundamental geometric structures on manifolds and serve as a basis for the construction of various polynomial structures. Among these, the silver structure has recently attracted considerable attention in differential geometry. It is defined as a $(1,1)$ −tensor field satisfying the polynomial identity $\Theta^2 = 2\Theta + I$, and is closely related to almost product structures. In this study, a new $(1,1)$ −tensor field is introduced on the tangent bundle of a Riemannian manifold by means of horizontal and vertical lifts. It is shown that this tensor field satisfies the silver polynomial identity, thereby defining a silver structure on the tangent bundle. The Nijenhuis tensor, which is a fundamental differential geometric invariant used to characterize the integrability of $(1,1)$ −tensor fields, is then investigated. Its horizontal and vertical lift components are computed explicitly, and it is proved that the integrability of the induced silver structure is determined by the curvature tensor of the underlying Riemannian manifold. The results obtained in this study contribute to a deeper understanding of the geometric properties of silver structures on tangent bundles and provide a solid foundation for future investigations concerning special connections, curvature theory, and other members of the family of polynomial structures.

Keywords: Silver structure, almost product structure, Nijenhuis tensor, pure metric, tangent bundle.

1. GİRİŞ

İkinci dereceden denklemlerle belirlenen polinom yapılar, zengin cebirsel ve geometrik sonuçları nedeniyle diferansiyel geometri alanında önemli ölçüde ilgi görmüştür. Bu doğrultuda geliştirilen en sistematik çerçevelerden biri, Spinadel (Spinadel, 1999; Spinadel, 2002) tarafından tanıtılan metalik oran ailesidir. Bu aile,

$$x^2 - qx - r = 0$$

denkleminin reel parametreler q ve r için pozitif ikinci dereceden irrasyonel çözümlerinden oluşmaktadır. Bu sayılar, altın oran ve gümüş oran gibi klasik oranların genelleştirilmiş biçimlerini kapsamakta ve geometrik yapıların inşası için birleştirici bir cebirsel çerçeve sunmaktadır. Söz konusu cebirsel çerçeveden hareketle Hretcanu ve Crasmareanu (Hretcanu ve Crasmareanu, 2013), diferansiyellenebilir manifoldlar üzerinde metalik yapı kavramını ortaya koymuşlardır. Bir metalik yapı,

$$\Theta^2 = q\Theta + \mathrm{rI}$$

polinom özdeşliğini sağlayan $(1,1)$ −tipli bir tensör alanı Θ ile tanımlanır; burada I, özdeşlik tensör alanını ifade etmektedir.

Metalik ailenin geometrik açıdan özel ve önemli bir elemanı, $q = 2$ ve $r = 1$ durumuna karşılık gelmektedir. Bu durumda tensör alanı

$$\Theta^2 = 2\Theta + \mathrm{I}$$

polinom eşitliğini sağlar ve buna karşılık gelen cebirsel sabit, $x^2 - 2x - 1 = 0$ denkleminin pozitif kökü olan gümüş orandır. Bu özel durum *gümüş yapı* olarak adlandırılmaktadır (Ozkan ve Peltek, 2016; Akpınar, 2022).

2. MATERYAL VE METOD

Bir Riemann metrik g, $g(\Theta X, Y) = g(X, \Theta Y)$ eşitliğini sağladığı takdirde gümüş yapı Θ ile uyumlu kabul edilir ve bu durumda (M, g, Θ) üçlüsü bir *Gümüş Riemann manifold* olarak adlandırılır (Akpınar, 2022). Bu uyumluluk, metriğin ilgili yapı açısından pür olmasını sağlar; bu özelliği taşıyan Riemann metrikler ise pür metrik olarak nitelendirilmektedir (Iscan ve Salimov, 2009).

(M, g), hemen hemen çarpım yapı P yi taşıyan bir Riemann manifold ise, elde edilen (M, g, P) üçlüsü hemen hemen çarpım Riemann manifold olarak tanımlanır. Bir hemen hemen çarpım Riemann manifold, $P^2 = I$ özelliğini sağlayan $(1,1)$ −tip bir tensör alanı P ile tanımlanır ve bu yapı, $g(\mathrm{P}X, Y) = g(X, \mathrm{P}Y)$ koşulunu tüm X, Y vektör alanları için sağlar; burada g ilgili Riemann metriğini göstermektedir (Kon ve Yano, 1985).

M, C^∞ sınıfına ait n −boyutlu diferansiyellenebilir bir manifold ve T_pM, $p \in M$ noktasındaki tanjant uzayı olmak üzere

$$T(M) = \bigcup_{p \in M} T_p(M)$$

şeklinde tanımlanan kümeye M üzerinde tanjant demet adı verilir. $T(M)$ üzerindeki her $\tilde{p} = (p, v)$ elemanını taban manifold M'deki p noktasına eşleyen

$$\begin{array}{rccc} \pi: & T(M) & \to & M \\ & \tilde{p} & \to & \pi(\tilde{p}) = p \end{array}$$

dönüşüm demet projeksiyonu olarak adlandırılır. Bu projeksiyon, tanjant demetin M üzerindeki doğal demet yapısını ifade eder. $\pi^{-1}(p) = T(M)$ kümesine ise M baz manifoldunun p noktasındaki fibresi denir. M üzerinde tanımlı $U \subset M$ açık kümesinde (U, x^i) yerel koordinat sistemi, tanjant demet $T(M)$ de $\pi^{-1}(U)$ üzerinde $(x^i, y^i), i = 1, \dots, n$ koordinat sistemine indirgenir. Bu bağlamda y^i değişkenleri, her $p \in M$ noktası için $T_p(M)$ tanjant uzayında doğal

baza göre belirlenen kartezyen koordinatları temsil eder. $Y = Y^i \frac{\partial}{\partial x^i}$, U üzerinde tanımlı bir vektör alanının yerel ifadesi olsun. Buna göre, Y vektör alanının tanjant demet $T(M)$ üzerindeki dikey (vertical) ve yatay (horizontal) liftleri, indirgenmiş koordinatlar yardımıyla aşağıdaki biçimde ifade edilir:

$$^{V}Y = \left(0, Y^i\right), \quad ^{H}Y = \left(Y^i, -Y^s y^t \Gamma^i_{ts}\right)$$

şeklinde tanımlanır. Burada Γ^i_{ts} metrik g nin Levi–Civita konneksiyonuna ait Christoffel sembolleridir (Yano ve Ishihara, 1973).

Önerme 2.1: (M, g) bir yarı-Riemann manifoldu, ∇ bir Levi-Civita konneksiyonu ve R bir eğrilik tensörü olsun. Bu durumda $T(M)$ tanjant demeti üzerinde Lie parantezi aşağıdaki özellikleri sağlar:

i. $\left[^{V}X, ^{V}Y\right] = 0$

ii. $\left[^{H}X, ^{V}Y\right] = ^{V}(\nabla_X Y)$

iii. $\left[^{H}X, ^{H}Y\right] = ^{H}[X,Y] - ^{V}(R(X,Y)u)$

Burada $X, Y \in \chi(M)$ ve $\eta = (p, u) \in T(M)$ dir (Dombrowski, 1962; Yano&Ishihara, 1973).

Tanım 2.2: Bir M manifoldu üzerinde tanımlı J bir $(1,1)$ −tipli tensör alanı olsun. J ye karşılık gelen Nijenhuis tensörü $(1,2)$ −tipli bir tensör alanı olup

$$N_J(X,Y) = [JX, JY] - J[JX, Y] - J[X, JY] + J^2[X, Y]$$

şeklinde tanımlanır. Burada $X, Y \in \chi(M)$ diferansiyellenebilir vektör alanlarını, $[.,.]$ ise Lie parantezini göstermektedir. Ayrıca $N_J = 0$ koşulu, J'nin integrallenebilir olması için gerekli ve yeterli şarttır. Dolayısıyla Nijenhuis tensörü, hemen hemen kompleks, hemen hemen çarpım ve genel polinom yapıların integrallenebilirliğinin araştırılmasında temel diferansiyel geometrik invariyantlardan biridir (Nijenhuis, 1951; Yano ve Ishihara, 1973; Kon ve Yano, 1985).

3. BULGULAR

Önerme 3.1: Eğer Θ, M üzerinde bir gümüş yapı ise, buna karşılık gelen yapı

$$P = \pm\frac{1}{\sqrt{2}}(\Theta - I)$$

M üzerinde bir hemen hemen çarpım yapı oluşturur. Buna karşılık olarak, M üzerinde tanımlı her hemen hemen çarpım yapı P, aşağıdaki ifadelerle tanımlanan iki farklı gümüş yapı meydana getirir (Akpınar, 2022):

$$\Theta_1 = \left(I + \sqrt{2}P\right), \quad \Theta_2 = \left(I - \sqrt{2}P\right).$$

Önerme 3.2: Bir Riemann metrik g'nin gümüş yapı Θ bakımından pür olması, ilişkili hemen hemen çarpım yapı P bakımından da pür olması ile eşdeğerdir.

İspat: Önerme 3.1 ve g Riemann metriğinin hemen hemen çarpım yapı P bakımından pür olması dikkate alınarak

$$g(\mathrm{P}X, Y) = g(X, \mathrm{P}Y)$$
$$g\left(\frac{1}{\sqrt{2}}(\Theta - I)X, Y\right) = g\left(X, \frac{1}{\sqrt{2}}(\Theta - I)Y\right)$$
$$g\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\Theta X - \frac{1}{\sqrt{2}}X, Y\right) = g\left(X, \frac{1}{\sqrt{2}}\Theta Y - \frac{1}{\sqrt{2}}Y\right)$$
$$\frac{1}{\sqrt{2}}g(\Theta X, Y) - \frac{1}{\sqrt{2}}g(X, Y) = \frac{1}{\sqrt{2}}g(X, \Theta Y) - \frac{1}{\sqrt{2}}g(X, Y)$$
$$g(\Theta X, Y) = g(X, \Theta Y)$$

elde edilir.

Önerme 3.3: P ve Θ sırasıyla, hemen hemen çarpım yapı ve gümüş yapı olsun. $X, Y \in \chi(M)$ olmak üzere P ve Θ tarafından belirlenen Nijenhuis tensörleri arasındaki bağıntı

$$N_\Theta = 2N_\mathrm{P}$$

olur.

İspat: Gümüş yapı $\Theta = \left(I + \sqrt{2}P\right)$ olduğundan

$$N_\Theta(X, Y) = [\Theta X, \Theta Y] - \Theta[\Theta X, Y] - \Theta[X, \Theta Y] + \Theta^2[X, Y]$$

olur. Burada $\Theta\mathrm{X} = \left(X + \sqrt{2}PX\right)$ ve $\Theta\mathrm{Y} = \left(Y + \sqrt{2}PY\right)$ ifadeleri yerine yazılıp terimler açıldığında

$$N_\Theta(X, Y) = 2([\mathrm{P}X, \mathrm{P}Y] - \mathrm{P}[\mathrm{P}X, Y] - \mathrm{P}[X, \mathrm{P}Y] + \mathrm{P}^2[X, Y])$$

elde edilir. Parantez içindeki ifade P nin Nijenhuis tensörüdür. Dolayısıyla

$$N_\Theta(X, Y) = 2N_\mathrm{P}(X, Y)$$

olur.

Tanjant demet $T(M)$ de yatay ve dikey lifte göre gümüş yapı $\widetilde{\Theta}$

$$\widetilde{\Theta}\left({}^{H}X\right) = {}^{H}X + \sqrt{2}\,{}^{V}X$$
$$\widetilde{\Theta}\left({}^{V}X\right) = {}^{V}X + \sqrt{2}\,{}^{H}X$$

olarak tanımlanır. Bu gümüş yapı $\widetilde{\Theta}^2 - 2\widetilde{\Theta} - I = 0$ eşitliğini sağlar (Akpınar, 2022).

Burada $\widetilde{\Theta}\left({}^{H}X\right) = {}^{H}X + \sqrt{2}\,{}^{V}X$ gümüş yapının $\widetilde{\Theta}^2 - 2\widetilde{\Theta} - I = 0$ eşitliğini sağladığını gösterelim. Önce, ${}^{H}X$ için

$$\begin{aligned}\tilde{\Theta}^2({}^H X) &= \tilde{\Theta}\left(\tilde{\Theta}({}^H X)\right)\\ &= \tilde{\Theta}({}^H X + \sqrt{2}\,{}^V X)\\ &= \tilde{\Theta}({}^H X) + \sqrt{2}\tilde{\Theta}({}^V X)\\ &= {}^H X + \sqrt{2}\,{}^V X + \sqrt{2}({}^V X + \sqrt{2}\,{}^H X)\\ &= 3\,{}^H X + 2\sqrt{2}\,{}^V X\end{aligned}$$

elde edilir. Ardından $(2\tilde{\Theta} + I)({}^H X)$ ın eşitliği

$$\begin{aligned}(2\tilde{\Theta} + I)({}^H X) &= 2\tilde{\Theta}({}^H X) + I({}^H X)\\ &= 2({}^H X + \sqrt{2}\,{}^V X) + {}^H X\\ &= 3\,{}^H X + 2\sqrt{2}\,{}^V X\end{aligned}$$

elde edilir. Buradan $\tilde{\Theta}^2({}^H X) = (2\tilde{\Theta} + I)({}^H X)$ olduğu görülür. Benzer hesaplamalar ${}^V X$ için yapıldığında eşitliğin sağlandığı görülür.

Önerme 3.4: (M, g) bir Riemann manifoldu, ∇ onun Levi-Civita konneksiyonu ve $T(M)$ tanjant demeti olsun. Her $X \in \Gamma(TM)$ için ${}^H X$ ve ${}^V X$,, sırasıyla X in yatay ve dikey liftlerini göstersin. $T(M)$ üzerinde $\tilde{\Theta}$ gümüş yapısı

$$\tilde{\Theta}({}^H X) = {}^H X + \sqrt{2}\,{}^V X, \qquad \tilde{\Theta}({}^V X) = {}^V X + \sqrt{2}\,{}^H X$$

şeklinde tanımlansın. Bu durumda $\tilde{\Theta}$ nın Nijenhuis tensörünün yatay ve dikey liftler üzerindeki bileşenleri, $(x, u) \in T(M)$ noktasında,

e) $N_{\tilde{\Theta}}({}^H X, {}^H Y) = -2\,{}^V(R(X,Y)u)$

f) $N_{\tilde{\Theta}}({}^H X, {}^V Y) = 2\,{}^H(R(X,Y)u)$

g) $N_{\tilde{\Theta}}({}^V X, {}^H Y) = 2\,{}^H(R(X,Y)u)$

h) $N_{\tilde{\Theta}}({}^V X, {}^V Y) = -2\,{}^V(R(X,Y)u)$.

şeklindedir. Burada R, ∇ Levi-Civita konneksiyonunun eğrilik tensörünü ve $u \in T_x M$, tanjant demetin (x, u) noktasındaki fibre bileşenini göstermektedir.

İspat: M bir Riemann manifoldu ve ∇ onun Levi-Civita konneksiyonu olsun. $T(M)$ üzerinde tanımlanan gümüş yapı

$$\tilde{\Theta}({}^H X) = {}^H X + \sqrt{2}\,{}^V X, \qquad \tilde{\Theta}({}^V X) = {}^V X + \sqrt{2}\,{}^H X$$

verilsin. Nijenhuis tensörünün tanımına göre

$$N_{\tilde{\Theta}}(\tilde{X},\tilde{Y}) = [\tilde{\Theta}\tilde{X}, \tilde{\Theta}\tilde{Y}] - \tilde{\Theta}[\tilde{\Theta}\tilde{X}, \tilde{Y}] - \tilde{\Theta}[\tilde{X}, \tilde{\Theta}\tilde{Y}] + \tilde{\Theta}^2[\tilde{X}, \tilde{Y}].$$

a) $\tilde{X} = {}^H X$ ve $\tilde{Y} = {}^H Y$ alalım. Böylece

$N_{\tilde{\Theta}}({}^{H}X, {}^{H}Y)= [\tilde{\Theta}\,{}^{H}X, \tilde{\Theta}\,{}^{H}Y] - \tilde{\Theta}[\tilde{\Theta}\,{}^{H}X, {}^{H}Y] - \tilde{\Theta}[{}^{H}X, \tilde{\Theta}\,{}^{H}Y] + \tilde{\Theta}^2[{}^{H}X, {}^{H}Y]$

eşitliği yazılır. Yukarıdaki denklemde

$[\tilde{\Theta}\,{}^{H}X, \tilde{\Theta}\,{}^{H}Y] = {}^{H}[X,Y] + \sqrt{2}\,{}^{V}[X,Y] - {}^{V}(R(X,Y)u)$

$\tilde{\Theta}[\tilde{\Theta}\,{}^{H}X, {}^{H}Y] = {}^{H}[X,Y] + \sqrt{2}\,{}^{V}[X,Y] - {}^{V}(R(X,Y)u) - \sqrt{2}\,{}^{H}(R(X,Y)u) - \sqrt{2}\,{}^{V}(\nabla_Y X) - 2\,{}^{H}(\nabla_Y X)$

$\tilde{\Theta}[{}^{H}X, \tilde{\Theta}\,{}^{H}Y] = {}^{H}[X,Y] + \sqrt{2}\,{}^{V}[X,Y] - {}^{V}(R(X,Y)u) - \sqrt{2}\,{}^{H}(R(X,Y)u) + \sqrt{2}\,{}^{V}(\nabla_X Y) + 2\,{}^{H}(\nabla_X Y)$

$\tilde{\Theta}^2[{}^{H}X, {}^{H}Y] = 3\,{}^{H}[X,Y] + 2\sqrt{2}\,{}^{V}(\nabla_X Y) - 3\,{}^{V}(R(X,Y)u) - 2\sqrt{2}\,{}^{H}(R(X,Y)u)$

eşitlikleri yerine yazılırsa

$$N_{\tilde{\Theta}}({}^{H}X, {}^{H}Y) = -2\,{}^{V}(R(X,Y)u)$$

elde edilir.

b) $\tilde{X} = {}^{H}X$ ve $\tilde{Y} = {}^{V}Y$ alalım. Böylece

$N_{\tilde{\Theta}}({}^{H}X, {}^{V}Y)= [\tilde{\Theta}\,{}^{H}X, \tilde{\Theta}\,{}^{V}Y] - \tilde{\Theta}[\tilde{\Theta}\,{}^{H}X, {}^{V}Y] - \tilde{\Theta}[{}^{H}X, \tilde{\Theta}\,{}^{V}Y] + \tilde{\Theta}^2[{}^{H}X, {}^{V}Y]$

eşitliği yazılır. Yukarıdaki denklemde

$[\tilde{\Theta}\,{}^{H}X, \tilde{\Theta}\,{}^{V}Y] = {}^{V}(\nabla_X Y) + \sqrt{2}\,{}^{H}[X,Y] - \sqrt{2}\,{}^{V}(R(X,Y)u) - 2\,{}^{V}(\nabla_Y X)$

$\tilde{\Theta}[\tilde{\Theta}\,{}^{H}X, {}^{V}Y] = {}^{V}(\nabla_X Y) + \sqrt{2}\,{}^{H}(\nabla_X Y)$

$\tilde{\Theta}[{}^{H}X, \tilde{\Theta}\,{}^{V}Y] = {}^{V}(\nabla_X Y) + \sqrt{2}\,{}^{H}(\nabla_X Y) + \sqrt{2}\,{}^{H}[X,Y] + 2\,{}^{V}[X,Y] - \sqrt{2}\,{}^{V}(R(X,Y)u) - 2\,{}^{H}(R(X,Y)u)$

$\tilde{\Theta}^2[{}^{H}X, {}^{V}Y] = 3\,{}^{V}(\nabla_X Y) + 2\sqrt{2}\,{}^{H}(\nabla_X Y)$

eşitlikleri yerine yazılırsa

$$N_{\tilde{\Theta}}({}^{H}X, {}^{V}Y) = 2\,{}^{H}(R(X,Y)u)$$

elde edilir.

c) $\tilde{X} = {}^{V}X$ ve $\tilde{Y} = {}^{H}Y$ alalım. Böylece

$N_{\tilde{\Theta}}({}^{V}X, {}^{H}Y)= [\tilde{\Theta}\,{}^{V}X, \tilde{\Theta}\,{}^{H}Y] - \tilde{\Theta}[\tilde{\Theta}\,{}^{V}X, {}^{H}Y] - \tilde{\Theta}[{}^{V}X, \tilde{\Theta}\,{}^{H}Y] + \tilde{\Theta}^2[{}^{V}X, {}^{H}Y]$

eşitliği yazılır. Yukarıdaki denklemde

$[\tilde{\Theta}\,{}^{V}X, \tilde{\Theta}\,{}^{H}Y] = -{}^{V}(\nabla_Y X) + \sqrt{2}\,{}^{H}[X,Y] - \sqrt{2}\,{}^{V}(R(X,Y)u) + 2\,{}^{V}(\nabla_X Y)$

$$\tilde{\Theta}[\tilde{\Theta}\,{}^{V}X,\,{}^{H}Y] = -\,{}^{V}(\nabla_Y X) - \sqrt{2}\,{}^{H}(\nabla_Y X) + \sqrt{2}\,{}^{H}[X,Y] + 2\,{}^{V}[X,Y] - \sqrt{2}\,{}^{V}(R(X,Y)u) - 2\,{}^{H}(R(X,Y)u)$$

$$\tilde{\Theta}[\,{}^{V}X,\tilde{\Theta}\,{}^{H}Y] = -\,{}^{V}(\nabla_Y X) - \sqrt{2}\,{}^{H}(\nabla_Y X)$$

$$\tilde{\Theta}^2[\,{}^{V}X,\,{}^{H}Y] = -3\,{}^{V}(\nabla_Y X) - 2\sqrt{2}\,{}^{H}(\nabla_Y X)$$

eşitlikleri yerine yazılırsa

$$N_{\tilde{\Theta}}(\,{}^{V}X,\,{}^{H}Y) = 2\,{}^{H}(R(X,Y)u)$$

elde edilir.

d) $\tilde{X} = {}^{V}X$ ve $\tilde{Y} = {}^{V}Y$ alalım. Böylece

$$N_{\tilde{\Theta}}({}^{V}X,\,{}^{V}Y) = [\tilde{\Theta}\,{}^{V}X,\tilde{\Theta}\,{}^{V}Y] - \tilde{\Theta}[\tilde{\Theta}\,{}^{V}X,\,{}^{V}Y] - \tilde{\Theta}[\,{}^{V}X,\tilde{\Theta}\,{}^{V}Y] + \tilde{\Theta}^2[\,{}^{V}X,\,{}^{V}Y]$$

eşitliği yazılır. Yukarıdaki denklemde

$$[\tilde{\Theta}\,{}^{V}X,\tilde{\Theta}\,{}^{V}Y] = 2\,{}^{H}[X,Y] + \sqrt{2}\,{}^{V}[X,Y] - 2\,{}^{V}(R(X,Y)u)$$

$$\tilde{\Theta}[\tilde{\Theta}\,{}^{V}X,\,{}^{V}Y] = \sqrt{2}\,{}^{V}(\nabla_X Y) + 2\,{}^{H}(\nabla_X Y)$$

$$\tilde{\Theta}[\,{}^{V}X,\tilde{\Theta}\,{}^{V}Y] = -\sqrt{2}\,{}^{V}(\nabla_Y X) - 2\,{}^{H}(\nabla_Y X)$$

$$\tilde{\Theta}^2[\,{}^{V}X,\,{}^{V}Y] = 0$$

eşitlikleri yerine yazılırsa

$$N_{\tilde{\Theta}}(\,{}^{V}X,\,{}^{V}Y) = -2\,{}^{V}(R(X,Y)u)$$

elde edilir.

Bir Riemann manifoldu (M,g) ancak ve ancak Riemann eğrilik tensörü sıfır olduğunda lokal olarak düzdür (Kobayashi ve Nomizu, 1963; Lee, 2018).

Önerme 3.4 e göre, Nijenhuis tensörünün bütün bileşenlerinin sıfır olması

$$R(X,Y)u = 0$$

eşitliğinin her $X,Y \in \Gamma(TM)$ için ve $u \in T_xM$ için sağlanmasına bağlıdır. Dolayısıyla tanjant demette tanımlanan gümüş yapının integrallenebilmesi için gerek ve yeter şart manifoldun lokal olarak düz olmasıdır.

SONUÇLAR

Bu çalışmada gümüş yapı ile hemen hemen çarpım yapı arasındaki yapısal ilişki incelenmiş ve bu iki yapının karşılıklı olarak birbirini belirlediği gösterilmiştir. Bir Riemann metriğinin gümüş yapıya göre pür olmasının, ilişkili hemen hemen çarpım yapıya göre pür olması ile eşdeğer olduğu ortaya konulmuştur. Her iki yapı tarafından belirlenen Nijenhuis tensörleri arasında analitik bağıntı elde edilmiştir. Nijenhuis tensörünün yatay ve dikey liftler üzerindeki

bileşenleri açık olarak hesaplanmış ve gümüş yapının integrallenebilirliğinin taban manifoldunun eğrilik tensörü tarafından belirlendiği sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

Akpınar, R. Ç. (2022). Some results on silver Riemannian structures. *Turkish Journal of Mathematics and Computer Science*, *14(1)*, 91–97.
Dombrowski, P. (1962). On the geometry of the tangent bundle. *Journal für die reine und angewandte Mathematik*, *210*, 73–88.
Hretcanu, C., & Crasmareanu, M. (2013). Metallic structures on Riemannian manifolds. *Revista de la Unión Matemática Argentina*, *54*, 15–27.
Iscan, M., & Salimov, A. A. (2009). On Kähler–Norden manifolds. *Proceedings of the Indian Academy of Sciences (Mathematical Sciences), 119(1)*, 71–80.
Kobayashi, S., & Nomizu, K. (1963). *Foundations of differential geometry* (Vol. 1). Interscience Publishers.
Kon, M., & Yano, K. (1985). *Structures on manifolds* (Vol. 3). World Scientific.
Lee, J. M. (2018). *Introduction to Riemannian manifolds* (2nd ed.). Springer.
Nijenhuis, A. (1951). X_{n-1}-forming sets of eigenvectors. *Indagationes Mathematicae (Proceedings)*, *54*, 200-212.
Ozkan, M., & Peltek, B. (2016). A new structure on manifolds: Silver structure. *International Electronic Journal of Geometry, 9(2)*, 59–69.
Spinadel, V. W. (1999). The metallic means family and multifractal spectra. *Nonlinear Analysis: Real World Applications, 36(6)*, 721–745.
Spinadel, V. W. (2002). The metallic means family and forbidden symmetries. *International Mathematical Journal, 2(3)*, 279–288.
Yano, K., & Ishihara, S. (1973). *Tangent and cotangent bundles*. Marcel Dekker.

RİDGE, LASSO VE ELASTİC NET REGRESYON YÖNTEMLERİ KULLANILARAK SİPARİŞ TAHMİNİ ANALİZİ: ENERJİ SEKTÖRÜNDE BİR UYGULAMA

Ahmet GÜRGAŞİN
Astor Enerji A.Ş. AR-GE Merkezi, Sincan, Ankara.
ORCID ID: 0000-0003-1954-0253

ÖZET

Bu çalışmada B2B trafo üretim sektöründe sipariş tahmininde doğrusal regresyon temelli düzenlileştirme yöntemleri ve performansları incelenmektedir. Yöntemsel olarak, sıradan en küçük kareler regresyonu (Ordinary Least Squares; OLS) referans model olarak belirlenmiştir. Bu modele karşı Ridge, Lasso ve Elastic Net regresyon modelleri değerlendirilmiştir. Veri setinde yer alan kategorik değişkenler tek-sıcak kodlama yöntemi ile dönüştürülerek sayısal forma çevrilmiş, bağımlı değişken için ise logaritmik dönüşüm uygulanmıştır. Sipariş tutarlarında zamansal örüntüleri yakalamak için aylık gecikmeli ortalama değişkenler özellik setine eklenmiştir. Model içerisinde veri sızıntısını önlemek amacıyla gecikme değişkenleri yalnızca eğitim veri seti üzerinden hesaplanmıştır. Modelleme sürecinde zaman bütünlüğünü korumak amacıyla kronolojik eğitim-test veri seti ayrımı ve 5-katlı çapraz doğrulama kullanılmıştır. Model performansı RMSE, MAE ve R^2 metrikleriyle karşılaştırılmıştır.

Elde edilen sonuçlar düzenlileştirme yöntemlerinin en küçük kareler regresyonu modeline göre sınırlı ancak tutarlı iyileştirmeler sağladığını göstermektedir. Lasso modeli bazı değişkenleri sıfırlayarak daha sade bir model yapısı üretmiştir. Elastic Net korelasyonlu değişken gruplarında dengeli sonuçlar sağlamıştır. Ridge modeli ise en küçük kareler modeline yakınsamış ve veri setinin kararlı bir yapıya ulaştığı sonucunu vermiştir. Sonuç itibariyle tüm modellerde ürüne ait güç sınıfının bağımlı değişken üzerinde en belirleyici etkiyi gösterdiği, müşteri segmenti, bölge değişkenlerinin sipariş tahminlemesinde önemli birer açıklayıcı değişken oldukları belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Ridge resresyon, Lasso regresyon, Elastic Net

ORDER FORECASTING ANALYSIS USING RIDGE, LASSO, AND ELASTIC NET REGRESSION METHODS: AN APPLICATION IN THE ENERGY SECTOR

ABSTRACT

This study examines linear regression-based regularization methods and their performance in order forecasting within the B2B transformer manufacturing sector. Methodologically, Ordinary Least Squares (OLS) regression was selected as the reference model. Ridge, Lasso, and Elastic Net regression models were evaluated against this model. The categorical variables

in the dataset were converted to numerical form using one-hot encoding, and a logarithmic transformation was applied to the dependent variable. Monthly lagged mean variables were added to the feature set to capture temporal patterns in order values. To prevent data leakage within the model, lag variables were calculated only using the training dataset. To maintain temporal integrity during the modeling process, a chronological split between the training and test datasets and 5-fold cross-validation were employed. Model performance was compared using RMSE, MAE, and R^2 metrics.

The results indicate that regularization methods provide limited but consistent improvements compared to the least squares regression model. The Lasso model produced a simpler model structure by setting some variables to zero. The Elastic Net model yielded balanced results across correlated variable groups. The Ridge model converged toward the least squares model and indicated that the dataset had reached a stable structure. In conclusion, it was determined that the product's power class had the most significant effect on the dependent variable across all models, while customer segment and region variables were identified as important explanatory variables in order forecasting.

Keywords: Ridge regression, Lasso regression, Elastic Net

1. GİRİŞ

Üretim sektöründe sipariş ve talep tahmini, kapasite planlama, tedarik zinciri ve finansal açıdan önemli bir girdi oluşturmaktadır. Özellikle B2B üretim sektöründe talep yapısı proje bazlı olarak izlenmektedir. Müşteri segmenti, ürün özellikleri ve coğrafi alan gibi faktörler sipariş üzerinde belirleyici etkiler oluşturmaktadır.

Üretim işletmelerine ait veriler çoğu zaman birbirleriyle ilişkili yapısal değişkenler üretmektedir. Açıklayıcı değişkenler arasındaki güçlü doğrusal bağımlılıklar, OLS (Ordinary Least Squares; En Küçük Kareler Regresyonu) katsayılarının varyansını arttırarak tahminleri verilerdeki değişime karşı duyarlı hale getirebilmektedir. Hoerl ve Kennard (1970) [4], ortogonal olmayan yordayıcı yapılarında OLS tahminlerinin kararsız olabileceğini ve X^TX matrisine pozitif bir köşegen bileşen eklenmesinin belirli bir yanlılık karşılığında ortalama karesel hatayı azaltabileceğini ortaya koymuştur. Bu durum düzenlileştirme yöntemlerinin zorunlu bir hale getirmektedir.

Syntetos ve ark. (2016) [11], tedarik zinciri tahmininin tek bir kademedeki talep gereksinimlerini dış değer biçiminde tahminleme görevinin ötesine geçtiğini, bilgi, süreç ve karar seviyeleri arasındaki bağlantıyı sağladığını vurgulamışlardır.

Ridge regresyonun temelini oluşturan Hoerl ve Kennard (1970) [4], yordayıcılar ortogonal olmadığında minimum artık kareler toplamına dayalı katsayı tahminlerinin tahmin edici olmayan ve bağlamsal olarak anlamsız sonuçlar üretebildiğini göstermiştir. X^TX matrisinin köşegen elemanlarına küçük pozitif değerler ekleyerek belirli bir tahmin yanlılığını kabul eden, buna karşılık katsayı varyansını ve ortalama karesel hatayı azaltabilen Ridge tahmin edicisini önermişlerdir.

Tibshirani (1996) [12], Lasso yöntemini artık kareler toplamının katsayılarının mutlak değerleri toplamına ilişkin bir kısıt altında minimize edilmesi olarak tanımlamıştır. L1 kısıtının geometrik yapısı bazı katsayıların tam olarak sıfırlanmasına imkan vererek katsayı daraltma ile değişken seçimini aynı model içinde birleştirmektedir. Yöntem, alt küme seçiminin yorumlanabilir olması ile Ridge regresyonun daraltma yaklaşımının bazı olumlu özelliklerini birlikte taşımaktadır.

Zou ve Hastie (2005) [13], L1 ve L2 cezalarını bir araya getiren Elastic Net yöntemini, güçlü korelasyonlu yordayıcıların birlikte modele alınmasını teşvik eden bir gruplandırma etkisine sahip olduğunu ve bazı uygulamalarda benzer seyreklik düzeyindeki Lasso modellerinden daha iyi sonuçlar ortaya koyduğunu göstermişlerdir.

Bu çalışmada, enerji sektöründe üretim faaliyetleri gösteren Astor Enerji A.Ş. firmasına ait geçmiş dönemlere ait test veri seti kullanılarak Ridge, Lasso ve Elastic Net yöntemlerinin karşılaştırmalı performansı incelenmiştir. Çalışma Karar Destek Sistemleri (KDS) altyapısının geliştirilmesine yönelik pilot bir uygulama olarak tasarlanmıştır.

Çalışmada üretim sektörü verileri ile düzenlileştirilmiş doğrusal modellerin ortak bir değerlendirme ile karşılaştırılması; kategorik değişkenlerin, zaman göstergeleri ve geçmiş dönem özelliklerini kapsayan yapısının sunulması ve pilot çalışma bulgularının KDS geliştirme sürecinde yöntem seçiminin izlenmesini amaçlamaktadır.

2. METODOLOJİ

Bu bölümde çalışmanın hazırlanmasında kullanılan araştırma modeli, veri analiz yöntemleri hakkında bilgiler verilmiştir.

2.1. Sıradan En Küçük Kareler Regresyonu (OLS)

OLS tahmin edicisi, gözlenen değerle doğrusal model tahminleri arasındaki artıkların kareleri toplamını minimize etmektedir. Klasik doğrusal regresyonun varsayımları ve tam sütun matris derecesi koşulu sağlandığında Gauss-Markov teoremi, OLS'nin doğrusal yansız tahmin ediciler sınıfı içinde minimum varyansa sahip olduğunu belirtmektedir [2]. Bununla birlikte bu göreli etkinlik, katsayı varyanslarının mutlak olarak küçük olacağını garanti etmez. Güçlü

çoklu bağlantı koşullarında OLS katsayıları yüksek varyans ve veri değişimlerine karşı duyarlılık gösterebilirler. OLS tahmin edicisi Eş. 2.1.'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$\hat{\beta}_{OLS} = (X^{\cdot} X)^{-1} X^{\cdot} y \tag{2.1}$$

2.2.Çoklu Bağlantı ve Varyans Şişme Faktörü (VIF)

Çoklu bağlantı, çoklu regresyon modelindeki açıklayıcı değişkenler arasında güçlü doğrusal bağımlılıkların bulunmasıdır. Bu yapı katsayı tahminlerinin varyanslarını ve standart hatalarını artırarak güven aralıklarının genişlemesine, katsayı işaretlerinin veya büyüklüklerinin örnekleme duyarlı hale gelmesine neden olabilir. Bu durum anlamlılık testlerinin yanıltıcı yorumlanmasına neden olabilmektedir. VIF (Variance Inflation Factor, Varyans Şişme Faktörü), koşul indisi, koşul sayısı ve varyans ayrıştırma oranları yaygın teşhis araçlarıdır [7]. Bir açıklayıcı değişken için X_j için R_j^2, bu değişkenin modeldeki diğer bütün açıklayıcı değişkene karşı kurulan yardımcı regresyonundan elde edilen belirleme katsayısıdır. VIF yalnızca ikili korelasyonu değil X_j'nin diğer yordayıcıların doğrusal birleşimi tarafından açıklanma düzeyini ölçmektedir [10]. VIF matematiksel gösterimi Eş. 2.2.'de verilmiştir.

$$\mathrm{VIF}_h = \frac{1}{1 - R_h^2} \tag{2.2}$$

VIF değerinin 1'e eşit olması doğrusal şişme bulunmadığını, artan değerler ise ilgili katsayının varyansından daha fazla şişme olduğunu göstermektedir. Kategorik değişkenlerde tüm gösterge sütunlarının sabit bir terimle birlikte modele alınması gibi durumlar yapay ya da tam çoklu bağlantı oluşturabilir.

2.3.Ridge Regresyon

Ridge regresyon, OLS amaç fonksiyonuna L2 cezası ekleyerek katsayıları sıfıra doğru yaklaştırmaktadır. Hoerl ve Kennard'ın (1970) [4], özgün gösteriminde X^TX matrisine kI biçiminde pozitif bir köşegen bileşen eklenir. Yöntem yansız değildir. Amaç, küçük bir yanlılığı kabul ederek özellikle kötü koşullandırılmış tasarım matrislerinde katsayı varyansını ve ortalama karesel hatayı azaltmaktır. Sabit terim ceza dışında bırakılır ve cezanın değişken ölçeklerinden yapay biçimde etkilenmemesi için sayısal yordayıcıların standartlaştırılması gerekmektedir.

Ridge regresyonun eşdeğer cezalı amaç fonksiyonu Eş. 2.3'te verilmiştir.

$$\hat{\beta}_{Ridge} = \arg\min_{\beta}\left[\sum_{i=1}^{n}(y_i - \beta_0 - x_i^{\cdot}\,\beta)^2 + \lambda\sum_{j=1}^{p}\beta_j^2\right] \tag{2.3}$$

Hoerl ve Kennard'ın (1970) [4] kapalı form gösterimi Eş. 2.4.'te verilmiştir.

$$\hat{\beta}_{Ridge} = (X^{\cdot}\,X + kI)^{-1}X^{\cdot}\,y \tag{2.4}$$

2.4.Lasso Regresyon

Lasso (Least Absolute Shrinkage and Selection Operator), artık kareler toplamını katsayıların L1 normuna ilişkin bir kısıt altında minimize eder. L1 bölgesinin köşeli geometrisi, optimum çözümün bazı koordinatlara ulaşmasına imkan vererek otomatik değişken seçimi sağlar. Lasso katsayıları ceza nedeniyle küçültülmüş ve yanlıdır. Bu nedenle seçilen değişkenler ile katsayı büyüklükleri doğrudan nedensel etki olarak yorumlanmaktadır [12].

Lasso'nun eş değer cezalı gösterimi Eş. 2.5.'te verilmiştir.

$$\hat{\beta}_{Lasso} = \arg\min_{\beta}\left[\sum_{i=1}^{n}(y_i - \beta_0 - x_i^{\cdot}\,\beta)^2 + \lambda\sum_{j=1}^{p}|\beta_j|\right] \tag{2.5}$$

Güçlü biçimde korelasyonlu yordayıcı gruplarında Lasso benzeri bilgi taşıyan değişkenlerden yalnızca birini modelde tutma eğilimi olabilir. Seçilen değişken örneklemdeki küçük değişikliklere duyarlı olabileceğinden rastgele seçim yerine çapraz doğrulama katları veya yeniden örnekleme yöntemleri ile seçilme sıklıkları ayrıca değerlendirilmelidir.

2.5.Elastic Net Regresyon

Elastic Net, L1 ve L2 cezalarını aynı amaç fonksiyonunda birleştirerek hem katsayı daraltma ve değişken seçimi hem de korelasyonlu değişkenler için ortak daraltma davranışı sağlamayı amaçlamaktadır. L2 bileşeni korelasyonlu değişkenlerin birlikte seçilmesini önerebilir ancak bu gruplandırma etkisi her örneklemde garanti edilmez. Yöntemin p'nin n'den büyük olduğu problemlerde uygulanabilir olması genel bir avantajdır [13].

Uygulamada kullanılan Elastic Net amaç fonksiyonu Eş. 2.6.'da verilmiştir.

$$\hat{\beta}_{EN} = \operatorname{argmin}_{\beta}\left[\sum_{i=1}^{n}(y_i - \mathbf{x}_i^{\cdot}\,\beta)^2 + \lambda\left(\alpha\sum_{j=1}^{p}|\beta_j| + (1-\alpha)\sum_{j=1}^{p}\beta_j^2\right)\right] \tag{2.6}$$

Burada $\lambda \geq 0$ toplam ceza düzeyini, $0 \leq \alpha \leq 1$ ise L1-L2 karışımını belirlemektedir. Bu parametrelerle $\alpha = 1$ Lasso'ya, $\alpha = 0$ Ridge'e karşılık gelir. Aradaki değerler iki ceza türünün karışımını temsil eder.

OLS klasik varsayımlar altında güçlü bir referans modeldir. Ridge tüm katsayıları birlikte daraltır ancak genellikle sıfır üretmez. Lasso ise seyrek bir model elde edebilir fakat korelasyonlu değişkenlerde seçim kararsızlığı gösterebilir. Elastic Net ise bu iki ceza türünü birleştirerek söz konusu kararsızlığı azaltmayı amaçlar. Yöntemler veri yapısından bağımsız olarak diğerlerinden üstün değillerdir. Seçim, dış örneklem performansı, model kararlılığı ve işletme açısından yorumlanabilirlik değerlendirilerek yapılmalıdır.

2.6.Veri Ön İşleme

Logaritmik dönüşüm, varyansı daha homojen hale getirdiği durumlarda tahmin hatasını önemli ölçüde azaltabilmekte ve eğer dönüşüm varyansı istikrarlı bir hale gelmiyorsa tahmin hassasiyeti olumsuz etkilenebilmektedir [8]. Çalışma içerisinde sipariş birim tutarının sağa çarpıklığını azaltmak ve varyans yapısını daha istikrarlı biçime getirebilmek amacıyla logaritmik dönüşüm uygulanmıştır. Log tahmininin yalnızca üstel fonksiyondan geçirilmesi doğrusal olmayan dönüşüm nedeniyle koşullu ortalamayı eksik tahmin edebilir. Log hata terimlerinin koşullu olarak yaklaşık normal ve uygun varyans yapısına sahip olduğu durumda parametrik geri dönüşüm düzeltmesi Eş. 2.7.'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$Y_i = exp(\hat{y}_i + \frac{1}{2})Var(e_i)) \tag{2.7}$$

Eş. 2.7.'de yer alan varyans, log tahmin hatasının varyansını temsil etmelidir [8].

Pek çok klasik regresyon, sinir ağı ve matris tabanlı makine öğrenmesi uygulaması kategorik değişkenlerin sayısal bir gösterime dönüştürülmesini gerektirir. Tek-sıcak kodlama (One-Hot Encoding yöntemi ile doğrusal modeller için kategorik değişkenler ikili gösterge sütunlarına dönüştürülmektedir [9]. Kategori sayısı d olan bir değişken, d gösterge sütunuyla temsil edilebilir. Bununla birlikte sabit terim içeren bir doğrusal modelde bütün göstergelerin birlikte kullanılması tam doğrusal bağlantı oluşturabilmektedir. Tek-sıcak kodlama, sinir ağı literatüründe yaygın bir temsil yöntemi olarak kullanılmaktadır [3].

Veri sızıntısı, tahmin anında erişilemeyecek bilgilerin özellik oluşturma, ön işleme, hiperparametre seçimi veya model değerlendirme aşamalarında eğitim sürecine girmesidir. Böyle bir sızıntı dış örneklem performansında çarpıtılmış sonuçlara ve bilimsel tekrarlanabilirliğin zedelenmesine neden olabilmektedir [6].

2.7. Zaman Sıralı Çapraz Doğrulama

Çapraz doğrulama, tahmin riskinin değerlendirilmesi ve model ya da hiperparametre seçimi için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Uygun yapı veri üretim sürecinin bağımsızlık ve

zaman bağımlılığı özelliklerine göre belirlenmelidir [1]. Zaman sıralı verilerde k-katlı çapraz doğrulama gelecekteki gözlemlerin dolaylı biçimde eğitim sürecine girmesine neden olabileceğinden doğrulama adımları tarihsel olarak eğitim verilerinden sonra gerçekleştirilmiştir.

λ arama aralığı $[10^{-4}, 10^{3}]$ olarak logaritmik ölçekte, Elastic Net için α arama kümesi {0,1; 0,2; …; 0,9} olarak belirlenmiştir. Hiperparametreler, zaman sırasını koruyan beş katlı çapraz doğrulamada ortalama doğrulama MSE'sini minimize eden değerler üzerinden seçilmiştir. Kodlama, standardizasyon ve geçmiş dönem özelliği üretimi her katın eğitim penceresi içinde yeniden hesaplanmıştır.

2.8.Performans Ölçütleri

Modeller aynı hedef değişken ve aynı test örneklemi üzerinde karşılaştırıldığında ölçeğe bağlı RMSE ve MAE yöntemler arası göreli değerlendirmede kullanılabilmektedir [5]. Ortalama karesel hata (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE) ve belirleme katsayısı (R^2) sırasıyla aşağıdaki eşitliklerde tanımlanmıştır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - y_i)^2} \tag{2.8}$$

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|\hat{y}_i - y_i| \tag{2.9}$$

$$R^2 = 1 - \left(\sum_{i=1}^{n}(y_i - \hat{y}_i)^2 / \sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2 \right) \tag{2.10}$$

3. AMAÇ VE KAPSAM

Bu çalışmanın temel amacı, B2B trafo üretim sektöründe Ridge, Lasso ve Elastic Net yöntemlerinin sipariş tahminindeki karşılaştırmalı performansını pilot uygulama çerçevesinde incelemek ve karar destek sistemleri için kullanılabilir bir altyapı oluşturmaktır. Karar destek sistemleri (KDS) için bu altyapı, tek bir test örneklemindeki çok küçük hata farklarından mutlak bir en iyi model seçimi değil, tahmin doğruluğunu, değişken seçimini, katsayı kararlılığını ve KDS'ye entegre edilecek yöntemlerin gereksinim bakımından davranışlarını değerlendirmektir.

Çalışma üç farklı adımda KDS altyapısının geliştirilmesini hedeflemektedir. İlk olarak mevcut pilot çalışmada model geliştirme ve yöntemlerin karşılaştırılması amaçlanmaktadır. İkinci

adımda farklı dönem ve kategorilerden elde edilen veriler ile modelin genişletilmesi, zaman sıralı dış örneklem performansının, seçilen değişkenlerin ve katsayıların kararlılığının izlenmesidir. Üçüncü ve son aşamada ise model versiyonlama, veri ve kavram kayması tespiti, otomatik yeniden eğitim döngüleri ile modelin üretim aşamasına taşınması yer almaktadır. Çalışma mevcut yapısı ile birinci adımda, pilot çalışma olarak yer almaktadır.

4. UYGULAMA VE BULGULAR

Çalışmada kullanılan tabular veri seti n > 3.000 koşulundadır. OLS için oluşturulan aday tasarım matrisi üzerinde VIF analizi bazı değişkenlerde yüksek değerler göstermiştir. Bu durum Ridge'nin varyans azaltma gerekçesini desteklemektedir. Lasso ve Elastic Net'in ise seyreklik ve korelasyonlu değişkenlerde dengeli daraltma amaçları bulunmaktadır [7].

Tablo1. OLS aday tasarım matrisi için VIF sonuçları

Değişken	VIF Değeri
D1	23,16
D2	22,21
D3	13,22
D4	8,07
D5	7,70
D6	6,03

Modellere ilişkin sonuçlar Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Yöntem karşılaştırma sonuçları

Yöntem	RMSE	MAE	R^2	λ^*	α	Sıfırlanan katsayı sayısı
OLS	0,3205	0,2422	0,8288	-	-	0
Ridge	0,3205	0,2422	0,8288	0,000163	0 (sabit)	0
Lasso	0,3201	0,2420	0,8290	0,000100	1 (sabit)	1
Elastic Net	0,3204	0,2422	0,8289	0,000100	0,3	0

Tablo 2'de yer alan sonuçlara göre test örnekleminde dört yöntemin RMSE ve MAE değerleri birbirlerine oldukça yakındır. En düşük RMSE değeri Lasso modelinde elde edilmiştir. Buna karşılık OLS ve Lasso arasındaki fark 0,0004 olarak elde edilmiştir.

Lasso, $\lambda^* = 0{,}0001$ değerinde D1 değişken katsayısını sıfırlamıştır. Bu sonuç, zamansal bilginin mevsimsel dalgalanmalar yerine aylık gecikmeli ortalama değişkenler aracılığıyla daha etkin taşındığı sonucunu ortaya koymaktadır.

Elastic Net için $\alpha^* = 0{,}3$ ile seçilmesi L2 (Ridge) cezasının öne çıktığını ve böylece modelin birbirleriyle ilişkili değişkenleri birlikte ele aldığını gösterir. Ancak hangi değişkenlerin beraber seçildiği ve bu seçimin ne kadar istikrarlı olduğu ortaya konulmadan gruplandırma etkisinin iyi sonuçlar verdiği söylenemez.

5. SONUÇLAR

Kullanılan dört yöntemin log ölçeğindeki hata ölçülerinin birbirlerine yakın olması incelenen test döneminde düzenlileştirmenin OLS'ye göre büyük bir tahmin üstünlüğü oluşturmadığını göstermektedir. Elde edilen sonuç doğrudan özellik setinin veya katsayılarının kararlı olduğunu vermemekte, farklı zaman pencerelerindeki hata dağılımları, katsayı değişimleri, seçilme sıklıkları ve yeniden örnekleme sonuçlarıyla ayrıca değerlendirilmesi gerekmektedir.

Lasso'nun bir zaman göstergesini sıfırlaması seyrek model üretme özelliğini ortaya koymaktadır. Elastic Net'te $\alpha = 0,3$ değerinin seçilmesi ise L2 ağırlıklı daraltma eğilimiyle uyumludur. Ayrıca ilk bulgu mevsimselliğin yokluğunu, ikinci bulgu ise gruplandırma etkisinin gerçekleştiği sonucunu vermektedir.

Geçmiş dönemlere ait test veri seti kullanılarak hazırlanan bu pilot çalışmanın çeşitli sınırlılıkları bulunmaktadır. İlk olarak elde edilen bulgular sektör genelinde doğrudan genellenemez. İkinci olarak model içerisinde pek çok dışsal değişken kapsam dışı tutulmuştur. Üçüncü olarak model karşılaştırması tek bir pilot test tasarımına ve log ölçeğindeki ölçütlere dayanmaktadır. Dördüncü olarak ise logaritmik geri dönüşüm düzeltmesi hata dağılımı ve varyans yapısına duyarlıdır. Beşinci ve son sınırlılık ise değişken seçimi kararlılığı, katsayı belirsizliği ve canlı ortam performansı henüz doğrulanmamıştır.

Çalışma ilerleyen aşamalarda modelin kayan pencere ile birden fazla dış örneklem döneminde değerlendirilmesini amaçlamaktadır. Sonrasında ise Bootstrap veya tekrarlı zaman bölmeleriyle değişken seçiminin kararlılığının incelenmesi, yeni değişkenlerin eklenmesi, model versiyonlama, sapma tespiti, yeniden eğitim ve KDS altyapısını oluşturan bir yapının ortaya çıkartılması amaçlanmaktadır.

KAYNAKÇA

[1] Arlot, S., & Celisse, A. (2010). A survey of cross-validation procedures for model selection. *Statistics Surveys*, *4*, 40–79. https://doi.org/10.1214/09-SS054
[2] Greene, W. H. (2003). *Econometric analysis* (5th ed.). Prentice Hall.
[3] Hancock, J. T., & Khoshgoftaar, T. M. (2020). Survey on categorical data for neural networks. *Journal of Big Data*, *7*, Article 28. https://doi.org/10.1186/s40537-020-00305-w
[4] Hoerl, A. E., & Kennard, R. W. (1970). Ridge regression: Biased estimation for nonorthogonal problems. *Technometrics*, *12*(1), 55–67. https://doi.org/10.1080/00401706.1970.10488634
[5] Hyndman, R. J., & 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
[6] Kapoor, S., & Narayanan, A. (2023). Leakage and the reproducibility crisis in machine-learning-based science. *Patterns*, *4*(9), Article 100804. https://doi.org/10.1016/j.patter.2023.100804
[7] Kim, J. H. (2019). Multicollinearity and misleading statistical results. *Korean Journal of Anesthesiology*, *72*(6), 558–569. https://doi.org/10.4097/kja.19087
[8] Lütkepohl, H., & Xu, F. (2012). The role of the log transformation in forecasting economic variables. *Empirical Economics*, *42*(3), 619–638. https://doi.org/10.1007/s00181-010-0440-1

[9] Potdar, K., Pardawala, T. S., & Pai, C. D. (2017). A comparative study of categorical variable encoding techniques for neural network classifiers. *International Journal of Computer Applications*, *175*(4), 7–9. https://doi.org/10.5120/ijca2017915495
[10] Shrestha, N. (2020). Detecting multicollinearity in regression analysis. *American Journal of Applied Mathematics and Statistics*, *8*(2), 39–42. https://doi.org/10.12691/ajams-8-2-1
[11] Syntetos, A. A., Babai, Z., Boylan, J. E., Kolassa, S., & Nikolopoulos, K. (2016). Supply chain forecasting: Theory, practice, their gap and the future. *European Journal of Operational Research*, *252*(1), 1–26. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.11.010
[12] Tibshirani, R. (1996). Regression shrinkage and selection via the lasso. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, *58*(1), 267–288. https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1996.tb02080.x
[13] Zou, H., & 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

ÜRETİM SEKTÖRÜNDE MONTE CARLO VE COPULA TABANLI STOKASTİK HACİM MODELLEMESİ

Ahmet GÜRGAŞİN
Astor Enerji A.Ş. AR-GE Merkezi, Sincan, Ankara.
ORCID ID: 0000-0003-1954-0253

ÖZET

Bu çalışma, trafo üretim sektöründe aylık güç üretim hacminin stokastik olarak modellenmesi ve gelecek dönemlere ilişkin olasılık dağılımının tahmin edilmesini içermektedir. Bu amaçla Monte Carlo simülasyonu ve Copula tabanlı bağımlılık modellemesi bir arada kullanılmıştır. Geçmiş dönemlere ait üretim verisi kullanılarak iki farklı ürün sınıfına ait bağımsız marjinal dağılımlar belirlenmiş ve gruplar arası bağımlılık yapısı Copula teorisi aracılığıyla modellenmiştir. Dağılım uygunluğunun belirlenmesi için Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling ve Bayesyen Bilgi Kriteri (Bayesian Information Criterion-BIC) testleri uygulanmış, birinci sınıf için Weibull diğer sınıf için ise Gamma dağılımları seçilmiştir. Gruplar arası bağımlılık yapısının modellenmesinde dört farklı Copula ailesi içerisinden Clayton Copula modeli tercih edilmiştir. 10.000 tekrarlı bir Monte Carlo simülasyonu sonucunda gelecek n döneme ilişkin aylık P10, P20, P50 ve P90 tahmin aralıkları ile kümülatif üretim dağılımları elde edilmiştir. Model performansı geri test protokolüyle değerlendirilerek örneklem için kapsama oranı her iki sınıfta da %85 üzerinde olarak hesaplanmıştır. Örneklem dışı doğrulama döneminde gerçekleşen değerlerin tamamı tahmin aralıkları arasında yer almıştır. Elde edilen sonuçlar sınırlı veri kümelerinde stokastik modelin karar destek sistemleri için uygulanabilir çıktılar sağlayabileceğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Monte Carlo simülasyonu, Copula modellemesi, Stokastik modelleme

MONTE CARLO AND COPULA-BASED STOCHASTIC VOLUME MODELING IN THE MANUFACTURING SECTOR

ABSTRACT

This study involves the stochastic modeling of monthly power production volume in the transformer manufacturing sector and the estimation of probability distributions for future periods. To this end, Monte Carlo simulation and Copula-based dependence modeling were used in combination. Using historical production data, independent marginal distributions for two different product classes were determined, and the inter-group dependency structure was modeled using Copula theory. To determine distribution suitability, the Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling, and Bayesian Information Criterion (BIC) tests were applied; the Weibull distribution was selected for the first class and the Gamma distribution for the other class.

Among four different Copula families, the Clayton Copula model was preferred for modeling the intergroup dependency structure. As a result of a Monte Carlo simulation with 10.000 repetitions, monthly P10, P20, P50 and P90 prediction intervals and cumulative production distributions for the next n periods were obtained. Model performance was evaluated using a back-testing protocol, and the coverage ratio for the sample was calculated to be above 85% for both classes. All observed values during the out-of-sample validation period fell within the prediction intervals. The results demonstrate that a stochastic model can provide applicable outputs for decision support systems even with limited datasets.

Keywords: Monte Carlo simulation, Copula modeling, Stochastic modeling

1. GİRİŞ

Endüstriyel üretim sistemlerinde üretim hacmin sadece geçmiş ortalama ve değerler ile açıklanamayacak kadar değişken olabilmektedir. Proje büyüklükleri, üretim süreleri, ürün bileşimi ve müşteri isteklerine göre değişimler olabilmektedir. B2B üretim sektöründe karar vericilerin üretime dair beklenen hacim dışında düşük ve yüksek gerçekleşme senaryoları ile bu senaryoların olasılıksal sınırlarını ve ürün kategorilerinin birlikte hareket etme biçimini de incelemesi gerekmektedir.

Üretim planlama literatüründe belirsizliğin modellenmesi farklı yöntemlerle ele alınmaktadır. Fabianova ve ark. (2019) [5], nicel tahmin yöntemleri ile Monte Carlo simülasyonunu operasyonel üretim planlama özelinde birlikte kullanmışlardır. Li ve ark. (2016) [10], üretim planlarının yalnızca beklenen performans özelinde değil, varyanslar ve ilgili olasılıklar üzerinden de değerlendirilebileceği bir Monte Carlo yaklaşımı önermişlerdir. Thevenin ve ark. (2021) [15] ise talep belirsizliği altındaki çok kademeli MRP (Material Requirements Planning) problemlerinde iki ve çok aşamalı stokastik optimizasyon modellerinin geleneksel yöntemlere göre daha düşük maliyetli stok planlaması üretebildiğini göstermişlerdir.

Monte Carlo yöntemi, Metropolis ve Ulam (1949) [11] tarafından analitik olarak ele alınması güç ve matematiksel fizik ve olasılık problemlerinde çok sayıda örneğin üretilmesine dayalı istatistiksel yaklaşım ile ortaya konulmuştur. Günümüzde yöntem; örnekleme, tahmin ve optimizasyon gibi çeşitli alanlarda kullanılan esnek ve ölçeklenebilir bir hesaplama yaklaşımıdır [9]. Monte Carlo simülasyonu, özellikle analitik dağılımı doğrudan elde edilemeyen toplamlar, risk ölçüleri ve ortak senaryolar için uygun bir araç durumundadır [13,14].

Çalışma kapsamında ele alınan iki üretim kategorisinin ayrı ayrı modellenmesi, kategorilerin birlikte düşük veya yüksek hacimlere yönelme eğilimini net olarak açıklamayabilir. Doğrusal

korelasyon, özellikle normal veya daha genel olarak eliptik dağılım ailesi dışında kalan yapılarda bağımlılığın tüm özelliklerini temsil etmeyebilir [4]. Copula yaklaşımı, marjinal dağılımların biçimi ile değişkenler arasındaki bağımlılık yapısının ayrı bileşenler olarak modellenmesine imkan tanımaktadır [6,12]. Farklı Copula ailelerinin alt ve üst kuyruk davranışları birbirinden ayrıldığı için model seçimi, yalnızca ortalama bağımlılığa değil, ortak uç hareketlere de duyarlı hale gelir [8].

Bu çalışmada, veri kısıtlı bir endüstriyel üretim ortamında uygulanabilir ve denetlenebilir bir pilot model geliştirmeyi amaçlamaktadır. Çalışma, gerçekleşen üretim hacimlerinin marjinal dağılımlarını belirlemek; iki üretim kategorisi arasındaki bağımlılığı alternatif Copula yöntemleriyle karşılaştırmak; aylık ve yıllık kümülatif olasılıksal hacim projeksiyonları üretmek ile kapsama oranı ve alt kuyruk ölçüleri aracılığıyla modelin işletme karar desteği için nasıl yorumlanabileceği göstermeyi amaçlamaktadır.

2. METODOLOJİ

Bu bölümde çalışmanın hazırlanmasında kullanılan araştırma modeli ve teorik temelleri hakkında bilgiler yer almaktadır.

2.1.Stokastik Modelleme Çerçevesi

Çalışmada önerilen yöntem beş aşamadan oluşmaktadır. Marjinal dağılımların tahmini, yapısal kararlılığın belirlenmesi, Copula yöntem seçimi, Monte Carlo simülasyonu ve model doğrulama ile risk özetlerinin üretilmesi şeklindedir. Her simülasyon tekrarında iki kategori için bağımlı uniform değerlerler seçilen Copula'dan üretilmekte ve ters marjinal dağılım fonksiyonları aracılığıyla ürüne ilişkin güç hacmi ölçeğine dönüştürülmektedir.

$$U^{(i,t)} = \left(U_A^{(i,t)}, U_B^{(i,t)}\right) \sim C(\cdot;\tilde{\theta}), \quad i = 1,\ldots,N, \quad t = 1,\ldots,12$$

$$X_k^{(i,t)} = F_k^{-1}\left(U_k^{(i,t)};\hat{\eta}_k\right), \quad k \in \{A,B\}$$

$$\tilde{Q}_{k,\alpha}(t) = \text{Quantile}_\alpha\left(X_k^{(1,t)},\ldots,X_k^{(N,t)}\right)$$

Burada C seçilen Copula'yı, $\hat{\theta}$ Copula parametrelerini, F_k^{-1} kategori k için ters marjinal dağılım fonksiyonunu ve $\hat{\eta}_k$ marjinal parametre tahminlerini göstermektedir. Modelde takvim ayına özgü trend, mevsimsellik veya dışsal değişken bulunmadığından her ay aynı koşullu dağılımdan üretilmektedir. Aylar arası çekilişler model koşulu altında bağımsız, aynı ay içindeki kategori değerleri ise Copula aracılığıyla bağımlıdır. Bu nedenle çıktı, takvim aylarını birbirinden ayıran dinamik bir tahminden çok 12 dönemlik dağılımsal senaryo biçimindedir.

2.2. Monte Carlo Simülasyonu

Monte Carlo simülasyonu, rassal nesne veya süreçlerin bilgisayar ortamında üretilmesine ve ilgilenilen niceliklerin çok sayıda tekrar üzerinden tahmin edilmesine dayanmaktadır [9]. X rassal değişkeni ve $g(X)$ ilgilenilen çıktı olmak üzere;

$$\mathrm{E}[g(X)] = \int g(x) f(x) dx$$

ifadesi, bağımsız örneklerden hesaplanan Monte Carlo tahmin tahmincisiyle yaklaşıklandırılır.

$$\hat{\mu}_N = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} g(X_i), \quad X_i \overset{\text{i.i.d.}}{\sim}$$

Büyük Sayılar Kanunu altında $\hat{\mu}_N$ hedeflenen beklenen değere yakınsar. Standart Monte Carlo hatası örnek sayısının kareköküyle ters orantılıdır [13,14].

$$SE_{MC} = \frac{\hat{\sigma}}{\sqrt{N}}, \qquad \hat{\sigma}^2 = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(g(X_i) - \hat{\mu}_N)^2$$

Bu çalışmada *N=10000* tekrarlı bir simülasyon ve 12 aylık dönem kullanılmıştır. Kümülatif güç hacminin dağılımı, her simülasyonda aylık değerlerin toplamı ile hesaplanmıştır.

$$S_k^{(i)} = \sum_{t=1}^{12} X_k^{(i,t)}$$

Elde edilen 12 aylık kümülatif P10, P50 ve P90 değerleri simülasyon yoluyla elde edilen toplam dağılımın kantilleridir.

2.3.Copula Tabanlı Model

Copula gösterimi, iki değişkenin ortak dağılımını marjinal dağılımlar ve bağımlılık bileşeni olarak ayırır.

$$H(x_A, x_B) = C\big(F_A(x_A), F_B(x_B)\big)$$

Bu yapı ile Kategori A ve Kategori B için farklı marjinal dağılım aileleri seçilebilirken, kategoriler arasındaki bağımlılık ayrı bir fonksiyon ile temsil edilmektedir [6,12]. Copula tabanlı yaklaşım, doğrusal korelasyonun tek başına açıklayamadığı ortak uç davranışların incelenmesini de mümkün kılar [4].

Çalışmada Gaussian, Student-t, Clayton ve Gumbel Copula yöntemleri karşılaştırılmıştır. Gaussian Copula asimptotik kuyruk bağımlılığı üretmemektedir. Student-t iki kuyrukta simetrik bağımlılığa, Clayton alt kuyruk bağımlılığına ve Gumbel üst kuyruk bağımlılığına izin verir [8]. Clayton Copula'nın iki değişkenli biçimi,

$$C_\theta(u,v) = \left(u^{-\theta} + v^{-\theta} - 1\right)^{-1/\theta}, \quad \theta > 0$$

ve alt kuyruk bağımlılık katsayısı,

$$\lambda_L = 2^{-1/\theta}$$

şeklindedir [8,12].

Tahmin iki aşamada yürütülmüştür. İlk olarak her kategori için marjinal parametreler maksimum olabilirlikle tahmin edilmiş, daha sonra gözlemler $u_{kt} = \hat{F}_k(x_{kt})$ dönüşümüyle birim aralığa taşınmıştır. Copula parametreleri dönüştürülmüş gözlemler üzerinden log-olabilirliğin maksimize edilmesiyle belirlenmiştir.

$$\tilde{\theta} = argmax_{\theta} \sum_{t=1}^{T} logc\left(\hat{F}_A(x_{At}), \hat{F}_B(x_{Bt}); \theta\right)$$

Bu ifade, marjinal ve bağımlılık bileşenlerinin ardışık olarak tahmin edildiği iki aşamalı parametrik olabilirlik yaklaşımını göstermektedir. Copula modellemesinde bağımlılık, parametre tahmini, dağılım seçimi ve uygunluk değerlendirmesi birlikte ele alınması gerekmektedir [6].

2.4.Marjinal Dağılım Seçimi

Çalışma kapsamında aday marjinal dağılımlar Normal, Log-normal, Gamma ve Weibull dağılımlarından oluşturulmuştur. Dağılım seçimi, tek bir istatistiğe dayandırılmamıştır. Parametreler maksimum olabilirlik ile tahmin edilmiş, ampirik ve teorik dağılım farkını ölçen Kolmogorov-Smirnov (KS) ve Anderson-Darling (AD) istatistikleri, AIC (Akaike Information Criterion, Akaike Bilgi Kriteri) ve BIC (Bayesian Information Criterion, Bayesçi Bilgi Kriteri) değerleri ile Q-Q grafikleri birlikte değerlendirilmiştir. Anderson-Darling istatistiğinde kullanılan ağırlık yapısı dağılımın alt ve üst kuyruklarındaki sapmalara görece daha fazla ağırlık verir [1]. Bununla birlikte farklı dağılım ailelerine ilişkin parametre tahmini ve uyum yinelemeli bir süreç olarak ele alınmaktadır [3].

Model karmaşıklığını cezalandıran BIC aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$\mathrm{BIC} = k\ln(n) - 2\ln(\hat{L})$$

Burada k tahmin edilen parametre sayısını, n gözlem sayısını ve $\hat{L}$ maksimize edilmiş olabilirliği göstermektedir. Daha düşük BIC, yalnızca karşılaştırılan aday modeller arasında uyum ve sadelik bakımından daha elverişli modele işaret eder [15].

2.5.Yapısal Kararlılık Tanısı

Brown ve ark. (1975) [2], regresyon ilişkilerinin zaman içindeki kararlılığını incelemek için özyinelemeli kalıntılara dayalı CUSUM ve CUSUM-kareleri testlerini geliştirmiştir. Daha sonraki ampirik dalgalanma süreçleri, OLS kalıntıları dahil farklı kalıntı türleri üzerinden yapısal değişim tanısı kurulmasına olanak vermiştir. Bu çalışmada OLS-CUSUM süreci R ortamındaki strucchange paketiyle uygulanmıştır [17].

2.6.Model Doğrulama

P10-P90 bandının nominal kapsama düzeyi %80'dir. Gerçekleşen değerin ilgili tahmin aralığında bulunma oranı,

$$CR = \frac{1}{n}\sum_{t=1}^{n} 1\left(x_t \in [L_t, U_t]\right)$$

ile hesaplanmıştır. Aralık genişliği ile aralık dışı sapmaları birlikte değerlendirmek için Gneiting ve Raftery'nin (2007) [7] Interval Score ölçüsü kullanılmıştır. P10-P90 bandında $\alpha = 0,20$ olmak üzere aşağıdaki gibi ifade edilmektedir.

$$IS_{\alpha}(L,U;x) = (U-L) + \frac{2}{\alpha}(L-x)1(x<L) + \frac{2}{\alpha}(x-U)1(x>U)$$

Düşük skor, daha dar bantlara ve daha iyi aralık performansını vermektedir. Gözlem bandın içinde ise ceza terimleri sıfır olacaktır. Bu durumda skor yalnızca bant genişliğine eşit olacaktır. Çalışmada değişken kayıp değil pozitif üretim hacmi olduğundan işaret ve kuyruk yönü karşılıklığını önlemek amacıyla alt kuyruk eşiği ve Alt Kuyruk Koşullu Ortalama (AKKO) kullanılmıştır.

$$Q_{k,\alpha} = F_k^{-1}(\alpha)$$

$$\text{AKKO}_{k,\alpha} = \text{E}\left[X_k \mid X_k \le Q_{k,\alpha} \right], \quad \alpha = 0,10$$

Burada $Q_{0,10}$ alt yüzde 10'luk bölgenin eşiğini, AKKO ise bu eşit altında kalan düşük üretim hacimlerinin ortalamalarını göstermektedir.

3. AMAÇ VE KAPSAM

Çalışma veri kısıtlı bir endüstriye üretim bağlamında, sadece gerçekleşen aylık güç üretim hacmi değerleri kullanılarak iki üretim kategorisinin marjinal dağılımları ve arasındaki bağımlılığın modellenebilir olup olmadığı araştırma sorusu üzerine kuruludur. Buradan elde edilecek sonuçların işletme karar destek sistemleri için 12 aylık olasılıksal hacim yapısı üretebilmesi hedeflenmektedir.

Bu kapsamda dört ana hedef belirlenmiştir. Bunlardan ilki her kategori için uygun marjinal dağılımın seçilmesidir. İkincisi kategoriler arasındaki bağımlılığı ve alt kuyruk davranışını modellemektir. Üçüncü olarak kümülatif P10-P50-P90 kantillerini üretmek ve son olarak ise kurulum ve doğrulama dönemlerinde kapsama olasılıkları ile aralık performanslarının incelenmesidir.

Veriler iki ürün kategorisi için Kategori A ve Kategori B olarak adlandırılmıştır. Modelin temel varsayımı, kurulum örnekleminde tahmin edilen marjinal dağılımların ve kategoriler arası bağımlılık yapısının inceleme dönemi boyunca geçerliliğini korumasıdır. Model trend, mevsimsellik, makroekonomik değişken veya kapasiteye kısıtı içermemektedir. Bu nedenle sonuçlar üretim planının kesin tahmini veya kapasite yeterliliğine ilişkin gösterge değil, geçmiş dağılımsal yapının devamı altında meydana gelebilecek hacim aralıkları olarak değerlendirilmelidir.

Pilot modelin işletme tarafında kullanım amacı tek bir güç üretim hacmi yerine farklı olasılık düzeylerinde bu değerin elde edilmesidir. P50 standart senaryoyu, P10 düşük hacim bölgesini, P90 ise yüksek hacim bölgesini ifade etmektedir. Kategorilerin ortak alt kuyruk davranışı, iki üretim portföyünün aynı dönemde düşük hacim üretme eğiliminin izlenmesine imkan vermektedir. Kümülatif dağılımlar ise yıllık hedeflerin yerine geçmeden 12 aylık hacim belirsizliğini değerlendirmek için kullanılabilir.

4. UYGULAMA VE BULGULAR

İki kategori arasında hem ölçek hem de dağılım biçimi bakımından belirgin farklar bulunmaktadır. Kategori A daha yüksek hacim ve daha geniş sağ kuyruğa sahipken, Kategori B daha dar bir pozitif dağılım yapısına sahiptir. Otokorelasyon sonuçları Kategori A için zayıf bir yapı, Kategori B için ise gecikmeli anlamlı ilişki tanımlamaktadır.

Aday dağılımlarının uyum istatistikleri ve bilgi kriterlerine ilişkin sonuçlar Tablo 1'de yer almaktadır.

Tablo 3. Aday marjinal dağılımların uyum istatistikleri ve bilgi kriterleri

Kategori / Dağılım	KS	AD	AIC	BIC	Karar
Kategori-A / Normal	0,114	1,406	1004,6	1008,8	-
Kategori-A / Log-normal	0,126	1,154	994,5	998,6	-
Kategori-A / Weibull	0,103	0,687	989,8	994,0	Seçildi
Kategori-B / Normal	0,108	0,634	889,7	893,9	-
Kategori-B / Gamma	0,091	0,817	889,7	893,9	Seçildi
Kategori-B / Weibull	0,116	1,075	892,0	896,2	-

Kategori A'da Weibull dağılımı en düşük AIC ve BIC değeri ile en düşük KS ve AD istatistiklerini üretmiştir. Sayısal ve grafiksel ölçütlerin ortak değerlendirilmesiyle Kategori A için Weibull dağılım seçilmiştir. Kategori B'de ise Normal ve Gamma dağılımlarının bilgi kriterleri olmakla birlikte Gamma dağılımı daha düşük KS değeri üretmiştir. Ayrıca güç üretim

hacmi negatif değer olamayacağından dolayı Normal dağılım yerine Gamma dağılımı tercih edilmiştir.

Kategori A ve Kategori B için $\tau_K = 0,252, \quad \rho_S = 0,371$ olarak hesaplanmıştır. Her iki ölçüde pozitif ancak tam bağımsızlıktan uzak bir yapıyı ifade etmektedir. Farklı Copula ailelerine ilişkin sonuçlar Tablo 2'de yer almaktadır.

Tablo 2. Copula sonuçlarının karşılaştırması

Copula ailesi	**AIC**	**BIC**	**Tahmin edilen parametre**	**Kuyruk özelliği**
Clayton	-12,91	-10,82	$\theta = 0,852$	Alt kuyruk, seçildi
Gaussian	-10,93	-8,84	$\rho = 0,447$	Asimptotik kuyruk bağımlılığı yok
Student-t	-9,19	-5,00	$\rho = 0,435;\ df = 5,66$	Simetrik kuyruk bağımlılığı
Gumbel	-8,48	-6,39	$\theta = 1,355$	Üst kuyruk

Clayton Copula, karşılaştırılan aday aileler arasında en düşük AIC ve BIC değerlerini üretmiştir. Tahmin edilen $\theta = 0,852$ değeri için alt kuyruk bağımlılık katsayısı $\hat{\lambda}_L = 2^{-1/0,852} = 0,444$ olarak hesaplanmıştır. Bu katsayı, iki kategorinin alt kantillere birlikte yönelme olasılığının uç bölgede sıfıra kaybolmadığını gösteren bir bağımlılık ölçüsüdür.

Seçilen Clayton Copula'dan üretilen bağımlı uniform değerler, Kategori A için Weibull ve Kategori B için Gamma ters dağılım fonksiyonlarıyla dönüştürülmüştür. N=10000 tekrarlı bir simülasyon çalışması sonucunda Monte Carlo standart hatası Kategori A için 9,97 ve Kategori B için 4,04 olarak elde edilmiştir.

Tablo 3. Aylık ve 12 aylık kümülatif simülasyon kantilleri

Metrik	**Ay 1**	**Ay 3**	**Ay 6**	**Ay 9**	**Ay 12**	**12 ay kümülatif**
Kategori A P10	503	516	515	510	501	15799
Kategori A P50	1515	1522	1523	1533	1512	19998
Kategori A P90	3035	3017	3065	3034	3031	24526
Kategori B P10	727	725	726	732	726	12755
Kategori B P50	1168	1158	1170	1163	1164	14475
Kategori B P90	1737	1740	1754	1761	1750	16321

Tablo 3'te yer alan sonuçlar incelendiğinde Kategori A'nın P10-P90 genişliğinin Kategori B'den çok daha yüksek olduğu görülmektedir. Bantların 12 ay boyunca birbirlerine yakın değerler alması modelin tarihsel olarak trend veya mevsimsellik bileşeni içermemesinin bir sonucudur. Bu nedenle aylık kantiller ay bazında farklı ekonomik beklentiler değil aynı tahmin

edilen dağılımdan elde edilen bağımsız simülasyon örneklerindeki küçük Monte Carlo farklılıklarını ifade etmektedir.

Model davranışı, kurulum örneklemi ve model dışında tutulan son üç ay için ayrı değerlendirilmiştir. P10-P90 bandının nominal kapsama hedefi 0,80 olarak elde edilmiştir.

Tablo 4. Kurulum ve örneklem dışı doğrulama sonuçları

Değerlendirme	Kategori	Kapsama oranı
Kurulum örneklemi	Kategori A	0,867
Kurulum örneklemi	Kategori B	0,850
Örneklem dışı, 3 ay	Kategori A	1,000
Örneklem dışı, 3 ay	Kategori B	1,000

Kurulum örneklemindeki kapsama oranları Kategori A için 0,867 ve Kategori B için 0,850 olarak hesaplanmıştır. Her iki sonuçta nominal 0,80 değerinin üzerinde kalmıştır. Bu sonuç modelin kurulduğu veri üzerindeki betimsel uyumu göstermektedir.

Örneklem dışında kalan üç gözlemin tamamı P10-P90 bandında kalmıştır. Bununla birlikte üç gözlemden oluşan pencere gerçek kapsama olasılığının güvenilir biçimde tahmin edilmesi için yetersiz kalabilmektedir.

5. SONUÇLAR

Elde edilen bulgular endüstriyel üretim sektöründe sadece üretim bağlamında ürün güç hacimleri kullanılarak iki kategorili stokastik hacim modeli kurulabileceğini göstermektedir. Model, farklı marjinal dağılımlar ve kategoriler arasındaki bağımlılığı aynı çerçevede birleştirerek aylık ve kümülatif olasılıksal aralıklar üretmiştir.

Kategori A için seçilen Weibull dağılımı ile geniş P10-P90 aralığı bu kategoride sağa çarpık ve yüksek yayılımlı bir hacim yapısını göstermektedir. Kategori B için seçilen Gamma dağılımı, pozitif destekli ve Kategori A'ya göre daha yoğun bir dağılım sağlamaktadır.

Clayton Copula'nın seçilmesi, bağımlılık yapısının sadece korelasyon ile ifade edilmesinin yeterli olmayabileceğini göstermektedir. Tahmin edilen pozitif alt kuyruk bağımlılığı, iki kategorinin çok düşük hacim bölgelerine birlikte yönelme eğiliminin bağımsızlık varsayımına göre daha güçlü olduğu sonucunu vermektedir.

Çalışmanın çeşitli sınırlılıkları bulunmaktadır. Bunlardan ilki tek bir işletme için iki kategori ile test veri seti kullanılarak hazırlanmış olmasıdır. Bulguların benzer sektörlerde doğrudan genellenmesi yapılmamıştır. İkinci olarak trend, mevsimsellik ve dışsal değişken içermeyen statik bir dağılım modeli olmasıdır. Elde edilen sonuçlar zaman bağımlılığının modele dahil

edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Üçüncü sınırlılık ise örneklem dışı doğrulamanın yalnızca üç ayla sınırlı olmasıdır.

KAYNAKÇA

[1] Anderson, T. W., & Darling, D. A. (1952). Asymptotic theory of certain "goodness of fit" criteria based on stochastic processes. *The Annals of Mathematical Statistics*, *23*(2), 193–212. https://doi.org/10.1214/aoms/1177729437
[2] Brown, R. L., Durbin, J., & Evans, J. M. (1975). Techniques for testing the constancy of regression relationships over time. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, *37*(2), 149–163. https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1975.tb01532.x
[3] Delignette-Muller, M. L., & Dutang, C. (2015). fitdistrplus: An R package for fitting distributions. *Journal of Statistical Software*, *64*(4), 1–34. https://doi.org/10.18637/jss.v064.i04
[4] Embrechts, P., McNeil, A. J., & Straumann, D. (2002). Correlation and dependence in risk management: Properties and pitfalls. In M. A. H. Dempster (Ed.), *Risk management: Value at risk and beyond* (pp. 176–223). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511615337.008
[5] Fabianova, J., Kacmary, P., & Janekova, J. (2019). Operative production planning utilising quantitative forecasting and Monte Carlo simulations. *Open Engineering*, *9*(1), 613–622. https://doi.org/10.1515/eng-2019-0071
[6] Genest, C., & Favre, A.-C. (2007). Everything you always wanted to know about copula modeling but were afraid to ask. *Journal of Hydrologic Engineering*, *12*(4), 347–368. https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2007)12:4(347)
[7] Gneiting, T., & Raftery, A. E. (2007). Strictly proper scoring rules, prediction, and estimation. *Journal of the American Statistical Association*, *102*(477), 359–378. https://doi.org/10.1198/016214506000001437
[8] Joe, H. (2014). *Dependence modeling with copulas*. Chapman & Hall/CRC. https://doi.org/10.1201/b17116
[9] Kroese, D. P., Brereton, T., Taimre, T., & Botev, Z. I. (2014). Why the Monte Carlo method is so important today. *WIREs Computational Statistics*, *6*(6), 386–392. https://doi.org/10.1002/wics.1314
[10] Li, M., Yang, F., Uzsoy, R., & Xu, J. (2016). A metamodel-based Monte Carlo simulation approach for responsive production planning of manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Systems*, *38*, 114–133. https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2015.11.004
[11] Metropolis, N., & Ulam, S. (1949). The Monte Carlo method. *Journal of the American Statistical Association*, *44*(247), 335–341. https://doi.org/10.1080/01621459.1949.10483310
[12] Nelsen, R. B. (2006). *An introduction to copulas* (2nd ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/0-387-28678-0
[13] Robert, C. P., & Casella, G. (2004). *Monte Carlo statistical methods* (2nd ed.). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4757-4145-2
[14] Rubinstein, R. Y., & Kroese, D. P. (2016). *Simulation and the Monte Carlo method* (3rd ed.). John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/9781118631980
[15] Schwarz, G. (1978). Estimating the dimension of a model. *The Annals of Statistics*, *6*(2), 461–464. https://doi.org/10.1214/aos/1176344136
[16] Thevenin, S., Adulyasak, Y., & Cordeau, J.-F. (2021). Material requirements planning under demand uncertainty using stochastic optimization. *Production and Operations Management*, *30*(2), 475–493. https://doi.org/10.1111/poms.13277
[17] Zeileis, A., Leisch, F., Hornik, K., & Kleiber, C. (2002). strucchange: An R package for testing for structural change in linear regression models. *Journal of Statistical Software*, *7*(2), 1–38. https://doi.org/10.18637/jss.v007.i02

KEDİLERDE TELMİSARTAN KULLANIMI

Dr. Öğr. Üye. Tuğba Melike PARLAK
Selçuk Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Farmakoloji ve Toksikoloji Anabilim Dalı, Konya
ORCID ID: 0000-0003-3277-0336
Prof. Dr. Enver YAZAR
Selçuk Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Farmakoloji ve Toksikoloji Anabilim Dalı, Konya
ORCID ID: 0000-0002-6508-7245

ÖZET

Spesifik anjiyotensin II tip I reseptör blokeri olan telmisartan, kedilerde sistemik hipertansiyon ve kronik böbrek hastalığı ile ilişkili proteinüri tedavisinde kullanılan farmakolojik bir ajandır. Anjiyotensin II'nin vazokonstriktör etkisini inhibe eden ilaç, vasküler düz kas tonusunu azaltarak damarların gevşemesine yol açar. Bu süreç sonucunda periferik vasküler direnç azalır, kan akımı artar ve sistemik arteriyel basınç düşer. Türkiye'de oral solüsyon şeklinde 4 ve 10 mg/mL dozlarında telmisartan içeren ticari formlar satışa sunulmuştur. İlaç sistemik hipertansiyon tedavisinde 2 mg/kg (PO, SID) ve kronik böbrek hastalığı tedavisinde 1 mg/kg (PO, SID) dozunda kullanılmaktadır. İlacın etkisi kullanımı takiben yaklaşık 7 gün sonra gözlenmektedir. Telmisartanın gebelik, üreme ve laktasyon dönemlerinde ve altı aylık yaştan küçük kedilerde kullanımı önerilmemektedir. İlacın olası yan etkileri arasında hafif anemi, geçici hipotansiyon, kusma, ishal ve karaciğer enzimlerinde artışlar gözlenebileceği bildirilmiştir. Aynı zamanda klinik olarak dehidre, hipovolemik ve akut böbrek yetmezliği olan hayvanlarda telmisartanın kullanılmaması gerektiği belirtilmiştir. Kedilerde gözlenen kronik böbrek hastalığı bir veya her iki böbrekte yapısal veya fonksiyonel anormalliklerin bulunması olarak tanımlanır. Kronik böbrek hastalığı kedilerde önemli bir morbidite ve mortalite nedenidir. Yaş ile birlikte kronik böbrek hastalığı görülme oranı yükselir. Hastalığın etiyolojisinde çeşitli faktörler bildirilmiş olsa da, etiyoloji henüz tam olarak belirlenememiştir. Kronik böbrek hastalığı olan kedilerin önemli bir kısmında aynı zamanda hipertansiyon gözlenebilmektedir. Bu derlemede kronik böbrek hastalığı ve hipertansiyon hastası olan kedilerde telmisartan kullanımı ile ilgili bilgiler verilmeye çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Telmisartan, kedi, hipertansiyon, kronik böbrek hastalığı

TELMISARTAN USE IN CATS

ABSTRACT

Telmisartan, a specific angiotensin II type I receptor blocker, is a pharmacological agent used in the treatment of proteinuria associated with systemic hypertension and chronic kidney disease in cats. By inhibiting the vasoconstrictor effect of angiotensin II, the drug reduces

vascular smooth muscle tone, leading to vasodilation. As a result of this process, peripheral vascular resistance decreases, blood flow increases, and systemic arterial pressure decreases. In Turkey, commercial formulations containing telmisartan are available in oral solution form at doses of 4 and 10 mg/mL. The drug is used at a dose of 2 mg/kg (PO, once daily) for the treatment of systemic hypertension and at a dose of 1 mg/kg (PO, once daily) for the treatment of chronic kidney disease. The drug's effect is observed approximately 7 days after administration. The use of telmisartan is not recommended during pregnancy, reproduction, and lactation, or in cats younger than six months of age. Possible side effects of the drug include mild anemia, transient hypotension, vomiting, diarrhea, and increased liver enzymes. It has also been noted that telmisartan should not be used in animals that are clinically dehydrated, hypovolemic, or have acute renal failure. Chronic kidney disease in cats is defined as the presence of structural or functional abnormalities in one or both kidneys. Chronic kidney disease is a significant cause of morbidity and mortality in cats. The incidence of chronic kidney disease increases with age. Although various factors have been reported in the etiology of the disease, the etiology itself has not yet been fully determined. Hypertension is frequently observed in a significant proportion of cats with chronic kidney disease. This review aims to provide information on the use of telmisartan in cats with chronic kidney disease and hypertension.

Keywords: Telmisartan, cats, hypertension, chronic renal failure

1. GİRİŞ

Telmisartan kedilerde sistemik hipertansiyonun yanı sıra kronik böbrek hastalığı (KBH) ile ilişkili proteinüri tedavisinde kullanılan bir anjiyotensin tip I reseptör blokeridir. Normal canlıda anjiyotensin II tip I reseptörü aldosteron salınımı, vazokonstriksiyon, antinatriüretik, antidiüretik, proinflamatuar ve profibrotik etkilerden sorumludur (Susi ve ark. 2025). İlaç, Türkiye'de 4 ve 10 mg/mL dozlarında telmisartan içeren ticari ürünler (Semintra 4 mg/mL oral çöz, Semintra 10 mg/mL oral çöz) şeklinde satışa sunulmuştur. Telmisartan sistemik hipertansiyon tedavisinde 2 mg/kg (PO, SID) ve kronik böbrek hastalığı tedavisinde 1 mg/kg (PO, SID) dozunda kullanılmaktadır ve klinik etki 7 gün sonra gözlenmektedir (HBS-tarbil 2026). İlaç aç veya tok olarak uygulanabilmektedir (Susi ve ark. 2025). Telmisartan kedilerde etkili bir şekilde glukuronidasyona uğramaktadır ve kedilerdeki UGT1A6 gen defektlerinin telmisartanın glukuronidasyonunu etkilemeyeceği belirtilmiştir (Ebner ve ark. 2013). İlaç 6 aylık yaştan küçük kedilerde, gebelik, üreme ve laktasyon döneminde kullanılmamalıdır. Yan etki olarak hafif anemi, geçici hipotansiyon, kusma, ishal ve karaciğer enzimlerinde artış

gözlenebilir (Yazar 2018, Boehringer 2025, HBS-tarbil 2026). İlaç klinik olarak dehidre, hipovolemik ve akut böbrek yetmezliği olan kedilerde kullanılmamalıdır (Lawson ve Jepson 2021).

Kedilerde kan basıncı çeşitli etkenlere bağlı olarak önemli ölçüde değişiklik gösterebilmektedir. Hipertansiyon ise altta yatan belirgin bir hastalığın bulunmadığı idiyopatik (primer) ve başka bir hastalığa veya kullanılan ajanlara bağlı olarak gelişen sekonder hipertansiyon olarak iki şekilde tanımlanır. Kedilerin %13-20'sinde idiyopatik hipertansiyon gözlenebildiği bildirilmektedir. Kedilerde daha sık gözlenen sekonder hipertansiyon ise kronik böbrek hastalığı (KBH), hipertiroidizm, primer hiperaldosteronizm, hiperadrenokortizizm gibi birçok hastalıkla birlikte gözlenir (Taylor ve ark. 2017). KBH ise hipertansiyon ile ilişkili hastalıklardan en önemli olanıdır. KBH olan kedilerin %40-65'inde hipertansiyon gözlendiği belirlenmiştir (Barrs 2018).

KBH, üç aydan daha uzun süre bir veya her iki böbrekte yapısal veya fonksiyonel anormalliklerin bulunması olarak tanımlanmaktadır. KBH, kedi popülasyonunda son derece önemli bir morbidite ve mortalite nedeni olarak tanımlanmıştır. Yaş ile birlikte görülme sıklığı artmaktadır. Hastalığın etiyolojisinde yaşlanma, iskemi, beslenme faktörleri ve rutin aşılama gibi faktörler bulunabileceği bildirilmekle birlikte, etiyolojisi tam olarak tanımlanamamıştır. Hasta kedilerin böbreklerinin histopatolojisinde kronik tübülointerstisyel inflamasyon ve fibrozisli spesifik olmayan lezyonlar gözlenebilmektedir. KBH ise sistemik hipertansiyonun en yaygın nedeni olarak kabul edilir ve bu hastaların önemli bir kısmı aynı zamanda hipertansiyon hastasıdır (Lawson ve Jepson 2021). Kedilerde hipertansiyon genellikle obezite, kalp hastalığı veya yüksek tuzlu diyetle ilişkilendirilmez (Little 2019). Telmisartanın sağlıklı kedilerde aldosteron düzeyini düşürdüğü ve bu etkinin kedilerde gözlenen primer hiperaldosteronizmin tanısı için basit ve potansiyel olarak güvenli bir doğrulama testi olabileceği belirtilmiştir (Fabres ve ark., 2023).

2. KLİNİK KULLANIMI

Sağlıklı kedilerde telmisartanın sistolik arteriyel kan basıncı üzerine etkisi incelendiğinde, ilaç toplam günlük 1-3 mg/kg dozunda (tek doz veya 12 saat arayla iki eşit doz) uygulandığında sistolik arteriyel kan basıncında nispeten uzun süreli düşüşe yol açtığı ve kediler tarafından iyi tolere edilebildiği bildirilmiştir (Coleman ve ark 2019a). Yüksek tansiyonlu (160-200 mmHg) kediler üzerinde yapılan çalışmada, 2 mg/kg (PO, SID) dozunda telmisartan uygulamasının ciddi yan etkilere neden olmadan klinik olarak anlamlı düzeyde tansiyonu düşürdüğü ve kedilerde sistemik hipertansiyon tedavisinde değerli bir seçenek olduğu bildirilmiştir (Glaus

ve ark., 2019). Kan basıncı yüksek (160-200 mm Hg) kedilerde telmisartanın etkisi incelendiğinde, 14. gün tansiyon düşüşünün başladığı, 28. günde telmisartanın klinik olarak anlamlı tansiyon düşüşüne neden olduğu, ilacın hasta kedilerce iyi tolere edildiği bildirilmiştir (Coleman ve ark 2019b). Klinik olarak sağlıklı kedilerde irbesartan, telmisartan, losartan, benazepril veya laktoz monohidratın (plasebo) hipertansiyon üzerine etkisi araştırıldığında, telmisartanın sistolik kan basıncını diğer ilaçlara göre önemli ölçüde düşürdüğü, sonuçta telmisartanın böbrek veya kardiyovasküler hastalığı olan kedilerde benazepril uygulamasına göre avantajları olabileceği belirtilmiştir (Jenkins ve ark 2015). Kalp ile böbrek arasındaki ilişkinin uyumsuzluğunu tanımlamada kullanılan kardiyovasküler-renal eksen bozukluğu olan kedilerde telmisartanın, hastalarda proteinüriyi ve sol atriyum çapını iyileştirmede etkili olduğu ve kardiyovasküler-renal eksen bozukluğu olan kedilerde sağkalım süresini olumlu etkileyebileceği bildirilmiştir (Han ve Jung 2019). Kedilerde hipertansiyon tedavisinde en sık kullanılan ilaçların amlodipin, benazepril veya telmisartan olduğu, telmisartanın sistolik kan basıncı 160-180 mmHg olan hastalarda daha etkili olduğu, sıklıkla amlodipinin tek başına etkili olabileceği, ancak bazı vakalarda kontrolü sağlamak için amlodipin ile benazepril veya telmisartanın birlikte kullanılması gerektiği bildirilmiştir (Caney 2017).

KBH özellikle 10 yaşın üzerindeki kedilerin üçte birinden fazlasında gözlenebilmektedir. KBH'de gelişen proteinüri önemli bir komplikasyon olarak kabul edilir. Proteinüri, yalnızca böbrek hasarının bir göstergesi olmayıp, aynı zamanda nefron kaybına yol açarak böbrek hasarının progresyonuna da katkıda bulunmaktadır. Proteinürinin hayatta kalma ile negatif ilişkisi olduğu belirlenmiştir. Veteriner sahada proteinüri tedavisi için ruhsatlı ürünler arasında anjiyotensin dönüştürücü enzim inhibitörü benazepril ve anjiyotensin reseptör blokeri telmisartan bulunmaktadır. Bu ilaçlar hastada sistemik ve glomerüler hipertansiyonu düşürür, proteinüri ve böbrek fibrozisini azaltıcı etkisi bulunur. Benazepril ve telmisartanın proteinüriyi azaltıcı ve iştah artırıcı etkileri bulunur (Caney 2014). KBH olan kedilerde telmisartan uygulamasının üç aylık takibinde kan basıncı ve proteinüriyi iyileştirmede etkili olduğu ve KBH olan kedilerde sağkalım üzerine olumlu etkiye sahip olabileceği bildirilmiştir (Han ve ark 2018). KBH olan kedide telmisartan veya benazepril etkinliği karşılaştırıldığında, proteinüriyi kontrolde iki ilaç da benzer bulunurken, idrar protein/kreatinin (UP/C) oranını telmisartanın düşürdüğü, ancak benazeprilin etkisinin olmadığı bildirilmiştir. Araştırma sonucunda her iki ilacın da hastalarca iyi tolere edildiği, güvenli olduğu, KBH olan kedilerde gelişen proteinüriyi düzeltmede telmisartanın etkili olduğu ifade edilmiştir (Sent ve ark 2015). Kedilerde çeşitli nedenlerle yapısı veya fonksiyonu bozulan glomerüler hastalıklarda,

benazepril veya enalaprile alternatif olarak telmisartan kullanılabileceği belirtilmiştir (Vertloo ve Carnevale 2025).

Amlodipin kullanılan sistemik arteriyel hipertansiyonlu bir kedide amlodipin kullanımına bağlı olarak diş eti hiperplazisi geliştiği ve ilaç telmisartan ile değiştirildiğinde diş eti hiperplazisinin iyileştiği ve hipertansiyonun kontrol altına alındığı bildirilmiştir (Desmet ve van der Meer 2017). Telmisartanın normal ve glokomlu kedilerde göz içi basıncı üzerine etkisini incelendiğinde, göz içi basıncı üzerine etkisinin olmadığı belirlenmiştir (Oikawa ve ark 2024). Telmisartanın kediler dışında farklı etkileri deney hayvanlarında araştırılmıştır. Obez farelerde gelişen metabolik bozuklukların üzerine telmisartan etkisinin incelendiği deneysel çalışmada, telmisartanın obez farelerde gıda alımını etkilemeden diyetle alınan kilo artışını düşürdüğü, viseral yağ dokusunun ağırlığını, karaciğer ve iskelet kasındaki trigliserit içeriğini azalttığı, ayrıca gelişen hiperglisemi, hiperinsülinemi ve hipertrigliseridemiyi iyileştirdiği bildirilmiştir. Araştırma sonucunda telmisartanın viseral obezite de dahil olmak üzere metabolik sendromlar için terapötik bir seçenek olabileceği bildirilmiştir (Araki ve ark 2006). Hipertansif ve diyabetes mellituslu ratlarda telmisartan ve lisinoprilin etkisinin araştırıldığı çalışmada, telmisartanın (10 mg/kg/gün) kan basıncını düşürme, kardiyak hipertrofiyi azaltma ve proteinüriyi engellemede lisinoprile benzer etkilere sahip olduğu bildirilmiştir (Wienen ve ark 2001). Oral arsenik verilen ratlarda, telmisartanın gelişen aort disfonksiyonunu engelleyebildiği belirtilmiştir (Gowda ve ark 2022). Farelerde yapılan araştırmada telmisartanın antidepresan etki gösterebileceği bildirilmiştir (Brattiya ve Sivaraman 2020). Ratlarda yapılan iskemi/reperfüzyon çalışmasında telmisartanın oksidatif stresi azalttığı belirlenmiştir (Rodriguez-Lara ve ark 2019). Hücre kültürlerinde de telmisartanın etkisi incelenmiştir. Yüksek glikoz ile PC12 hücre kültüründe oluşturulan oksidatif streste, telmisartanın antioksidan etki gösterebildiği bildirilmiştir (Eslami ve ark 2014).

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Telmisartan, Türkiye'de kedilerde gözlenen kronik böbrek hastalığı ve hipertansiyonun tedavisinde kullanılmak üzere ruhsatlandırılmıştır. Kronik böbrek hastalığına bağlı olarak gelişen proteinürinin tedavisinde oldukça etkilidir. Klinik etki yaklaşık bir hafta sonra gözlenmektedir. Yapılan çalışmalarda beşerî hekimlikte kullanılan benazepril veya enalapril gibi ilaçlara üstünlüğü ifade edilmektedir. Genel olarak hastaların ilaca uyumunun iyi olduğu ve ciddi yan etkilere neden olmadığı bildirilmiştir.

KAYNAKLAR

1- Barrs RV. (2018) Latest tips for management of feline hypertension. World Small Animal Veterinary Association Congress Proceedings, 25-28 September, Singapore.
2- Boehringer (2025). https://docs.boehringer-ingelheim.com/PI/Theras/Semintra_PI.pdf. Accessed at: 03.01.2026
3- Brattiya K, Sivaraman M. (2020). Evaluation of antidepressant effect of angiotensin receptor blocker telmisartan in albino mice. Int J Basic Clin Pharmacol 9(3),446-448.
4- Caney S. (2014). Advances in treating cats with CKD. Vet Times, September:1-14.
5- Caney S. (2017). Management of CKD in cats. Vet Times, April:1-8.
6- Coleman AE, Brown SA, Stark M, Bryson L, Zimmerman A, Zimmering T, Traas AM. (2019a). Evaluation of orally administered telmisartan for the reduction of indirect systolic arterial blood pressure in awake, clinically normal cats. J Feline Med Surg 21(2),109-114.
7- Coleman AE, Brown SA, Traas AM, Bryson L, Zimmering T, Zimmerman A. (2019b). Safety and efficacy of orally administered telmisartan for the treatment of systemic hypertension in cats: Results of a double-blind, placebo-controlled, randomized clinical trial. J Vet Intern Med 33(2),478-488.
8- Desmet L, van der Meer J. (2017). Antihypertensive treatment with telmisartan in a cat with amlodipine-induced gingival hyperplasia. JFMS Open Rep 3(2),2055116917745236.
9- Ebner T, Schanzle G, Weber W, Sent U, Elliott J. (2013). In vitro glucuronidation of the angiotensin II receptor antagonist telmisartan in the cat: a comparison with other species. J Vet Pharmacol Ther 36(2),154-160.
10- Eslami H, Sharifi AM, Rahimi H, Rahati M. (2014). Protective effect of telmisartan against oxidative damage induced by high glucose in neuronal PC12 cell. Neurosci Lett, 558:31-36.
11- Fabres V, Dumont R, Garcia M, Rosenberg D, Rannou B, Kurtz M, Benchekroun G. (2023). Evaluation of oral telmisartan administration as a suppression test for diagnosis of primary hyperaldosteronism in cats. J Vet Intern Med 37(4),1341-1347.
12- Glaus TM, Elliott J, Herberich E, Zimmering T, Albrecht B. (2019). Efficacy of long-term oral telmisartan treatment in cats with hypertension: Results of a prospective European clinical trial. J Vet Intern Med 33(2),413-422.
13- Gowda BR, Prakash N, Santhosh CR, Pavithra BH, Rajashekaraiah R, Sathyanarayana ML, Rao S, Waghe P, Kumar KRA, Shivaprasad GR, Muralidhar Y. (2022). Effect of telmisartan on arsenic-induced (sub-chronic) perturbations in redox homeostasis, pro-inflammatory cascade and aortic dysfunction in Wistar rats. Biol Trace Elem Res 200(4),1776-1790.
14- Han D, Jung DI. (2019). Long term effects after telmisartan administration for cardiovascular-renal axis disorder in cats. J Biomed Transl Res 20(4),99-104.
15- Han D, Lee DG, Jung DI. (2018). Evaluation of effect over time after oral administration of telmisartan for chronic kidney disease in cats. J Biomed Transl Res 19(4),86-91.
16- HBS-tarbil 2025. https://hbs.tarbil.gov.tr/Receipt/SearchProduct. Accessed at: 03.01.2026
17- Jenkins TJ, Coleman AE, Schmiedt CW, Brown SA. (2015). Attenuation of the pressor response to exogenous angiotensin by angiotensin receptor blockers and benazepril hydrochloride in clinically normal cats. Am J Vet Res 76(9),807-813.
18- Lawson JS, Jepson RE, 2021. Feline comorbidities: The intermingled relationship between chronic kidney disease and hypertension. J Feline Med Surg 23(9),812-822.
19- Little S. (2019). Diagnosis and management of feline hypertension. World Small Animal Veterinary Association Congress Proceedings, 16-19 July, Toronto, Canada.
20- Oikawa K, Kiland JA, Mathu V, Torne O, Wickland C, Neufcourt S, Mitro C,Lopez R, McLellan GJ. (2024). Effects of telmisartan on intraocular pressure, blood pressure, and ocular perfusion pressure in normal and glaucomatous cats. Transl Vis Sci Technol 13(9),15.
21- Rodriguez-Lara SQ, Trujillo-Rangel WA, Castillo-Romero A, Totsuka-Sutto SE, Garcia-Cobian TA, Cardona-Munoz EG, Miranda-Diaz AG, Ramirez-Lizardo EJ, Garcia-Benavides L. (2019). Effect of telmisartan in the oxidative stress components induced by ischemia reperfusion in rats. Oxid Med Cell Longev, 2019:1302985.

22- Sent U, Gossl R, Elliott J, Syme HM, Zimmering T. (2015). Comparison of efficacy of long-term oral treatment with telmisartan and benazepril in cats with chronic kidney disease. J Vet Intern Med 29(6),1479-1487.
23- Susi IR, Viviano K, Whitehouse WH. (2025). Clinical therapeutics in feline medicine: updates for old and new drugs. J Feline Med Surg 27(10),1098612X251380011.
24- Taylor SS, Sparkes AH, Briscoe K, Carter J, Sala SC, Jepson RE, Reynolds BS, Scansen BA. (2017). ISFM consensus guidelines on the diagnosis and management of hypertension in cats. J Feline Med Surg 19(3),288-303.
25- Vertloo LV, Carnevale J. (2025). Glomerular disease in dogs and cats. https://www.msdvetmanual.com/urinary-system/noninfectious-diseases-of-the-urinary-system-in-small-animals/glomerular-disease-in-dogs-and-cats?query=Glomerular%20Disease%20in%20Dogs%20and%20Cats. Accessed at: 05.01.2026
26- Wienen W, Richard S, Champeroux P, Audeval-Gerard C. (2001). Comparative antihypertensive and renoprotective effects of telmisartan and lisinopril after long-term treatment in hypertensive diabetic rats. J Renin Angiotensin Aldosterone Syst 2(1),31-36.
27- Yazar E. (2018). Veteriner İlaç ve Aşı A'da Z'ye. Nobel tıp kitabevleri, Ankara, Türkiye.

KÖPEK VE KEDİLERDE SİKLOSPORİN KULLANIMI

Dr. Öğr. Üye. Tuğba Melike PARLAK
Selçuk Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Farmakoloji ve Toksikoloji Anabilim Dalı, Konya
ORCID ID: 0000-0003-3277-0336
Prof. Dr. Enver YAZAR
Selçuk Üniversitesi, Veteriner Fakültesi, Farmakoloji ve Toksikoloji Anabilim Dalı, Konya
ORCID ID: 0000-0002-6508-7245

ÖZET

Tolypocladium inflatum mantarından elde edilen siklosporin (siklosporin A) beşerî hekimlikte uzun yıllardır önemli bir immünsupresif ajan olarak kullanılmaktadır. İlacın temel etki mekanizması T lenfositlerin aktivasyonunu inhibe etmesine dayanmaktadır. Siklosporin immün sistemde birçok sitokinin oluşumunu önlemektedir. Bunun yanı sıra, mast hücreleri, Langerhans hücreleri, bazofiller, eozinofiller, keratinositler ve endoteliyal hücreler üzerinde de baskılayıcı özellik göstererek immün yanıtı düzenlemektedir. Bu çok yönlü etkileri sonucunda, bağışıklık sistemine ait aşırı veya istenmeyen yanıtların kontrol altına alınmasına katkı sağlamaktadır. Siklosporin, Türkiye'de veteriner sahada her mililitresinde 100 mg etken madde içerecek şekilde oral solüsyon olarak ruhsatlandırılmıştır. İlaçta hedef türler olarak kedi ve köpekler tanımlanmıştır. Köpeklerde atopik dermatit tedavisinde, kedilerde ise kronik alerjik dermatit vakalarında etkin bir tedavi seçeneği olarak kullanımı önerilmektedir. Klinik uygulamalarda köpekler için 5 mg/kg (PO, SID, 4-8 hafta) ve kediler için ise 7 mg/kg (PO, SID, 4-8 hafta) dozunda kullanımı tavsiye edilmektedir. Tedaviye olumlu cevap alındığı durumlarda idame tedavisi için ilacın 2 veya 4 gün ara ile kullanılabileceği bildirilmiştir. İlacın en sık görülen yan etkileri arasında iştah değişiklikleri, kusma ve ishal gibi gastrointestinal rahatsızlıklar yer almaktadır. Ayrıca immün sistemi baskılaması nedeniyle siklosporin kullanımına bağlı olarak çeşitli enfeksiyonlara karşı yatkınlığın artabileceği belirtilmektedir. Bu derlemede kedi ve köpeklerde öncelikli olarak siklosporinin atopik dermatit veya kronik alerjik dermatit tedavisinde kullanımı ile ilgili bilgiler verilmeye çalışılmıştır. İlacın olası yan etkileri, kullanılmaması gerektiği durumlar ve bazı ilaçlarla etkileşimi ile ilgili bilgiler de verilmiştir. Ayrıca ilacın başka bazı otoimmün hastalıklardaki etkileri hakkında da bilgiler verilmiştir. **Anahtar kelimeler:** Siklosporin, immünsupresyon, köpek, kedi.

USE OF CYCLOSPORINE IN DOGS AND CATS

ABSTRACT

Cyclosporine (cyclosporine A), derived from the fungus *Tolypocladium inflatum*, has been used as an important immunosuppressive agent in human medicine for many years. The drug's primary mechanism of action is to inhibit the activation of T lymphocytes. In addition to this effect, it prevents the production of numerous cytokines in the immune system. Furthermore, it regulates the immune response by exhibiting inhibitory effects on mast cells, Langerhans cells, basophils, eosinophils, keratinocytes, and endothelial cells. As a result of these effects, excessive or unwanted immune responses are brought under control. In Turkey, cyclosporine is licensed for veterinary use as an oral solution containing 100 mg of active ingredient per milliliter. The target species for the drug are cats and dogs. Its use is recommended as an effective treatment option for atopic dermatitis, which is commonly seen in dogs, and for cases of chronic allergic dermatitis in cats. In clinical practice, the recommended dosage is 5 mg/kg (PO, SID, 4–8 weeks) for dogs and 7 mg/kg (PO, SID, 4–8 weeks) for cats. It has been reported that the drug may be administered every 2 or 4 days for maintenance therapy in cases where a positive response to treatment is observed. The most common side effects of the drug include gastrointestinal disturbances such as changes in appetite, vomiting, and diarrhea. In addition, susceptibility to infections may increase due to the immunosuppressive effects of cyclosporine. This review primarily aims to provide information on the use of cyclosporine in cats and dogs for the treatment of atopic dermatitis or chronic allergic dermatitis. Information is also provided on the drug's potential side effects, contraindications, and interactions with certain medications. Information is also provided regarding the drug's effects on other autoimmune diseases.

Key words: Cyclosporine, immunosuppression, dog, cat.

1. GİRİŞ

Siklosporin (siklosporin A) *Tolypocladium inflatum* mantarının polipeptit yapılı bir metabolitidir. İlaç, T lenfosit etkinliğini engelleyerek etki gösterir. Siklosporin hücre içi bir reseptör proteini olan siklofiline bağlanarak siklofilin-siklosporin kompleksi oluşturur. Bu kompleks T lenfosit etkinliğinde önemli bir enzim olan kalsinörine yüksek affiniteyle bağlanarak enzimin etkinliğini inhibe eder. Kalsinörin inhibisyonu sonucunda birçok sitokinin oluşumunu engeller ve immün depresan etki oluşturur. İlaç ayrıca mast hücreleri, Langerhans hücreleri, bazofiller, eozinofiller, keratinositler ve endoteliyal hücreler gibi immün yanıtta görevli hücrelerin de etkinliğini engeller (Uslu 2022a).

Siklosporin Türkiye'de oral solüsyon olarak her mililitresinde 100 mg etken madde içerecek şekilde oral solüsyon (Contatopic oral çözelti) olarak ruhsatlandırılmıştır (HBS-tarbil 2026). Siklosporinin oral sıvı formülasyonunun, ilacın doğru dozda verilmesini sağlamada kolay ve pratik olduğu belirtilmiştir (Navarro ve ark 2016). Hedef türler olarak köpek ve kediler tanımlanmıştır. Köpeklerde atopik dermatitin kronik belirtilerinin tedavisinde, kedilerde ise kronik alerjik dermatitin semptomatik tedavisinde kullanımı önerilmektedir. Köpeklerde 5 mg/kg (PO, SID, 4-8 hafta) ve kedilerde 7 mg/kg (PO, SID, 4-8 hafta) dozunda tedaviye başlanır. Sekiz hafta sonunda tedaviye cevap alınamadığı takdirde ilaç uygulaması sonlandırılmalıdır. Tedaviye cevap alındığında uygulama aralığı 2 veya 4 gün olarak düzenlenebilir. İlaç kanser hastaları, altı aylık yaştan küçük yavrular, iki kilogram ağırlığın altındaki köpekler, şeker hastası hayvanlar, kedi lösemi virüsü ve kedi immün yetmezlik virüsü ile enfekte kedilerde kullanılmamalıdır. Ayrıca tedaviden iki hafta önce ve sonra, tedavi sırasında canlı aşılama yapılmaması gerektiği bildirilmiştir. Atopik veya alerjik dermatit tedavisinden önce ektoparaziter, fungal ve bakteriyel etkenler eradike edilmelidir. Kedi ve köpeklerde genelde geçici ve hafif sindirim sistemi ile ilişkili yan etkiler gözlenebilmektedir. Azol grubu antifungaller (ketokonazol, mikonazol, flukonazol, itrakonazol, vs.) veya makrolid antibiyotikler (eritromisin, azitromisin, klaritromisin, vs.) ile birlikte kullanıldığında, klinik olarak önemli olacak düzeyde siklosporinin konsantrasyonu artabilmektedir (Colombo ve Sartori 2018, Yazar 2024, HBS-tarbil 2026). Beşerî hekimlikte kullanılan siklosporin jenerik formülasyonunun, köpeklerde atopik dermatitin tedavisinde kullanılabileceği ve hastalarca iyi tolere edildiği bildirilmiştir (Kovalik ve ark 2011b).

2. KLİNİK KULLANIM

2.1. KÖPEKLERDE KULLANIM

Köpeklerde görülen köpek atopik dermatit (CAD, canine atopic dermatitis), derinin yangılı ve kaşıntılı bir hastalığıdır. Hastalığın tanısı oldukça zordur. Derideki immün ve epitel hücreler sitokin salgılayarak kronik yangıya neden olur. Köpeklerde atopik dermatit görülme oranı yaklaşık %10'dur. Genellikle altı aylıktan büyük ve üç yaştan küçük köpeklerde daha sık gözlenir. Lezyonlar sıklıkla yüz, kulaklar, boynun alt kısmı, ayakların altı, perianal ve perivulval bölgelerde gözlenir. Hastalığın tedavisinde oklasitinib, lokivetmab, masitinib, pentoksifilin, sistemik ve lokal glikokortikoidler gibi ajanlar kullanılabilmektedir (Coşkun ve Yazar 2020, Uslu 2022b, Uslu 2022c). Atopik dermatitli köpeklerde oral siklosporin uygulaması ile çalışmalar yapılmıştır ve 4-6 hafta sonra klinik etkinin gözlendiği bildirilmiştir (Steffan ve ark 2005, Olivry ve Baumer 2015). Atopik dermatit tedavisinde oral sıvı ticari

formun kapsül ile etkinliğinin karşılaştırıldığı çalışmada sıvı formülasyonun kapsüle alternatif olarak daha iyi doz uyumunu sağladığı ve uzun süreli tedavide daha iyi olabileceği belirtilmiştir (Navarro ve ark 2015). Köpeklerde ticari olarak satışa sunulan iki oral sıvı formülasyonun etkinliği karşılaştırıldığında oral solüsyonların kabul edilebilirliğinin benzer olduğu, gönüllü kabul ve tüketim açısından anlamlı bir fark bulunmadığı bildirilmiştir (Kammanadiminti ve ark 2018). Atopik dermatitli köpeklerde, atopik dermatitin klinik belirtilerindeki iyileşme ile kan siklosporin seviyeleri arasında doğrusal bir ilişki olmadığı ifade edilmiştir (Tarpataki 2006). Atopik dermatitli köpeklerde 2.5 mg/kg (PO, SID, 6 hafta) veya 5 mg/kg (PO, SID, 6 hafta) dozunda siklosporinin etkinliği karşılaştırıldığında, 5 mg/kg (PO, SID) dozunda köpeklerde kaşıntı ve deri lezyonlarının şiddetini azaltmada etkili olduğu belirlenmiştir (Olivry ve ark 2002). Genel bir yaklaşım olarak atopik dermatit tedavisinde siklosporinin, uzun süreli glukokortikoid tedavisine göre daha güvenli bir alternatif olduğu kabul edilmiştir. Ancak klinik belirtilerin iyileşme süreci diğer tedavi seçeneklerine göre daha yavaştır. İlaç etkinliğinin hızlandırılması için ilk 1 ila 3 hafta boyunca diğer ilaçlar (lokivetmab, oklasitinib, oral glukokortikoidler) birlikte kullanılabilir. Ancak bu kombinasyonların uzun süreli kullanımı önerilmemektedir (Gortel 2018). Köpeklerdeki atopik dermatit tedavisinde siklosporin uygulamasının glukokortikoidler kadar etkili olduğu ve yan etkilerinin minimum düzeyde olduğu bildirilmiştir (Steffan ve ark 2006). Siklosporin ile tedavi edilen köpeklerin %11'inde deri veya üriner sistemde enfeksiyon geliştiği, yüksek dozlarda siklosporin kullanılan köpeklerin ise %17'sinde gastrointestinal, üriner ve solunum sistemi enfeksiyonu gözlendiği, ancak atopik dermatit tedavisinde kullanılan dozlarda bakteriyel enfeksiyon prevalansının düşük olduğu bildirilmiştir (High ve Olivry 2020).

Siklosporin köpeklerde atopik dermatit tedavisi dışında bazı otoimmün kaynaklı hastalıkların (Sebasöz adenit, pemfigus foliaceus, anal furunküloz, iltihaplı bağırsak hastalığı, miyastenia gravis, vs.) tedavisinde de kullanılabilmektedir (Archer ve ark 2014). Bir derlemede ilacın köpeklerde gözlenen perianal fistüllerin tedavisinde faydalı olabileceği bildirilmiştir (Guaguere ve ark 2004).

Köpeklerde atopik dermatit tedavisinde siklosporinin tek başına veya eşzamanlı kısa süreli prednizolon ile birlikte kullanıldığında kombinasyonun hastalarca iyi tolere edildiği ve kaşıntıyı hızlı şekilde azalttığı ifade edilmiştir (Dip ve ark 2013). Atopik dermatitli köpeklerde prednizon ve siklosporinin birlikte kullanımının bağışıklık sistemini baskılayarak deri enfeksiyonlarına yatkınlığın artabileceği düşüncesi üzerine yapılan çalışmada, birlikte kullanımın köpeklerdeki deri mikrobiyotasını ciddi şekilde etkilemediği tespit edilmiştir

(Widmer ve ark 2018). CAD'lı köpeklerde siklosporin veya metilprednizolon etkinliği değerlendirildiğinde, siklosporin grubunda gastrointestinal sistem ile ilgili yan etkilerin, metilprednizolon grubunda enfeksiyonlara yatkınlığın daha yüksek olduğu, iki grupta hematolojik ve biyokimyasal parametrelerde belirgin değişiklikler gözlenmediği ve tedavide birbirlerine alternatif olabilecekleri ifade edilmiştir (Steffan ve ark 2003). Atopik dermatitli köpeklerde hidrokortizon aseponat spreyi ile siklosporinin etkinliğini karşılaştırıldığında, iki ilacın da 84 güne kadar eşit derecede etkili bulunduğu bildirilmiştir (Nuttall ve ark 2012). Atopik dermatitli köpeklerde siklosporin ile lokivetmabın etkinliği karşılaştırıldığında, kaşıntıyı gidermede lokivetmabın çok hızlı etki gösterdiği, deri lezyonları üzerinde benzer etkiler gösterdiği ve lokivetmabın güvenli olduğu belirlenmiştir (Moyaert ve ark 2017). Atopik dermatitli köpeklerde oklasitinib ile siklosporin karşılaştırıldığında, oklasitinibin daha hızlı etki gösterdiği ve daha düşük gastrointestinal yan etkilere neden olduğu belirlenmiştir (Little ve ark 2015).

Köpeklerde klaritromisin ile birlikte siklosporin uygulandığında, klaritromisinin siklosporinin oral biyoyararlanımını önemli ölçüde artırdığı ve siklosporin dozunun günde iki kereden bir kereye düşebileceği ifade edilmiştir (Katayama ve ark 2014).

Yayınlanan çalışmalarda köpeklere siklosporin uygulaması sonrasında yan etki olarak epidermal hiperplazi ve sekonder piyoderma gelişebileceği (Martini ve ark 2023), glikoz homeostazını bozabileceği (Kovalik ve ark 2011a), kalsiyum metabolizması üzerine minimum düzeyde etkili olduğu (Kovalik ve ark 2012) ve nokardiyoza neden olabileceği (Paul ve ark 2010) bildirilmiştir.

2.2. KEDİLERDE KULLANIM

Siklosporinin Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa'da 2011 yılında kedilerde kronik alerjik dermatitin tedavisinde kullanımı onaylanmıştır. Ayrıca otoimmün deri hastalıkları olan pemfigus foliaceus ve pemfigus eritematozus tedavisinde umut verici sonuçlar elde edildiği bildirilmiştir. Kedilerde gözlenen otoimmün kaynaklı birçok deri hastalığında (psödopelade, ürtiker pigmentoza, idiyopatik yüz dermatiti, granülomatöz follikülit, sebase adenit, lenfositik mural folikülit, vs) farklı dozlarda klinik başarı elde edildiği belirtilmiştir. Ancak bu vakaların tek veya çok küçük gruplar olduğunun dikkate alınması gerektiği belirtilmiştir (Colombo ve Sartori 2018).

Kedilerde gözlenen deri dermatitinde IgE'nin rolü net olarak tanımlanamadığı için "kedi atopik dermatit" terimi yerine "kedi atopi benzeri dermatit/feline atopy-like dermatitis" tanımının kullanılmasının daha doğru olduğu belirtilmiştir. Kedi atopi benzeri dermatitin patogenezinin

de tam olarak aydınlatılmadığı ifade edilmiştir. Hasta kedilerde baş ve boyun bölgesinde kaşıntı, küçük kabuklu papüller dermatit, alopesi ve eozinofilik ülserler, granülomlar veya eozinofilik plaklar gibi eozinofilik lezyonlar gözlenebilmektedir. Tedavide siklosporin kullanımının glukokortikoidlere benzer sonuçlar veren oldukça etkili bir ilaç olduğu belirtilmiştir (Gedon ve Mueller 2018). Atopik deri sendromlu kedilerde uzun süreli siklosporin oral solüsyon kullanımının uyumu değerlendiğinde, oral uygulamada zorluklar yaşanabileceği, aşırı tükürük salgısı, iştahsızlık, kusma, ishal, diş eti hiperplazisi ve davranış değişikliği gözlenebileceği bildirilmiştir (Deleporte ve ark 2024). Kedilerde siklosporinin oral uygulanmasında karşılaşılan güçlükler nedeni ile transdermal uygulama denenmekle birlikte, transdermal uygulamada tutarsız emilim belirlendiği için bu uygulama yolunun önerilmediği bildirilmiştir (Miller ve ark 2014). Kedilerin nötrofillerinde in vitro ortamda yapılan çalışmada siklosporinin bazı sitokinlerin (TNF-α, IL-2, IL-4 ve IFN-γ) gen transkripsiyonunu baskıladığı, özellikle yardımcı T hücreleri ve sitotoksik T hücrelerin stimülasyonunda rol alan IL-2 baskılanmasının ilacın etkisini anlamada faydalı olabileceği belirtilmiştir (Kuga ve ark 2008). Benzer şekilde kedi lenfositlerinde de bazı sitokinlerin (IL-2, IFN-γ, GM-CSF) üretiminde azalmaya neden olduğu bildirilmiştir (Aronson ve ark 2011). Atopik dermatitli kedilerde siklosporin ile prednizolonun etkinliği karşılaştırıldığında, ciddi yan etkiler gözlenmediği ve siklosporinin atopik dermatitli kedilerde prednizolon tedavisine etkili bir alternatif olabileceği ifade edilmiştir (Wisselink ve Willemse 2009).

İdiyopatik saf eritroid aplazisi (idiopathic pure red cell aplasia, kemik iliğinde sadece eritrosit üretiminin azalması/durması) tanısı konmuş kedilerin tedavisinde glukokortikoid ile birlikte siklosporin kombinasyonu uygulandığında remisyonun sağlandığı, ancak bazı kedilerde nüks geliştiği ve bu hastalara düşük doz uzun süreli ilaç kullanımı gerektiği belirtilmiştir (Viviano ve Webb 2011). Kedilerde gingivostomatit tedavisinde siklosporin kullanılabilmektedir (Colombo ve Sartori 2018).

Kronik gingivostomatitin etiyolojisinin net olmadığı ve sınırlı tedavi seçeneği bulunduğu belirtilmiştir. Tedavide diş çekimi en etkili yol olarak tanımlanmaktadır. Ancak diş çekiminden sonra da ilaç tedavisine ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. İnterferon-ω ve siklosporin kombinasyonunun etkili bir tedavi seçeneği olduğu, hasta kedilerin yarısından fazlasında klinik iyileşme gözlendiği ve bu kombinasyonun kök hücre veya steroid gibi diğer yaklaşımların mümkün olmadığı durumlarda alternatif bir tedavi seçeneği olabileceği belirtilmiştir (Choe ve ark 2025).

Kedilerde gözlenen kronik pankreatit vakalarında immünosupresif tedavilerin yetersiz veya kontrendike olduğu durumlarda siklosporinin bir alternatif tedavi seçeneği olabileceği düşüncesiyle yapılan çalışmada, ilacın serum feline pancreas-specific lipase enzimi düzeyinde düşmeye neden olduğu bildirilmiştir (Hoeyrup ve ark 2023). Kronik pankreatitli kedilerin tedavisinde siklosporinin veya prednizolonun etkinliği değerlendirildiğinde, siklosporin grubunda feline pancreas-specific lipase düzeyinin daha düşük olduğu, ancak klinik iyileşmenin prednizolon grubunda daha belirgin olduğu bildirilmiştir (Wu ve ark 2025).

Kedilerde organ naklinden sonra doku nakli reddini engellemek için siklosporin kullanılabilmektedir (Colombo ve Sartori 2018). Klaritromisin ile birlikte siklosporin uygulanması sonrasında siklosporinin oral biyoyararlanımında önemli artışlar gözlendiği ve bu durumun ise kedilerde organ nakillerinde dozun düşülmesi ile önemli bir maliyet kazancı sağlanabileceği bildirilmiştir (Katayama ve ark 2012). Benzer şekilde ketokonazolün siklosporinin eliminasyonunu baskıladığı ve günde bir kez siklosporin uygulanmasının yeterli olabileceği bildirilmiştir (McAnulty ve Lensmeyer 1999). Ancak fenobarbitalin ise kan siklosporin düzeyini düşürdüğü ve doz artırımına gerek duyulabileceği ifade edilmiştir (Hoshino ve ark 2019).

Kedilerde deneysel toksoplasmoz oluşturulduktan sonra, tedavi dozunda siklosporin uygulamasının enfeksiyonun enteroepitelyal fazını güçlendirmediği bildirilmekle (Lappin ve ark 2015) birlikte, siklosporin kullanılan bir kedide sistemik toksoplasmoz gözlendiği bildirilmiştir (Salant ve ark 2021). Ayrıca kedilerde siklosporin uygulamasının akut büllöz keratopati (feline acute bullous keratopathy) (Pierce ve ark 2016), kusma, ishal, iştahsızlık, kilo kaybı, hepatik lipidoz ve diş eti hiperplazisi (Heinrich ve ark 2011) ve *Salmonella* spp kaynaklı pnömoniye (Callegari ve ark 2014) neden olabileceği bildirilmiştir.

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

İmmün sistem depresanı olarak etki gösteren siklosporin beşerî hekimlikte uzun zamandır kullanılmaktadır. İlaç, Türkiye'de kedi ve köpeklerde alerjik veya atopik dermatitisin tedavisinde kullanılmak üzere ruhsatlandırılmıştır. Yapılan çalışmalarda ilacın beşerî muadillerinin de benzer amaçlar için kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Siklosporinin immün depresan etkisinin glukokortikoidlerden daha düşük, oklasitinib veya lokivetmabtan ise daha güçlü olduğu bilinmektedir. Alerjik veya atopik dermatitlerin tedavisinde hızlı etki istendiğinde ilk haftalarda prednizolon ile kombine kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Alerjik veya atopik dermatitlerin tedavisinde daha güvenli yeni ilaçlar ruhsatlandırılmakla birlikte, uzun süreli ilaç

kullanılması ve maliyet giderlerinin de dikkate alınması gerektiği için siklosporin tedavide güncelliğini korumaktadır.

KAYNAKLAR

1- Archer TM, Boothe DM, Langston VC, Fellman CL, Lunsford KV, Mackin AJ. (2014). Oral cyclosporine treatment in dogs: a review of the literature. J Vet Intern Med 28(1),1-20.
2- Aronson LR, Stumhofer JS, Drobatz KJ, Hunter CA. (2011). Effect of cyclosporine, dexamethasone, and human CTLA4-Ig on production of cytokines in lymphocytes of clinically normal cats and cats undergoing renal transplantation. Am J Vet Res 72(4),541-549.
3- Callegari C, Palermo G, Greco MF, Corrente M, Piseddu F, Auriemma E, Zini E. (2014). Pneumonia associated with Salmonella spp. infection in a cat receiving cyclosporine. Schweiz Arch Tierheilkd 156(10),499-503.
4- Choe KH, Jang K, Kim SE, Jo HM. (2025). Long-term efficacy of cyclosporine and interferon-ω in feline chronic gingivostomatitis: insights from SDAI scores. BMC Vet Res, 21(1):708.
5- Colombo S, Sartori R. (2018). Ciclosporin and the cat: Current understanding and review of clinical use. J Feline Med Surg, 20(3):244-255.
6- Coşkun D, Yazar E. (2020). Use of oclacitinib in the treatment of atopic dermatitis. MAS 13th International European Conference on Mathematics, Engineering, Natural & Medical Sciences, October 23-25, Afghanistan.
7- Deleporte S, Briand A, Prelaud P. (2024). Ciclosporin oral solution in cats: a retrospective survey of compliance with treatment and adverse effects. J Feline Med Surg, 26(2):1098612X231220848.
8- Dip B, Carmichael J, Letellier I, Strehlau G, Roberts E, Bensignor E, Rosenkrantz W. (2013). Concurrent short-term use of prednisolone with cyclosporine A accelerates pruritus reduction and improvement in clinical scoring in dogs with atopic dermatitis. BMC Vet Res, 9:173.
9- Gedon NKY, Mueller RS. (2018). Atopic dermatitis in cats and dogs: a difficult disease for animals and owners. Clin Transl Allergy, 8:41.
10- Gortel K. (2018). An embarrassment of riches: An update on the symptomatic treatment of canine atopic dermatitis. Can Vet J 59(9),1013-1016.
11- Guaguere E, Steffan J, Olivry T. (2004). Cyclosporin A: a new drug in the field of canine dermatology. Vet Dermatol 15(2),61-74.
12- HBS-tarbil, 2026. https://hbs.tarbil.gov.tr/Receipt/SearchProduct. Accessed at: 05.01.2026.
13- Heinrich NA, McKeever PJ, Eisenschenk MC. (2011). Adverse events in 50 cats with allergic dermatitis receiving ciclosporin. Vet Dermatol, 22(6):511-520.
14- High EJ, Olivry T. (2020). The prevalence of bacterial infections during cyclosporine therapy in dogs: A critically appraised topic. Can Vet J 61(12),1283-1289.
15- Hoeyrup N, Spillmann T, Toresson L, 2021. Cyclosporine treatment in cats with presumed chronic pancreatitis-a retrospective study. Animals (Basel), 11(10):2993.
16- Hoshino Y, Inden T, Otaka R, Fukui D, Satoh H, Katayama M. (2019). Interaction of cyclosporine with phenobarbital in cats: a preliminary study. J Vet Med Sci 81(11),1621-1623.
17- Kammanadiminti SJ, Carter LA, Seewald W, Doucette KP. (2018). Comparative study to evaluate the voluntary acceptance of two liquid oral formulations of ciclosporin in dogs. Ir Vet J 71:27.
18- Katayama M, Kawakami Y, Katayama R, Shimamura S, Okamura Y, Uzuka Y. (2014). Preliminary study of effects of multiple oral dosing of clarithromycin on the pharmacokinetics of cyclosporine in dogs. J Vet Med Sci 76(3),431-433.
19- Katayama M, Nishijima N, Okamura Y, Katayama R, Yamashita T, Kamishina H, Uzuka Y. (2012). Interaction of clarithromycin with cyclosporine in cats: pharmacokinetic study and case report. J Feline Med Surg 14(4),257-261.

20- Kovalik M, Mellanby RJ, Evans H, Berry J, van den Broek AHM, Thoday KL. (2012). Ciclosporin therapy is associated with minimal changes in calcium metabolism in dogs with atopic dermatitis. Vet Dermatol 23(6),481-e91.
21- Kovalik M, Taszkun I, Pomorski Z, Kozak M, Pomorska D, Szczepanik M, Wilkolek P, Palenik L, Shaw DJ, van den Broek AHM, Thoday KL. (2011b). Evaluation of a human generic formulation of ciclosporin in the treatment of canine atopic dermatitis with in vitro assessment of the functional capacity of phagocytic cells (abstract). Vet Rec 168(20),537.
22- Kovalik M, Thoday KL, Handel IG, Bronsvoort BMC, Evans H, van den Broek AHM, Mellanby RJ. (2011a). Ciclosporin A therapy is associated with disturbances in glucose metabolism in dogs with atopic dermatitis. Vet Dermatol 22(2),173-180.
23- Kuga K, Nishifuji K, Iwasaki T. (2008). Cyclosporine A inhibits transcription of cytokine genes and decreases the frequencies of IL-2 producing cells in feline mononuclear cells. J Vet Med Sci 70(10),1011-1016.
24- Lappin MR, VanLare KA, Seewald W, Roycroft LM, Scorza AV, King S, Roberts ES. (2015). Effect of oral administration of cyclosporine on Toxoplasma gondii infection status of cats. Am J Vet Res 76(4),351-357.
25- Little PR, King VL, Davis KR, Cosgrove SB, Stegemann MR. (2015). A blinded, randomized clinical trial comparing the efficacy and safety of oclacitinib and ciclosporin for the control of atopic dermatitis in client-owned dogs. Vet Dermatol 26(1),23-30.
26- Martini F, Hetzel U, Beckmann KM, Rostaher A. (2023). Cyclosporine induced generalized hyperkeratosis in a dog. Schweiz Arch Tierheilkd 165(1),53-58.
27- McAnulty JF, Lensmeyer GL. (1999). The effects of ketoconazole on the pharmacokinetics of cyclosporine A in cats. Vet Surg 28(6),448-455.
28- Miller R, Schick AE, Boothe DM, Lewis TP. (2014). Absorption of transdermal and oral cyclosporine in six healthy cats (abstract). J Am Anim Hosp Assoc 50(1),36-41.
29- Moyaert H, Brussel LV, Borowski S, Escalada M, Mahabir SP, Walters RR, Stegemann MR. (2017). A blinded, randomized clinical trial evaluating the efficacy and safety of lokivetmab compared to ciclosporin in client-owned dogs with atopic dermatitis. Vet Dermatol 28(6),593-e145.
30- Navarro C, Crastes N, Benizeau E, McGahie D. (2015). Voluntary acceptance and consumption of two oral ciclosporin formulations in dogs: two randomised, controlled studies. Ir Vet J 68(1),3.
31- Navarro C, Seguy L, Vila M, Birckel P. (2016). Bioequivalence study between two formulations of ciclosporin A (Cyclavance® oral solution and Atopica® soft capsules) following a single oral administration to dogs. BMC Vet Res 12(12),54.
32- Nuttall TJ, McEwan NA, Bensignor E, Cornegliani L, Lowenstein C, Reme CA. (2012). Comparable efficacy of a topical 0.0584% hydrocortisone aceponate spray and oral ciclosporin in treating canine atopic dermatitis. Vet Dermatol 23(1),4-10.
33- Olivry T, Baumer W. (2015). Atopic itch in dogs: pharmacology and modeling. Handb Exp Pharmacol, 226:357-369.
34- Olivry T, Steffan J, Fisch RD, Prelaud P, Guaguere E, Fontaine J, Carlotti DN. (2002). Randomized controlled trial of the efficacy of cyclosporine in the treatment of atopic dermatitis in dogs. J Am Vet Med Assoc 221(3),370-377.
35- Paul AEH, Mansfield SC, Thompson M. (2010). Presumptive Nocardia spp. infection in a dog treated with cyclosporin and ketoconazole, New Zealand Vet J 58,265-268
36- Pierce Jr KE, Wilkie DA, Gemensky-Metzler AJ, Curran PG, Townsend WM, Petersen-Jones SM, Bartoe JT. (2016). An association between systemic cyclosporine administration and development of acute bullous keratopathy in cats (abstract). Vet Ophthalmol, 19 Suppl 1:77-85.
37- Salant H, Klainbart S, Kelmer E, Mazuz ML, Baneth G, I Aroch I. (2021). Systemic toxoplasmosis in a cat under cyclosporine therapy. Vet Parasitol Reg Stud Reports 23:100542.
38- Steffan J, Alexander D, Brovedani F, Fisch RD. (2003). Comparison of cyclosporine A with methylprednisolone for treatment of canine atopic dermatitis: a parallel, blinded, randomized controlled trial. Vet Dermatol 14(1),11-22.

39- Steffan J, Favrot C, Mueller R. (2006). A systematic review and meta-analysis of the efficacy and safety of cyclosporin for the treatment of atopic dermatitis in dogs. Vet Dermatol 17(1),3-16.
40- Steffan J, Parks C, Seewald W. (2005). Clinical trial evaluating the efficacy and safety of cyclosporine in dogs with atopic dermatitis. J Am Vet Med Assoc, 226(11):1855-1863.
41- Tarpataki N. (2006). Recent developments in canine atopic dermatitis: a review. Acta Vet Hung 54(4),473-484.
42- Uslu M. (2022a). The use of calcineurin inhibitors in atopic dermatitis of dogs. International Ankara Congress on Scientific Research IV, April 1-3, Ankara, Turkey.
43- Uslu M. (2022b). Some drugs with efficacy in atopic dermatitis of dogs. International Ankara Congress on Scientific Research IV, April 1-3, Ankara, Turkey.
44- Uslu M. (2022c). Glucocorticoids and canine atopic dermatitis. 5. International Icontech Symposium on Innovative Surveys in Positive Sciences, 05-06 February, Şanlıurfa, Turkey.
45- Viviano KR, Julie L Webb JL. (2011). Clinical use of cyclosporine as an adjunctive therapy in the management of feline idiopathic pure red cell aplasia. J Feline Med Surg 13(12),885-895.
46- Widmer G, Ferrer L, Favrot C, Paps J, Huynh K, Olivry T. (2018). Glucocorticosteroids and ciclosporin do not significantly impact canine cutaneous microbiota. BMC Vet Res 14(1),51.
47- Wisselink MA, Willemse T. (2009). The efficacy of cyclosporine A in cats with presumed atopic dermatitis: a double blind, randomised prednisolone-controlled study. Vet J 180(1),55-59.
48- Wu YA, Lidbury JA, Sinha S, Steiner JM. (2025). Randomized open-label clinical trial comparing prednisolone and cyclosporine with a nonrandomized active control for treating presumed chronic pancreatitis in cats. J Vet Intern Med 39(4),e70163.
49- Yazar E. (2024). Kemoterapötikler, in: Veteriner İlaç Rehberi Tedavi El Kitabı, Ed: Yazar E, Nobel Tıp Kitabevleri, Ankara, Türkiye, pp:83-242.

LEİSHMANİA İNFANTUM VE *LEİSHMANİA TROPİCA*'YA KARŞI ANTİLEİSHMANİAL AKTİVİTE VE SİTOTOKSİSİTENİN DEĞERLENDİRİLMESİ: TİYENO[3,2-*D*]PİRİMİDİN-4(3*H*)-ON SCHİFF BAZLARI ÜZERİNE BİR ÇALIŞMA

Dr. Öğr. Üyesi Baycan MOR
Kafkas Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Moleküler Biyoloji ve Genetik Bölümü, Kars, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-9480-3143

ÖZET

Leishmaniasis, dünya genelinde önemli morbidite ve mortaliteye neden olan ihmal edilmiş tropikal hastalıklardan biridir. Mevcut tedavi seçeneklerinin toksisite, yüksek maliyet ve ilaç direnci gibi sınırlılıkları, yeni antileishmanial ajanların geliştirilmesini gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada, daha önce sentezlenen yirmi adet tiyeno[3,2-*d*]pirimidin-4(3*H*)-on Schiff bazı türevinin *Leishmania infantum* ve *Leishmania tropica* promastigotlarına karşı *in vitro* antileishmanial aktiviteleri ile insan umbilikal ven endotel hücreleri (HUVEC) üzerindeki sitotoksik etkileri değerlendirilmiştir. Antileishmanial aktivite çalışmaları logaritmik büyüme fazındaki promastigotlar üzerinde gerçekleştirilmiş ve hücre canlılığı CVDK-8 Hücre Canlılık Kiti kullanılarak değerlendirilmiştir. Sitotoksisite analizleri, antileishmanial aktivite gösteren bileşikler üzerinde HUVEC hücre hattı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, çalışmada kullanılan bileşikler arasında 5, 12, 13, 14 ve 19 numaralı bileşikler belirgin antileishmanial aktivite göstermiştir. *L. infantum*'a karşı en yüksek aktivite 12 numaralı bileşikte (IC_{50} = 34.4 µM), *L. tropica*'ya karşı ise 13 numaralı bileşikte (IC_{50} = 20.1 µM) belirlenmiştir. Dikkat çekici olarak, 13 numaralı bileşik *L. tropica*'ya karşı referans ilaç miltefosinden daha yüksek aktivite göstermiştir. Sitotoksisite ve seçicilik indeksi sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, 12 numaralı bileşiğin yüksek seçicilik profili (Sİ = 5.81) ve düşük konak hücre toksisitesi nedeniyle en umut verici aday olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, tiyeno[3,2-*d*]pirimidin-4(3*H*)-on Schiff bazı türevlerinin yeni antileishmanial ajanların geliştirilmesinde potansiyel taşıdığı ve özellikle 12 numaralı bileşiğin ileri biyolojik çalışmalar için uygun bir aday olduğu düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Leishmaniasis, *L. infantum*, *L. tropica*, antileishmanial aktivite, sitotoksisite, tiyeno[3,2-*d*]pirimidin, Schiff bazı**.**

EVALUATİON OF ANTİLEİSHMANİAL ACTİVİTY AND CYTOTOXİCİTY AGAİNST *LEİSHMANİA İNFANTUM* AND *LEİSHMANİA TROPİCA*: A STUDY OF THİENO[3,2-*D*]PYRİMİDİN-4(3*H*)-ONE SCHİFF BASES

ABSTRACT

Leishmaniasis is one of the neglected tropical diseases responsible for significant morbidity and mortality worldwide. The limitations of current therapeutic options, including toxicity, high cost, and the emergence of drug resistance, necessitate the development of novel antileishmanial agents. In the present study, the *in vitro* antileishmanial activities of twenty previously synthesized thieno[3,2-*d*]pyrimidin-4(3*H*)-one Schiff base derivatives against *Leishmania infantum* and *Leishmania tropica* promastigotes, as well as their cytotoxic effects on human umbilical vein endothelial cells (HUVECs), were evaluated. Antileishmanial assays were performed using logarithmic-phase promastigotes, and cell viability was assessed using the CVDK-8 Cell Viability Kit. Cytotoxicity analyses were conducted on compounds exhibiting antileishmanial activity using the HUVEC cell line. According to the obtained results, compounds 5, 12, 13, 14, and 19 exhibited notable antileishmanial activity among the synthesized derivatives. Compound 12 demonstrated the highest activity against *L. infantum* (IC_{50} = 34.4 µM), whereas compound 13 showed the greatest activity against *L. tropica* (IC_{50} = 20.1 µM). Notably, compound 13 exhibited greater antileishmanial activity against *L. tropica* than the reference drug miltefosine. When cytotoxicity and selectivity index results were evaluated together, compound 12 emerged as the most promising candidate owing to its high selectivity profile (SI = 5.81) and low toxicity toward host cells. Overall, these findings suggest that thieno[3,2-*d*]pyrimidin-4(3*H*)-one Schiff base derivatives represent promising scaffolds for the development of novel antileishmanial agents, and that compound 12 is a suitable candidate for further biological investigations.

Keywords: Leishmaniasis, *L. infantum*, *L. tropica*, antileishmanial activity, cytotoxicity, thieno[3,2-*d*]pyrimidine, Schiff base.

1. GİRİŞ

Leishmaniasis, *Leishmania* cinsine ait protozoon parazitlerin neden olduğu ve enfekte kum sinekleri aracılığıyla bulaşan, ihmal edilmiş tropikal hastalıklar arasında yer alan önemli bir halk sağlığı sorunudur. Klinik olarak kutanöz, mukokutanöz ve visseral formlarda ortaya çıkan leishmaniasis, her yıl milyonlarca insanı etkilemekte ve önemli düzeyde morbidite ve mortaliteye neden olmaktadır (Hakkour vd., 2019). Hastalığın yayılımı; iklim değişikliği, göç ve kentleşme gibi faktörlerin etkisiyle giderek artmakta, özellikle sağlık hizmetlerine erişimi kısıtlı topluluklarda ciddi sosyoekonomik sonuçlara yol açmaktadır (Rahimi vd., 2025).

Leishmania tropica ve *Leishmania infantum*, leishmaniasis epidemiyolojisi ve klinik seyri açısından en önemli türler arasında yer almaktadır. Başlıca kutanöz leishmaniasis etkenlerinden biri olan *L. tropica*, özellikle Orta Doğu ve Kuzey Afrika'daki kentsel bölgelerde yaygın olarak görülmekte olup, savaş, zorunlu göç ve sağlık altyapısının bozulduğu Suriye ve Afganistan gibi ülkelerde insidansında belirgin artışlar bildirilmiştir (Rahimi vd., 2025). Kentsel alanlarda baskın kutanöz leishmaniasis etkeni olarak ortaya çıkması, özellikle mülteci popülasyonlarında sürveyans ve kontrol önlemlerinin güçlendirilmesini gerekli kılmıştır (Şakru vd., 2025; Rahimi vd., 2025). Buna karşılık, *L. infantum* başta Avrupa ve Akdeniz havzası olmak üzere birçok bölgede visseral leishmaniasis'in temel etkeni olarak kabul edilmektedir (Hakkour vd., 2019). Köpeklerin başlıca rezervuar olduğu zoonotik yapısı, epidemiyolojik kontrolü zorlaştırmakta ve bütünleşik kontrol stratejilerinin uygulanmasını gerekli kılmaktadır (El-Mouhdi vd., 2020). Ayrıca, köpeklerin insanlarla yakın temas halinde yaşadığı evsel ortamlarda türün bulaş dinamiklerinde önemli rol oynadığı bildirilmektedir (Bahrami vd., 2014). Bunun yanı sıra, *L. infantum*'un endemik olduğu bölgelerde HIV ile görülen koenfeksiyonlar, hastalığın klinik seyrini ağırlaştırmakta ve tedavi yönetimini güçleştirerek ek bir halk sağlığı sorunu oluşturmaktadır (Daoudi vd., 2019; Rahimi vd., 2025). Bu bağlamda, yeni antileishmanial ajanların geliştirilmesine yönelik çalışmalarda, geniş biyolojik aktivite spektrumuna sahip heterosiklik bileşikler önemli moleküler iskeletler olarak öne çıkmaktadır. Özellikle azot içeren kaynaşık heterosiklik sistemlerden biri olan tiyeno[3,2-*d*]pirimidin çekirdeği, antiparaziter, antimikrobiyal, antiviral ve antikanser aktiviteler dâhil olmak üzere çok çeşitli biyolojik özellikler sergilemesi nedeniyle dikkat çekmektedir (Hafez & El-Gazzar, 2017; Wang vd., 2015; Lagardère vd., 2021). Yapısal olarak pürin benzeri farmakofor özellikleri taşıyan bu iskelet, kinazlar ve nükleotid bağlayan proteinler gibi çeşitli biyolojik hedeflerle etkileşime girebilmekte ve antileishmanial ilaç geliştirme çalışmalarında ayrıcalıklı bir yapı (privileged scaffold) olarak değerlendirilmektedir (Qian vd., 2018; Nadar vd., 2025). Ayrıca, tiyeno[3,2-*d*]pirimidin türevlerinin, antileishmanial aktivite açısından sıklıkla araştırılan kinazolin türevlerinin biyoizosteri olarak kullanılabilmesi, bu iskeletin yapı-etkinlik ilişkisi çalışmalarında önemli avantajlar sağlamaktadır (İstanbullu, 2023; Lagardère vd., 2021). Önceki çalışmalar, özellikle C-2, C-4 ve C-6 pozisyonlarındaki yapısal modifikasyonların *Leishmania* türlerine karşı aktiviteyi önemli ölçüde etkilediğini ve bazı türevlerin düşük mikromolar hatta submikromolar düzeylerde antileishmanial aktivite gösterebildiğini ortaya koymuştur (Hafez & El-Gazzar, 2017; Noh vd., 2020; Wang vd., 2015).

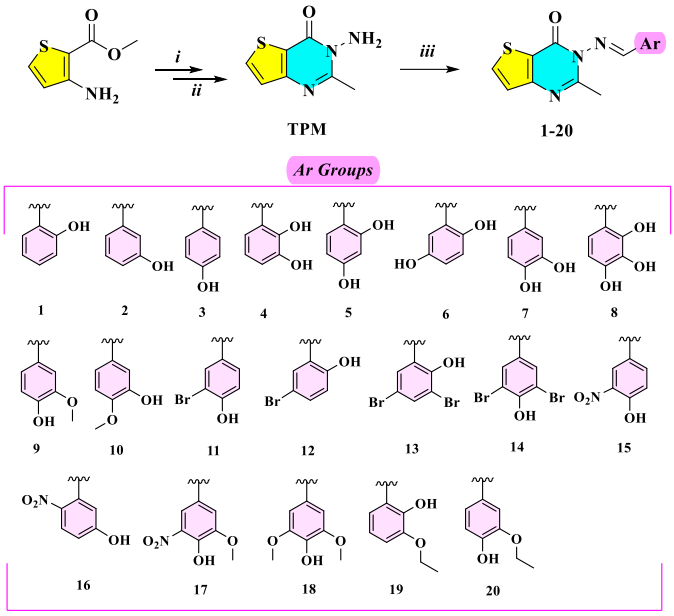
Bu bulgular, tiyeno[3,2-d]pirimidin türevlerinin yeni ve seçici antileishmanial ajanların geliştirilmesi açısından umut verici bir moleküler platform olduğunu göstermektedir.

Daha önce yapılan çalışmamızda, çeşitli tiyeno[3,2-*d*]pirimidin-4(3*H*)-on Schiff bazı türevlerinin *Leishmania major* promastigotlarına karşı antileishmanial aktiviteleri değerlendirilmiş ve bazı türevlerin umut verici aktivite ve seçicilik profilleri sergilediği belirlenmiştir (Mor vd., 2026). Özellikle belirli fenolik substitüsyonlar içeren türevlerin antileishmanial etkinliği artırdığı gösterilmiş, böylece bu moleküler iskeletin daha ileri araştırmalar için uygun bir aday olduğu ortaya konulmuştur. Bununla birlikte, aynı bileşiklerin farklı *Leishmania* türlerine karşı etkinlik profilleri henüz araştırılmamıştır. *Leishmania* türleri arasında gözlenen biyolojik, epidemiyolojik ve klinik farklılıklar göz önüne alındığında, yeni antileishmanial adayların türler arası etkinliklerinin değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu nedenle, mevcut çalışmada daha önce sentezlenen tiyeno[3,2-*d*]pirimidin-4(3*H*)-on Schiff bazı türevlerinin *L. infantum* ve *L. tropica* promastigotlarına karşı *in vitro* antileishmanial aktiviteleri araştırılmış, HUVEC hücre hattı kullanılarak sitotoksisiteleri değerlendirilmiştir.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. *Leishmania* izolatları ve kimyasal bileşikler

Bu çalışmada kullanılan *Leishmania infantum* (MHOM/TN/1980/IPT1) ve *Leishmania tropica* (MHOM/AZ/1974/SAF-K27) izolatları, Manisa Celal Bayar Üniversitesi Tıp Fakültesi Parazitoloji Anabilim Dalı Parazit Bankası'ndan temin edilmiştir. Ayrıca çalışmada kullanılan tiyeno[3,2-*d*]pirimidin-4(3*H*)-on türevleri, önceki çalışmamız kapsamında sentezlenmiş olup, yapısal karakterizasyonları ilgili çalışmada ayrıntılı olarak tanımlanmıştır (Şekil 1) (Mor vd., 2026).



Şekil 1. Antileishmanial aktivitesi incelenen bileşikler (Mor vd., 2026).

2.2. Promastigotların kültürde çoğaltılması

Sıvı azotta (−196 °C) kriyoprezerve edilmiş *L. infantum* ve *L. tropica* promastigotları çıkarılarak 37 °C sıcaklıktaki su banyosunda hızlı bir şekilde çözündürülmüştür. Çözündürme işlemini takiben parazitler, %10 fetal bovin serum (FBS), %1.1 gentamisin ve %1.1 penisilin-streptomisin ile Novy–MacNeal–Nicolle (NNN) besiyeri ve RPMI-1640 kültür ortamına aseptik koşullar altında inoküle edilmiş ve 27 °C'de inkübasyona bırakılmıştır. Logaritmik büyüme fazındaki promastigotların elde edilmesi amacıyla, aktif çoğalma gösteren kültürlerden yaklaşık 0.5–1 mL süspansiyon, kültürün 10. gününde 5 mL taze RPMI-1640 besiyeri içeren steril kültür flasklarına aktarılmış ve 27 °C'de inkübasyona devam edilmiştir. Parazit çoğalması için kültür ortamına iki günde bir 2–3 mL taze RPMI-1640 besiyeri ilave edilmiştir. Parazitlerin büyüme ve gelişimleri, kültürün 10. ve 20. günleri arasında Thoma sayım kamarası kullanılarak düzenli olarak izlenmiştir. Uygulanan kültür koşulları altında promastigotların 20. gün sonunda yaklaşık $1x10^8$ parazit/mL yoğunluğuna ulaştığı belirlenmiştir.

2.3. *In vitro* antileishmanial aktivite deneyi

Bileşik 1–20, öncelikle 200 mM konsantrasyonunda stok çözeltiler hazırlanmak üzere dimetil sülfoksit (DMSO; Sigma-Aldrich, ABD) içerisinde çözündürülmüştür. Daha sonra bileşiklerin 3.125–200 µM aralığındaki seri dilüsyonları ile referans ilaç olarak kullanılan miltefosinin (Abmole Bioscience, ABD) 2–64 µM aralığındaki konsantrasyonları hazırlanmıştır. Hazırlanan bileşik çözeltileri ve miltefosin, logaritmik büyüme fazındaki *L. infantum* ve *L.*

tropica promastigot süspansiyonlarına steril koşullar altında ilave edilmiştir. Uygulama sonrasında parazit kültürleri 27 °C'de 24 saat süreyle inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresinin tamamlanmasının ardından parazit süspansiyonları homojenizasyonun sağlanması amacıyla 5 saniye süreyle hafifçe vortekslenmiş ve her örnekten alınan 100 µL'lik alikotlar steril 96 kuyucuklu mikroplakalara aktarılmıştır. Hücre canlılığı, her kuyucuğa 10 µL CVDK-8 Hücre Canlılık Kiti (EcoTech, Türkiye) eklenmesini takiben plakaların 37 °C'de 60 dakika süreyle inkübe edilmesiyle değerlendirilmiştir. İnkübasyon sonrasında absorbans değerleri, mikroplaka spektrofotometresi (Thermo Scientific, ABD) kullanılarak 450 nm dalga boyunda ölçülmüştür (Mor vd., 2025).

2.4. Sitotoksisite analizi

En yüksek antileishmanial aktivite gösteren 5, 12, 13, 14 ve 19 numaralı bileşiklerin sitotoksik etkilerinin referans ilaç miltefosin ile karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi amacıyla, sağlıklı hücre modeli olarak insan umbilikal ven endotel hücreleri (HUVEC; ATCC, ABD) kullanılmıştır. HUVEC hücreleri, %10 fetal bovin serum (FBS; Gibco, ABD) ve %1 penisilin-streptomisin çözeltisi (Gibco, ABD) ile desteklenmiş Dulbecco'nun Modifiye Eagle Besiyeri (DMEM) içerisinde, %5 CO^2 içeren nemlendirilmiş atmosfer koşullarında 37 °C'de kültüre edilmiştir. Hücreler, tripsinizasyon işleminin ardından steril 96 kuyucuklu mikroplakalara kuyucuk başına 4×10^3 hücre olacak şekilde ekilmiş ve yüzeye tutunmalarını sağlamak amacıyla 24 saat süreyle inkübe edilmiştir. İnkübasyon süresinin tamamlanmasının ardından kültür ortamı uzaklaştırılmış ve yerine 5, 12, 13, 14 ve 19 numaralı bileşikler veya referans ilaç miltefosin içeren taze besiyeri eklenmiştir. Test edilen bileşikler ve miltefosin, son konsantrasyonları 3.125–200 µM (3.125, 6.25, 12.5, 25, 50, 100 ve 200 µM; n = 3) olacak şekilde hücrelere uygulanmıştır. Uygulama sonrasında hücreler ilave 24 saat süreyle inkübasyona bırakılmıştır. Hücre canlılığı, her kuyucuğa 10 µL CVDK-8 Hücre Canlılık Kiti (EcoTech, Türkiye) ilave edilmesini takiben plakaların 37 °C'de 60 dakika süreyle inkübe edilmesiyle değerlendirilmiştir. İnkübasyon sonunda oluşan renk değişimi, mikroplaka spektrofotometresi kullanılarak 450 nm dalga boyunda ölçülmüş ve elde edilen veriler hücre canlılığının belirlenmesinde kullanılmıştır (Mor vd., 2025).

2.5. IC_{50} ve seçicilik indeksi (Sİ) hesaplamaları

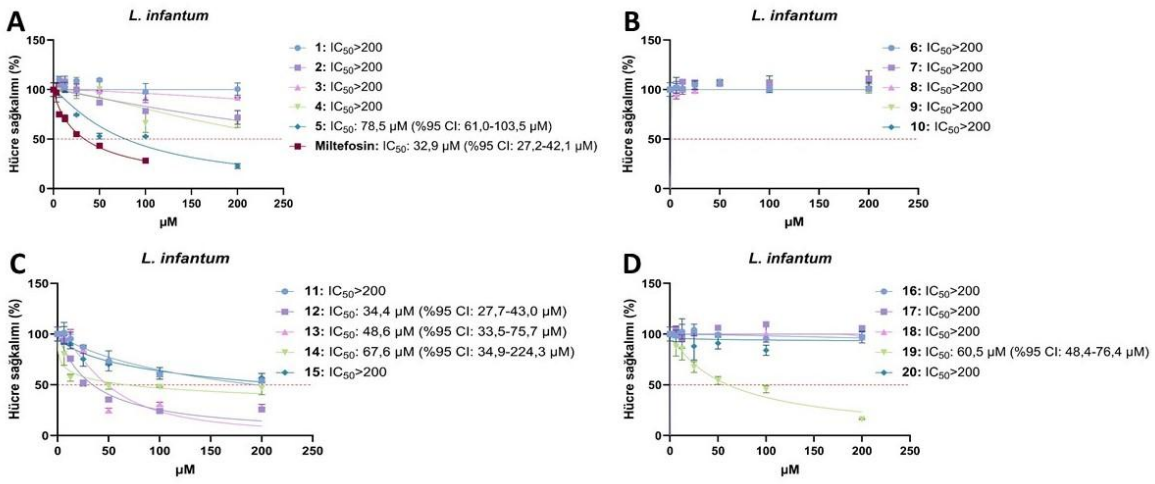
Hücre canlılığı analizlerinden elde edilen absorbans değerleri, kontrol grubunun canlılığı %100 olarak kabul edilerek normalize edilmiş ve sonuçlar yüzde (%) hücre canlılığı olarak ifade edilmiştir. Elde edilen verilerin istatistiksel analizi GraphPad Prism yazılımının 10.6.1 sürümü (GraphPad Software, ABD) kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yarı maksimal inhibitör

konsantrasyon (IC_{50}) değerleri ve bunlara ait %95 güven aralıkları, değişken eğimli dört parametreli lojistik (4PL) doz-yanıt modeli kullanılarak gerçekleştirilen doğrusal olmayan regresyon analizi ile hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar doz-yanıt eğrileri şeklinde sunulmuş olup, IC_{50} değerleri ortalama ± standart sapma (Ort ± SS) olarak raporlanmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. *Leishmania infantum* ve *Leishmania tropica*'ya Karşı *in vitro* antileishmanial aktivite sonuçları

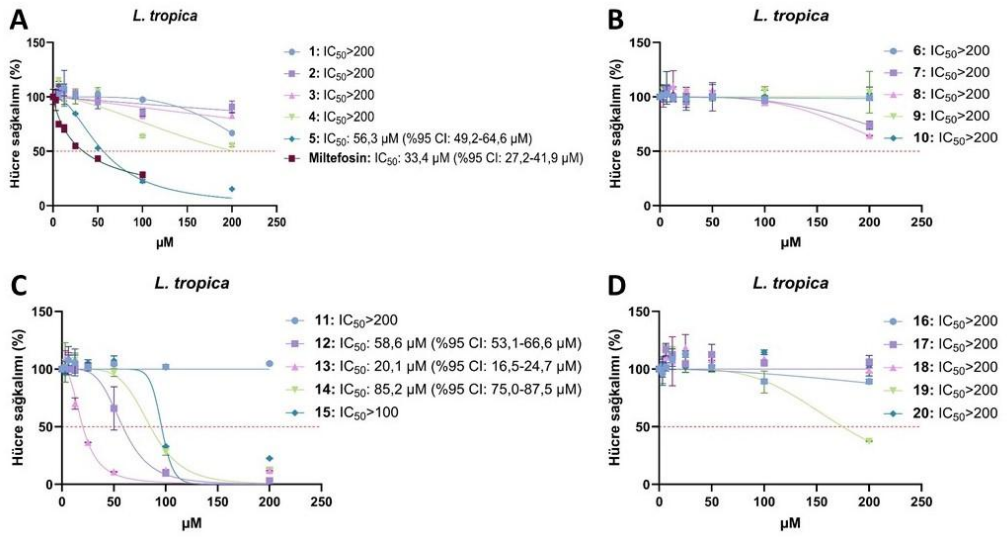
Çalışmada kullanılan yirmi tiyeno[3,2-*d*]pirimidin-4(3*H*)-on Schiff bazı türevinin *L. infantum* promastigotlarına karşı *in vitro* antileishmanial aktiviteleri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, bileşiklerin büyük çoğunluğunun 24 saatlik inkübasyon sonrasında 200 µM'nin üzerinde IC_{50} değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte 5, 12, 13, 14 ve 19 numaralı bileşikler belirgin antileishmanial aktivite göstermiştir. Bu bileşiklerin *L. infantum* promastigotlarına karşı IC_{50} değerleri sırasıyla 78.5, 34.4, 48.6, 67.6 ve 60.5 µM olarak hesaplanmıştır. Test edilen bileşikler arasında en yüksek aktivite 12 numaralı bileşikte gözlenmiş olup, bu bileşiğin IC_{50} değeri 34.4 µM olarak belirlenmiştir. Referans ilaç miltefosin ise aynı deney koşullarında 32.9 µM IC_{50} değeri göstermiştir. 12 numaralı bileşiğin aktivitesinin miltefosine oldukça yakın olduğu belirlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Bileşik 1–20'nin *L. infantum* 'a karşı *in vitro* antipromastigot aktivitesi. **(A)** bileşik 1–5 ve miltefosin, **(B)** bileşik 6–10, **(C)** bileşik 11–15, **(D)** bileşik 16–20. IC_{50} değerleri doz-yanıt eğrilerinden belirlenmiş olup, ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir.

L. tropica promastigotlarına karşı gerçekleştirilen *in vitro* değerlendirmelerde, çalışmada kullanılan bileşiklerin çoğunun IC_{50} değerlerinin 200 µM'nin üzerinde olduğu belirlenmiştir. Buna karşın 5, 12, 13 ve 14 numaralı bileşikler anlamlı düzeyde antileishmanial aktivite

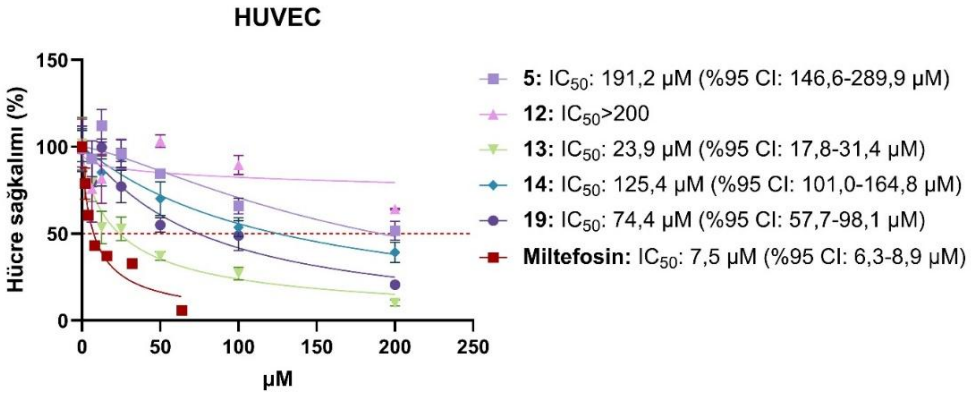
sergilemiştir. Söz konusu bileşiklerin IC_{50} değerleri sırasıyla 56.3, 58.6, 20.1 ve 85.2 µM olarak hesaplanmıştır. Tüm bileşikler arasında en yüksek aktivite 13 numaralı bileşikte gözlenmiş ve bu bileşiğin IC_{50} değeri 20.1 µM olarak belirlenmiştir. Referans ilaç miltefosin ise *L. tropica* promastigotlarına karşı 33.4 µM IC_{50} değeri göstermiştir. Dikkat çekici olarak 13 numaralı bileşik, miltefosinden daha yüksek antileishmanial aktivite sergilemiştir (Şekil 3).



Şekil 3. Bileşik 1–20'nin *L. tropica*' ya karşı *in vitro* antipromastigot aktivitesi. **(A)** bileşik 1–5 ve miltefosin, **(B)** bileşik 6–10, **(C)** bileşik 11–15, **(D)** bileşik 16–20. IC_{50} değerleri doz-yanıt eğrilerinden belirlenmiş olup, ortalama ± standart sapma olarak ifade edilmiştir.

3.2. Sitotoksisite ve seçicilik indeksi sonuçları

Antileishmanial aktivite gösteren 5, 12, 13, 14 ve 19 numaralı bileşiklerin sitotoksik etkileri HUVEC hücre hattı kullanılarak değerlendirilmiştir (Şekil 4). Sitotoksisite sonuçlarına göre 12 numaralı bileşiğin 200 µM konsantrasyona kadar belirgin sitotoksik etki göstermediği belirlenmiştir. 5, 14 ve 19 numaralı bileşiklerin HUVEC hücreleri üzerindeki IC_{50} değerleri sırasıyla 191.2, 125.4 ve 74.4 µM olarak hesaplanmıştır. Buna karşın 13 numaralı bileşik 23.9 µM IC_{50} değeri ile en yüksek sitotoksisiteyi göstermiştir. Referans ilaç miltefosinin HUVEC hücrelerine karşı IC_{50} değeri ise 7.5 µM olarak belirlenmiştir. Seçicilik indeksi değerlendirildiğinde, 12 numaralı bileşiğin *L. infantum* için 5.81 ile en yüksek seçiciliğe sahip olduğu görülmüştür. Ayrıca 5 ve 12 numaralı bileşiklerin *L. tropica* için sırasıyla 3.40 ve 3.41 Sİ değerleri sergilediği belirlenmiştir. Buna karşılık 13 ve 19 bileşiklerinin düşük Sİ değerleri nedeniyle konak hücrelere karşı daha düşük seçicilik gösterdiği saptanmıştır.



Şekil 4. Bileşik 5, 12, 13, 14 ve 19 ile miltefosinin HUVEC hücreleri üzerindeki sitotoksik etkileri. IC_{50} değerleri doz-yanıt eğrilerinden hesaplanmış olup ortalama ± standart sapma olarak sunulmuştur. Grafikte kullanılan kare, üçgen ve daire gibi semboller, ilgili bileşiklere ait doz–hücre canlılığı veri noktalarını temsil etmekte olup şekil boyunca tutarlı bir şekilde kullanılmıştır.

Tablo 1. Bileşik 5, 12, 13, 14 ve 19 ile miltefosinin *in vitro* sitotoksisite sonuçları ve Sİ değerleri.

	IC_{50} (µM)			**Seçicilik İndeksi (Sİ)**	
Bileşikler	***L. infantum***	***L. tropica***	**HUVEC**	***L. infantum***	***L. tropica***
5	78.5	56.3	191.2	2.44	3.40
12	34.4	58.6	200	5.81	3.41
13	48.6	20.1	23.9	0.49	1.19
14	67.6	85.2	125.4	1.85	1.47
19	60.5	200	74.4	1.23	0.37
Miltefosin	32.9	33.4	7.5	0.23	0.22

Seçicilik indeksi sonuçları incelendiğinde, 12 numaralı bileşiğin *L. infantum* için en yüksek Sİ değerine (5.81) sahip olduğu belirlenmiştir. Yüksek Sİ değeri, antiparaziter etkinliğin konak hücre toksisitesine kıyasla daha seçici olduğunu göstermesi açısından önemlidir. Buna karşılık bileşik 13 ve 19'un düşük Sİ değerleri, bu bileşiklerin terapötik kullanım potansiyelini sınırlandırabilecek düzeyde konak hücre toksisitesine sahip olabileceğini düşündürmektedir. Özellikle miltefosinin oldukça düşük Sİ değerleri göstermesi, bazı türevlerin güvenlilik açısından referans ilaçtan daha avantajlı olabileceğini ortaya koymaktadır. Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, 12 numaralı bileşiğin hem güçlü antileishmanial aktivitesi hem de yüksek seçicilik profili nedeniyle ileri *in vitro* ve *in vivo* çalışmalar için en umut verici aday olduğu söylenebilir.

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, tiyeno[3,2-*d*]pirimidin-4(3*H*)-on Schiff bazı türevlerinin antileishmanial aktivitelerinin *Leishmania* türüne bağlı olarak değişebileceğini göstermiştir. *L. infantum*'a karşı en yüksek aktivite 12 numaralı bileşikte gözlenirken (IC_{50} = 34.4 µM), *L. tropica*'ya karşı en güçlü aktivite 13 numaralı bileşik tarafından sergilenmiştir (IC_{50} = 20.1 µM). Özellikle 13 numaralı bileşiğin *L. tropica* üzerinde referans ilaç miltefosinden daha

yüksek aktivite göstermesi, türler arasında farklı duyarlılık mekanizmalarının bulunabileceğini düşündürmektedir.

Leishmania türleri arasında membran lipid kompozisyonu, yüzey glikokonjugatları, taşıyıcı protein ekspresyonu ve metabolik yolaklar bakımından önemli biyolojik farklılıklar bulunduğu bilinmektedir. Bu farklılıklar, ilaç alımı, hücre içi dağılımı ve hedef proteinlerle etkileşim gibi süreçleri etkileyerek türler arasında değişken ilaç duyarlılığına neden olabilmektedir. Bu nedenle, belirli bileşiklerin yalnızca belirli türlerde yüksek aktivite göstermesi beklenen bir durumdur.

Buna ek olarak, 12 numaralı bileşiğin hem *L. major* (Mor vd., 2026) hem de *L. infantum*'a karşı yüksek aktivite göstermesi, bu bileşiğin farklı *Leishmania* türleri arasında korunmuş moleküler hedeflerle etkileşime girebileceğini düşündürmektedir. Buna karşılık, 13 numaralı bileşiğin *L. tropica*'ya karşı belirgin üstünlüğü, bu türe özgü biyokimyasal süreçlerin veya hedef proteinlerin rol oynayabileceğine işaret etmektedir. Bu bulgular, yeni antileishmanial adayların geliştirilmesinde türler arası biyolojik farklılıkların dikkate alınmasının önemini ortaya koymaktadır.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, yirmi adet tiyeno[3,2-*d*]pirimidin-4(3*H*)-on Schiff bazı türevinin *L. infantum* ve *L. tropica* promastigotlarına karşı *in vitro* antileishmanial aktiviteleri ile HUVEC hücreleri üzerindeki sitotoksik etkileri değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, bileşiklerin antileishmanial aktivitelerinin türler arasında farklılık gösterebildiğini ortaya koymuştur. *L. infantum*'a karşı en yüksek aktivite 12 numaralı bileşikte gözlenirken, *L. tropica*'ya karşı en güçlü aktivite 13 numaralı bileşik tarafından sergilenmiştir. Ayrıca, 13 numaralı bileşiğin *L. tropica* üzerinde referans ilaç miltefosinden daha yüksek aktivite göstermesi dikkat çekici bir bulgu olarak değerlendirilmiştir.

Sitotoksisite ve seçicilik indeksi sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, 12 numaralı bileşiğin hem güçlü antileishmanial aktivitesi hem de yüksek seçicilik profili nedeniyle en umut verici aday olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, elde edilen bulguların hücre içi amastigot modelleri ve *in vivo* çalışmalarla desteklenmesi, bu bileşiklerin terapötik potansiyellerinin daha kapsamlı olarak ortaya konulmasına katkı sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesine sağladıkları değerli katkılarından dolayı Prof. Dr. Ahmet ÖZBİLGİN'e, Doç. Dr. Feyzi Sinan TOKALI'ya ve Dr. Barış YILDIZ'a teşekkür ederim.

KAYNAKÇA

Bahrami, A., Rassi, Y., Maleki, N., Oshaghi, M. A., Akhavan, A. A., Yagoobi-Ershadi, M. R., ... Rafizadeh, S. (2014). Leishmania infantum DNA detection in Phlebotomus tobbi in a new northern focus of visceral leishmaniasis in Iran. Asian Pacific Journal of Tropical Disease, 4(2), 110–114. https://doi.org/10.1016/S2222-1808(14)60325-X

Daoudi, M., Boussaa, S., Echchakery, M., & Boumezzough, A. (2019). Risk mapping of human HIV-leishmaniasis co-infection in Morocco. Heliyon, 5(9), e02419. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02419

El-Mouhdi, K., Boussaa, S., Chahlaoui, A., & Fekhaoui, M. (2022). Prevalence and risk factors of canine leishmaniasis in Morocco: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Parasitic Diseases, 46*(4), 967–987. https://doi.org/10.1007/s12639-022-01521-2

Hafez, H. N., & El-Gazzar, A.-R. B. A. (2017). Synthesis and evaluation of antitumor activity of new 4-substituted thieno[3,2-d]pyrimidine and thienotriazolopyrimidine derivatives. *Acta Pharmaceutica, 67*(4), 527–542. https://doi.org/10.1515/acph-2017-0039

Hakkour, M., Alem, M., Hmamouch, A., Rhalem, A., Delouane, B., Habbari, K., ... Sebti, F. (2019). Leishmaniasis in Northern Morocco: Predominance of Leishmania infantum compared to Leishmania tropica. BioMed Research International, 2019, Article 5327287, 1–14. https://doi.org/10.1155/2019/5327287

Istanbullu, H. (2023). Quinazoline and its derivatives: Privileged heterocyclic scaffolds in antileishmanial drug discovery. In A. G. Al-Kaf (Ed.), Recent advances on quinazoline. IntechOpen. https://doi.org/10.5772/intechopen.1003692

Lagardère, P., Fersing, C., Masurier, N., & Lisowski, V. (2021). Thienopyrimidine: A promising scaffold to access anti-infective agents. *Pharmaceuticals, 15*(1), Article 35. https://doi.org/10.3390/ph15010035

Mor, B., Tokalı, F. S., Yıldız, B., Şenol, H., Aksu, Ş., & Mor, N. (2025). Design, Synthesis, and Evaluation of Novel Quinazolin-4(3H)-One Derivatives: Anti-Leishmanial Activity, Selectivity, and Molecular Docking Insights. J. Biochem. Mol. Toxicol. 39(6), e70309. https://doi.org/10.1002/jbt.70309

Mor, N., Yıldız, B., Mor, B., & Tokalı, F. S. (2026). New thieno[3,2-d]pyrimidin-4(3H)-one Schiff bases as selective antileishmanial agents. Life, 16(6), Article 979. https://doi.org/10.3390/life16060979

Nadar, S., Borkar, M. R., & Khan, T. (2025). Thienopyrimidine: Unveiling the versatile potential of a promising heterocyclic scaffold in drug discovery. *Chemical Biology & Drug Design, 105*(6). https://doi.org/10.1111/cbdd.70146

Noh, E. S., Kim, S. M., & Song, Y.-H. (2020). 4-(3-Phenyl-1H-pyrazolo[3,4-d]pyrimidin-1-yl)thieno[3,2-d]pyrimidine. *Molbank, 2020*(2), M1136. https://doi.org/10.3390/M1136

Qian, H., Wang, Z., Chen, L., Pan, Y., Xie, X., Xie, X., & Chen, J. (2018). Design, synthesis, and SAR studies of heteroarylpyrimidines and heteroaryltriazines as CB2R ligands. *ChemMedChem, 13*(22), 2455–2463. https://doi.org/10.1002/cmdc.201800541

Rahimi, B. A., Ghatee, M., Habib, M. N., Farooqi, K., Ritmeijer, K., Hussain, H., ... Taylor, W. R. J. (2025). Cutaneous leishmaniasis in Afghanistan. *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene, 119*(8), 848–864. https://doi.org/10.1093/trstmh/traf028

Şakru, N., Özbel, Y., & Töz, S. (2025). Refugees/immigrants and leishmaniasis in the world's largest hosting country, Türkiye: A systematic review. PLoS Neglected Tropical Diseases, 19(4), e0012947. https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0012947

Wang, S.-B., Piao, G.-C., Zhang, H.-J., & Quan, Z. (2015). Synthesis of 5-alkoxythieno[2,3-e][1,2,4]triazolo[4,3-c]pyrimidine derivatives and evaluation of their anticonvulsant activities. *Molecules, 20*(4), 6827–6843. https://doi.org/10.3390/molecules20046827

AĞRININ ÖTESİNDE: SPİNAL TÜBERKÜLOZDA KAPSAMLI FİZYOTERAPİ DEĞERLENDİRMESİ—BİR OLGU SUNUMU

Dr. Öğr. Üyesi Elisa ÇALIŞGAN[1]
ORCID:0000-0003-4710-9540
elisacalisgan@ksu.edu.tr
[1]Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Kahramanmaraş, Türkiye

ÖZET

Spinal tüberküloz (Pott hastalığı), kas-iskelet sistemi tüberkülozunun en sık görülen formu olup kronik ağrı, postür bozukluğu, kas kuvvetsizliği, yürüme bozuklukları ve fonksiyonel yetersizlik ile sıklıkla ilişkilidir. Tıbbi ve cerrahi tedavi hastalık yönetiminin temelini oluşturmakla birlikte, kapsamlı bir fizyoterapi değerlendirmesi rehabilitasyon gereksinimlerinin belirlenmesi ve bireye özgü müdahalelerin planlanması açısından büyük önem taşımaktadır. Bu olgu sunumunda, spinal tüberküloz tanılı bir hastanın fizyoterapi değerlendirme bulguları sunulmuş ve bu bulguların rehabilitasyon sürecine olan katkısı tartışılmıştır. İki yıldır spinal tüberküloz tanısıyla takip edilen 41 yaşındaki kadın hasta, spinal cerrahi sonrasında anti-tüberküloz tedavisi devam ederken fizyoterapi değerlendirmesine alınmıştır. Başvuru sırasında hastada şiddetli bel ağrısı (Görsel Analog Skala: 9/10), denge bozukluğu, alt ekstremite kas kuvvetsizliği, azalmış yürüme dayanıklılığı ile fonksiyonel mobilite ve günlük yaşam aktivitelerinde belirgin kısıtlılık saptanmıştır. Hasta, dengesizlik ve düşük dayanıklılık nedeniyle yürüteç kullanarak ambule olabilmektedir. Fizyoterapi değerlendirmesi kapsamında ağrı şiddeti, postür, gövde hareketliliği, denge, yürüme performansı, fonksiyonel mobilite ve aktivite kısıtlılıkları ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonucunda şiddetli ağrı, bozulmuş postüral kontrol, yürüme bozukluğu ve azalmış fonksiyonel mobilitenin hastanın bağımsızlığını sınırlayan temel faktörler olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular, ağrı yönetimi, dengenin yeniden kazandırılması, yürüme eğitimi, progresif kas güçlendirme, gövde stabilizasyonu, dayanıklılık eğitimi ve görev odaklı fonksiyonel egzersizleri içeren bireyselleştirilmiş bir rehabilitasyon programının gerekliliğini ortaya koymuştur. Kapsamlı fizyoterapi değerlendirmesi, spinal tüberkülozlu hastalarda rehabilitasyon önceliklerinin belirlenmesinde değerli bilgiler sağlamaktadır. Ağrı, denge, yürüme, kas performansı, gövde fonksiyonu ve mobilitenin erken dönemde sistematik olarak değerlendirilmesi multidisipliner tedavi yaklaşımının ayrılmaz bir parçası olmalıdır. Bireyselleştirilmiş rehabilitasyon programlarının fonksiyonel bağımsızlığı artırabileceği, mobiliteyi geliştirebileceği ve engellilik ile düşme riskini azaltabileceği düşünülmektedir.

Spinal tüberkülozlu bireylerde standart fizyoterapi değerlendirme yöntemlerinin ve kanıta dayalı rehabilitasyon protokollerinin oluşturulabilmesi için ileriye dönük klinik çalışmalara ihtiyaç vardır.

Anahtar Kelimeler: spinal tüberküloz, Pott hastalığı, fizyoterapi değerlendirmesi, rehabilitasyon, yürüme, denge, fonksiyonel mobilite.

BEYOND PAIN: A COMPREHENSIVE PHYSIOTHERAPY ASSESSMENT OF SPINAL TUBERCULOSIS—A CASE REPORT

ABSTRACT

Spinal tuberculosis (Pott disease) is the most common form of musculoskeletal tuberculosis and is frequently associated with chronic pain, postural impairment, muscle weakness, gait abnormalities, and functional disability. Although medical and surgical management are the primary treatment approaches, comprehensive physiotherapy assessment is essential for identifying rehabilitation needs and guiding individualized intervention. This case report describes the physiotherapy assessment findings of a patient with spinal tuberculosis and discusses their implications for rehabilitation. A 41-year-old woman with a two-year history of spinal tuberculosis underwent physiotherapy evaluation following spinal surgery while continuing anti-tuberculosis therapy. She presented with severe low back pain (Visual Analog Scale: 9/10), impaired balance, lower extremity weakness, reduced walking endurance, and marked limitations in functional mobility and activities of daily living. Ambulation required the use of a walker because of instability and poor endurance. The assessment included pain intensity, posture, trunk mobility, balance, gait performance, functional mobility, and activity limitations. The evaluation identified severe pain, impaired postural control, gait dysfunction, and reduced functional mobility as the primary factors limiting independence. These findings highlighted the need for a rehabilitation program emphasizing pain management, balance recovery, gait retraining, progressive strengthening, trunk stabilization, endurance enhancement, and task-oriented functional training to improve mobility and daily function. Comprehensive physiotherapy assessment provides valuable information for determining rehabilitation priorities in patients with spinal tuberculosis. Early evaluation of pain, balance, gait, muscle performance, trunk function, and mobility should be integrated into multidisciplinary care. Individualized rehabilitation programs may improve functional independence, enhance mobility, and reduce disability and fall risk. Further prospective studies are required to establish standardized physiotherapy assessment protocols and evidence-based rehabilitation strategies for individuals with spinal tuberculosis.

Keywords: spinal tuberculosis; Pott disease; physiotherapy assessment; rehabilitation; gait; balance; functional mobility.

1. INTRODUCTİON

Spinal tuberculosis (STB), commonly known as Pott disease, is the most frequent manifestation of skeletal tuberculosis, representing nearly half of all musculoskeletal tuberculosis cases and approximately 1–2% of all tuberculosis infections globally (Jain & Kumar, 2013; Tuli, 2016). Although substantial progress has been achieved in antimicrobial treatment, tuberculosis continues to pose a significant global public health challenge. According to the World Health Organization (2024), an estimated 10.8 million individuals developed tuberculosis in 2024. While pulmonary tuberculosis remains the predominant clinical presentation, extrapulmonary tuberculosis accounts for approximately 15–20% of all reported cases, with a higher prevalence among immunocompromised individuals and populations in low- and middle-income countries (Golden & Vikram, 2005; World Health Organization, 2024). Among the extrapulmonary forms, spinal tuberculosis is particularly concerning because delayed recognition and ongoing vertebral destruction can lead to irreversible neurological impairment, progressive spinal deformity, persistent pain, and substantial functional disability (Garg & Somvanshi, 2011; Jain & Kumar, 2013). Spinal tuberculosis usually develops through hematogenous dissemination of *Mycobacterium tuberculosis* from a primary infectious focus, most commonly the lungs. The infection primarily affects the anterior aspect of the vertebral body adjacent to the intervertebral disc before extending to neighboring vertebrae, paravertebral soft tissues, and the epidural space (Jain & Kumar, 2013; Moon, 2014). Progressive vertebral destruction may lead to kyphotic deformity, spinal instability, epidural abscess formation, and spinal cord compression, ultimately compromising neurological function (Garg & Somvanshi, 2011; Moon, 2014). These pathological changes frequently impair trunk mechanics, alter postural alignment, and reduce overall functional capacity, highlighting the importance of comprehensive rehabilitation in addition to antimicrobial and surgical management (Dhouibi et al., 2024). The clinical presentation of spinal tuberculosis is often insidious and nonspecific. Persistent back pain is the most common presenting symptom and may precede neurological manifestations by several months (Garg & Somvanshi, 2011). As the disease progresses, patients frequently develop muscle weakness, impaired postural control, gait abnormalities, reduced walking endurance, balance deficits, and limitations in activities of daily living (ADL) (Dunn & Ben Husien, 2018). In advanced stages, vertebral collapse and neurological compromise may substantially reduce functional independence and quality of life. Consequently, successful management of spinal

tuberculosis should not only focus on infection control but also address the considerable physical impairments and activity limitations associated with the disease. Current treatment strategies primarily consist of prolonged multidrug anti-tuberculosis chemotherapy, with surgical intervention reserved for selected patients presenting with neurological deficits, spinal instability, severe deformity, extensive abscess formation, or failure of conservative treatment (Jain & Kumar, 2013; Garg & Somvanshi, 2011; Rajasekaran et al., 2018). Advances in surgical techniques have improved neurological recovery and spinal stability; however, surgery alone does not adequately restore physical function. Many patients continue to experience persistent pain, impaired mobility, muscle weakness, and decreased participation in daily activities even after successful surgical treatment (Benli et al., 2007; Dunn & Ben Husien, 2018). Therefore, postoperative rehabilitation has become an increasingly important component of multidisciplinary management. Physiotherapy plays a central role in restoring physical function following spinal tuberculosis. Rehabilitation interventions commonly target pain reduction, trunk stabilization, restoration of spinal mobility, muscle strengthening, balance retraining, gait rehabilitation, endurance improvement, and functional independence (Dhouibi et al., 2024; Dunn & Ben Husien, 2018). Previous studies have suggested that individualized rehabilitation programs may accelerate functional recovery, improve walking performance, reduce disability, and facilitate reintegration into community life (Dhouibi et al., 2024). Nevertheless, compared with the extensive literature regarding the medical and surgical management of spinal tuberculosis, evidence focusing specifically on physiotherapy assessment and rehabilitation remains remarkably limited. Most published studies emphasize surgical outcomes or neurological recovery, whereas standardized physiotherapy evaluation protocols have received considerably less attention (Yong et al., 2021). Comprehensive physiotherapy assessment is fundamental for identifying functional impairments, determining rehabilitation priorities, monitoring clinical progress, and designing individualized treatment programs. Evaluation should extend beyond pain intensity to include posture, trunk mobility, muscle performance, balance, gait characteristics, functional mobility, endurance, and activity limitations using reliable and clinically applicable outcome measures (Dhouibi et al., 2024; Yong et al., 2021). Such multidimensional assessment enables clinicians to identify modifiable impairments and establish rehabilitation goals that address the patient's functional needs rather than solely the underlying pathology. Although case reports describing spinal tuberculosis have primarily focused on diagnosis, surgical management, or infectious complications, detailed descriptions of physiotherapy assessment findings remain scarce in the literature (Yong et al.,

2021). Comprehensive reporting of functional impairments may contribute to a better understanding of rehabilitation priorities and facilitate the development of standardized physiotherapy protocols for this patient population. Furthermore, documenting detailed clinical assessments may assist clinicians in selecting appropriate outcome measures and tailoring rehabilitation strategies according to individual patient characteristics. Therefore, the present case report aimed to present a comprehensive physiotherapy assessment of a patient with spinal tuberculosis following surgical treatment and to discuss the clinical implications of the identified impairments for rehabilitation planning. By emphasizing functional assessment beyond pain alone, this report seeks to highlight the importance of physiotherapy within the multidisciplinary management of spinal tuberculosis and to contribute to the growing evidence supporting rehabilitation in this challenging patient population.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Study Design

This study was designed as a single-patient case report describing a comprehensive physiotherapy assessment of a patient diagnosed with spinal tuberculosis (Pott disease). The report was prepared in accordance with the CARE (CAse REport) guidelines. Written informed consent was obtained from the patient for publication of the clinical information and assessment findings. A 41-year-old woman with a two-year history of spinal tuberculosis was referred to the Department of Physiotherapy and Rehabilitation following spinal surgery. The diagnosis had been established by clinical examination, radiological imaging, microbiological investigations, and histopathological evaluation. The patient underwent posterior spinal stabilization surgery involving the thoracolumbar region and continued standard anti-tuberculosis chemotherapy after surgery. At the time of physiotherapy evaluation, the patient reported persistent low back pain, impaired mobility, balance problems, and difficulty performing activities of daily living.

2.2. Physiotherapy Assessment

A comprehensive physiotherapy evaluation was performed by an experienced physiotherapist during the postoperative period. The assessment included pain severity, posture, spinal mobility, neurological examination, muscle strength, balance, gait performance, functional mobility, respiratory function, and activity limitations.

Pain intensity was assessed using the 10-cm Visual Analog Scale (VAS), where 0 represented no pain and 10 represented the worst imaginable pain (Hawker et al., 2011).

Postural evaluation was performed in the standing position by observing the cervical, thoracic, lumbar, pelvic, and lower extremity alignment (Compston, 2010). Active cervical and thoracolumbar range of motion was evaluated visually and compared with expected physiological movement. Lumbar mobility was additionally assessed using the Modified Schober Test (Swinkels et al., 2005). Neurological examination included assessment of superficial sensation, proprioception, dermatomes, deep tendon reflexes, pathological reflexes, and lower extremity myotomal muscle strength. Muscle strength was graded using the Medical Research Council (MRC) scale (Rupp et al., 2011). Respiratory function was evaluated by chest expansion measurements at the axillary, xiphoid, and subcostal levels. Peripheral oxygen saturation (SpO_2) was also recorded. (Moll & Wright, 1972).

Functional balance was assessed using the Berg Balance Scale (BBS) and the Functional Reach Test (FRT) (Berg et al., 1992; Duncan et al., 1990). Functional mobility was evaluated using the Timed Up and Go (TUG) test and the Five Times Sit-to-Stand Test (FTSTS) (Podsiadlo & Richardson, 1991; Whitney et al., 2005). Walking performance was assessed by the 10-Meter Walk Test and the 6-Minute Walk Test (6MWT) (Bohannon, 1997; American Thoracic Society, 2002). Activity limitations were determined through clinical observation of bed mobility, transfers, stair negotiation, and ambulation.

3. RESULTS

The patient was a 41-year-old female with a two-year history of spinal tuberculosis. She had previously undergone thoracolumbar spinal surgery because of vertebral destruction and spinal instability and was receiving anti-tuberculosis medication at the time of evaluation. Pain intensity was severe, with a VAS score of 9/10 both at rest and during activity. The patient described continuous low back pain that markedly limited standing, walking, and functional activities. Postural assessment revealed preserved cervical and thoracic alignment, whereas lumbar lordosis was reduced. Pelvic alignment appeared symmetrical. Mild gluteal muscle atrophy was observed bilaterally. Cervical active range of motion was within functional limits in all directions. Thoracolumbar mobility was markedly restricted, particularly during flexion, extension, and rotation. Lumbar mobility assessed using the Modified Schober Test demonstrated substantially decreased spinal flexibility. Neurological examination showed intact superficial sensation, proprioception, and dermatomal sensation. No pathological reflexes were detected. Muscle strength testing demonstrated weakness predominantly affecting the lower extremities. Hip flexor strength was graded as 4/5 bilaterally, knee extensors as 5/5**,** ankle dorsiflexors as 4/5, plantar flexors as 4/5, and extensor hallucis longus

strength as 3/5. Upper extremity muscle strength was preserved. Deep tendon reflexes were normal at the biceps, triceps, brachioradialis, patellar, and Achilles tendons, whereas abdominal reflexes were absent. Respiratory assessment demonstrated symmetrical thoracic expansion without signs of respiratory distress. Chest circumference measured at the xiphoid level was 99 cm during maximal inspiration and 94 cm during maximal expiration, corresponding to a chest expansion of 5 cm. Peripheral oxygen saturation was 99% while breathing room air. Functional balance was impaired. The patient scored 45/56 on the Berg Balance Scale and achieved 42 cm on the Functional Reach Test, indicating reduced postural stability and an increased risk of falls. Functional mobility assessment demonstrated substantial limitations. The Timed Up and Go test required 11 seconds**,** whereas the Five Times Sit-to-Stand test was completed in 10 seconds. During ambulation, the patient required a walker because of impaired balance and reduced endurance. Walking capacity was reduced, with a distance of 362 meters achieved during the 6-Minute Walk Test.

Clinically, the patient demonstrated difficulty with prolonged standing, stair negotiation, transfers, and community ambulation. Bed mobility and sit-to-stand transfers were performed independently but at a slower speed because of pain and trunk stiffness. Collectively, the physiotherapy assessment identified severe pain, impaired trunk mobility, lower extremity muscle weakness, balance deficits, and reduced functional mobility as the primary factors limiting independent daily activities.

4. DISCUSSION

The present case report provides a comprehensive physiotherapy assessment of a patient with spinal tuberculosis following surgical stabilization. Despite successful surgical management and ongoing anti-tuberculosis treatment, the patient continued to demonstrate severe pain, reduced thoracolumbar mobility, lower extremity muscle weakness, impaired balance, and limited functional mobility. These findings indicate that although surgery effectively addresses spinal instability and neural decompression, substantial functional deficits may persist, highlighting the importance of postoperative rehabilitation.

Persistent pain was one of the most prominent findings in this case, with the patient reporting a VAS score of 10/10. Pain is the most common presenting symptom of spinal tuberculosis and may continue after surgery because of residual soft tissue involvement, postoperative tissue healing, muscular dysfunction, and altered spinal biomechanics (Moon, 2014). Similarly, Garg and Somvanshi (2011) emphasized that pain may remain a major contributor to disability even after adequate infection control, reinforcing the need for rehabilitation strategies aimed at pain

management and functional restoration. Thoracolumbar mobility was markedly restricted in the present case, as demonstrated by clinical examination and the Modified Schober Test. Reduced spinal mobility is frequently observed following spinal tuberculosis due to vertebral destruction, fibrosis, prolonged immobilization, and spinal instrumentation (Rajasekaran et al., 2018). Similar limitations have been reported in previous studies, where postoperative stiffness negatively affected daily activities and overall functional recovery (Yong et al., 2021). Therefore, early physiotherapy focusing on restoring safe spinal mobility and trunk function may contribute to improved long-term outcomes. Although neurological examination revealed preserved superficial sensation and normal deep tendon reflexes, mild weakness was identified in several lower extremity muscle groups. These findings suggest that prolonged inactivity, postoperative deconditioning, and pain-related movement avoidance may contribute to impaired muscle performance even in the absence of significant neurological deficits. Dhouibi et al. (2024) reported that muscle weakness and decreased trunk stability are common functional consequences of spinal tuberculosis and should be specifically addressed during rehabilitation.

The patient also demonstrated impaired balance and reduced walking capacity, as reflected by the Berg Balance Scale, Functional Reach Test, Timed Up and Go test, and the 6-Minute Walk Test. Previous research has shown that individuals with spinal tuberculosis frequently experience deficits in postural control and gait because of pain, muscle weakness, impaired spinal mechanics, and fear of movement (Yong et al., 2021). These impairments may reduce functional independence and increase fall risk. Consequently, balance and gait training should be considered essential components of postoperative physiotherapy programs. Respiratory assessment showed normal peripheral oxygen saturation and preserved chest expansion at the xiphoid level, suggesting that respiratory function was relatively well maintained despite thoracolumbar involvement. Nevertheless, previous studies have suggested that thoracic spinal pathology and postoperative pain may restrict chest wall mobility and reduce pulmonary function, particularly in patients with extensive thoracic involvement (Dunn & Ben Husien, 2018). Therefore, respiratory assessment should remain an integral part of physiotherapy evaluation in this patient population.

A major strength of this report is the inclusion of a multidimensional physiotherapy assessment extending beyond pain evaluation. By integrating musculoskeletal, neurological, respiratory, balance, gait, and functional mobility assessments, this case provides a broader understanding

of the patient's rehabilitation needs. Such comprehensive evaluation may facilitate individualized treatment planning and improve clinical decision-making.

In conclusion, this case demonstrates that patients with spinal tuberculosis may continue to experience significant functional impairments despite successful surgical treatment and ongoing medical therapy. Comprehensive physiotherapy assessment is essential for identifying these deficits and establishing targeted rehabilitation goals aimed at improving mobility, balance, muscle strength, and functional independence.

5. CONCLUSION

This case highlights that patients with spinal tuberculosis may continue to experience substantial functional impairments despite successful surgical stabilization and ongoing anti-tuberculosis therapy. Persistent pain, restricted spinal mobility, lower extremity muscle weakness, impaired balance, and reduced walking capacity may considerably limit functional independence during the postoperative period. A comprehensive physiotherapy assessment is therefore essential to identify these multidimensional impairments and to establish individualized rehabilitation goals. The findings of this case emphasize that rehabilitation should extend beyond pain management and include systematic evaluation of musculoskeletal, neurological, respiratory, and functional performance. Early, patient-centered physiotherapy may facilitate functional recovery, improve mobility and balance, and enhance participation in daily activities. Further prospective studies with larger patient cohorts are needed to establish standardized physiotherapy assessment protocols and evidence-based rehabilitation strategies for individuals with spinal tuberculosis.

6. REFERENCES

American Thoracic Society. (2002). *ATS statement: Guidelines for the six-minute walk test*. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 166(1), 111–117. https://doi.org/10.1164/ajrccm.166.1.at1102

Benli, I. T., Kaya, A., & Acaroğlu, E. (2007). Anterior instrumentation in tuberculous spondylitis: Is it effective and safe? Clinical Orthopaedics and Related Research, 460, *108*–116. https://doi.org/10.1097/BLO.0b013e318065b70d

Berg, K. O., Wood-Dauphinee, S. L., Williams, J. I., & Maki, B. (1992). Measuring balance in the elderly: Validation of an instrument. Canadian Journal of Public Health, 83(Suppl. 2), S7–S11.

Bohannon, R. W. (1997). Comfortable and maximum walking speed of adults aged 20–79 years: Reference values and determinants. Age and Ageing, 26(1), 15–19.

Compston, A. (2010). Aids to the investigation of peripheral nerve injuries: Medical Research Council: Nerve Injuries Research Committee memorandum no. 45. Brain, 133*(*10), 2838–2844. https://doi.org/10.1093/brain/awq270

Dhouibi, J., Kalai, A., Chaabeni, A., Aissa, A., Ben Salah Frih, Z., & Jellad, A. (2024). Rehabilitation management of patients with spinal tuberculosis (Review). Medical International, 4(3), Article 28. https://doi.org/10.3892/mi.2024.152

Duncan, P. W., Weiner, D. K., Chandler, J., & Studenski, S. (1990). Functional reach: A new clinical measure of balance. Journal of Gerontology, *45*(6), M192–M197. https://doi.org/10.1093/geronj/45.6.M192

Dunn, R. N., & Ben Husien, M. (2018). Spinal tuberculosis: Review of current management. *The Bone & Joint Journal*, *100-B*(4), 425–431. https://doi.org/10.1302/0301-620X.100B4.BJJ-2017-1040.R1

Garg, R. K., & Somvanshi, D. S. (2011). Spinal tuberculosis: A review. The Journal of Spinal Cord Medicine, 34(5), 440–454.

Golden, M. P., & Vikram, H. R. (2005). Extrapulmonary tuberculosis: An overview. *American Family Physician*, *72*(9), 1761–1768.

Hawker, G. A., Mian, S., Kendzerska, T., & French, M. (2011). Measures of adult pain: Visual Analog Scale for Pain (VAS Pain), Numeric Rating Scale for Pain (NRS Pain), McGill Pain Questionnaire (MPQ), Short-Form McGill Pain Questionnaire (SF-MPQ), Chronic Pain Grade Scale (CPGS), Short Form-36 Bodily Pain Scale (SF-36 BPS), and Measure of Intermittent and Constant Osteoarthritis Pain (ICOAP). Arthritis Care & Research, 63(Suppl. 11), S240–S252. https://doi.org/10.1002/acr.20543

Jain, A. K., & Kumar, J. (2013). Tuberculosis of spine: Neurological deficit. European Spine Journal, 22*(*Suppl. 4), 624–633.

Moll, J. M. H., & Wright, V. (1972). An objective clinical study of chest expansion. Annals of the Rheumatic Diseases, 31(1), 1–8.

Moon, M. S. (2014). Tuberculosis of the spine: Current views in diagnosis and management. Asian Spine Journal, *8*(1), 97–111.

Podsiadlo, D., & Richardson, S. (1991). The Timed "Up &Go": A test of basic functional mobility for frail elderly persons. Journal of the American Geriatrics Society, 39*(*2), 142–148. https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1991.tb01616.x

Rajasekaran, S., Soundararajan, D. C. R., Shetty, A. P., & Kanna, R. M. (2018). Spinal tuberculosis: Current concepts. Global Spine Journal, 8*(*4 Suppl.), 96S–108S.

Rupp, R., Biering-Sørensen, F., Burns, S. P., Graves, D. E., Guest, J., Jones, L., Read, M. S., Rodriguez, G. M., Schuld, C., Tansey, K. E., Walden, K., & Kirshblum, S. C. (2021). International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury: Revised 2019. Topics in Spinal Cord Injury Rehabilitation, 27(2), 1–22. https://doi.org/10.46292/sci2702-1

Swinkels, R. A. H. M., Dolan, P., Bath, F., et al. (2005). Clinical tests of lumbar spine movement: Reliability and measurement error. European Spine Journal, 14(3), 284–291. https://doi.org/10.1007/s00586-004-0785-x

Jain, A. K. (2016). Tuberculosis of the skeletal system (Bones, joints, spine and bursal sheaths) (5th ed.). Jaypee Brothers Medical Publishers.

Whitney, S. L., Wrisley, D. M., Marchetti, G. F., Gee, M. A., Redfern, M. S., & Furman, J. M. (2005). Clinical measurement of sit-to-stand performance in people with balance disorders: Validity of data for the Five Times Sit-to-Stand Test. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 86(8), 1634–1640. https://doi.org/10.1016/j.apmr.2005.01.030

World Health Organization. (2024). Global tuberculosis report 2024. World Health Organization.

KNOWLEDGE OF SPORTS TRAUMA AMONG SPORTS STUDENTS

Prof. Asoc. Genta NALLBANI
Sport University of Tirana, Faculty of Rehabilitation Sciences, Department of Kinesiology, Tirana, Albania
ORCID ID: 0009-0008-3257-7679
Arzen VOCI
Albanian National Team Physiotherapist, Tirana, Albania

ABSTRACT

Sports injuries are an inevitable part of physical activity and competitive sports, making early recognition and appropriate initial management essential for preventing complications and promoting safe recovery. Sports science students, who will become future coaches, physical education teachers, and sports professionals, are expected to acquire the knowledge and practical skills necessary to respond effectively to sports-related injuries. Assessing their level of preparedness is therefore important for improving educational programs.

Objective: This study aimed to evaluate the knowledge of sports trauma and its initial management among third-year undergraduate students at the University of Sports of Tirana. A cross-sectional descriptive study was conducted among 170 third-year students enrolled at the University of Sports of Tirana. Data were collected using a structured anonymous questionnaire designed to assess knowledge of common sports injuries, first aid principles, emergency response, injury prevention, and basic return-to-play recommendations. The collected data were analyzed using descriptive statistical methods. The findings revealed that most participants demonstrated an insufficient level of knowledge regarding the management of sports trauma. While many students were able to recognize common injuries such as sprains, muscle strains, fractures, and joint dislocations, they experienced difficulties in selecting appropriate first-aid measures and applying evidence-based management strategies in practical situations. Limited understanding was also observed regarding concussion management, immobilization techniques, and return-to-play decisions. Overall, the majority of the 170 students achieved knowledge scores below the expected level for future sports professionals. The results indicate that third-year sports science students at the University of Sports of Tirana require additional education and practical training in sports trauma management. Integrating more hands-on learning experiences, simulation-based exercises, and certified first-aid courses into the curriculum could significantly improve students' competence and confidence in managing sports injuries. Strengthening these competencies is essential to ensure safer sports

participation and to prepare future professionals for their roles in injury prevention and emergency care.

Keywords: sports trauma; sports injuries; sports science students; first aid; injury management; sports medicine; undergraduate education.

Introduction

Sports participation has increased substantially worldwide because of its well-established physical, psychological, and social benefits. However, participation in sports also exposes athletes to a wide range of acute and overuse injuries that may affect performance, quality of life, and long-term health. Sports trauma includes injuries involving bones, muscles, ligaments, tendons, joints, and the nervous system, with ankle sprains, muscle strains, knee ligament injuries, fractures, and concussions being among the most frequently reported conditions (1,2). Appropriate recognition and immediate management of sports injuries are fundamental components of sports medicine. Early intervention minimizes complications, shortens recovery time, and reduces the risk of permanent disability or recurrent injury (3). Consequently, individuals working in sports environments, particularly coaches, physical education teachers, and sports science graduates, should possess adequate knowledge of first aid and emergency management.

Sports science students represent the future professionals responsible for athlete health and safety during training and competition. Their educational preparation should therefore include theoretical knowledge together with practical competencies in injury recognition, emergency response, and evidence-based return-to-play decision making. Nevertheless, several international studies have demonstrated that many sports students and coaches have limited knowledge regarding first aid, concussion recognition, and management of musculoskeletal injuries (4–6).

Despite the growing importance of sports medicine education, information regarding the preparedness of sports science students in Albania remains scarce. Evaluating students' knowledge may help identify educational gaps and support curriculum development.

Therefore, the aim of this study was to assess the level of knowledge regarding sports trauma and its initial management among third-year undergraduate students at the University of Sports of Tirana.

Materials and Methods

A descriptive cross-sectional study was conducted between March and May 2026 at the University of Sports of Tirana (UST), Albania. The study included **170 third-year**

undergraduate students enrolled in different sports science programs. Students participated voluntarily after providing informed consent. Participation was anonymous, and confidentiality of responses was maintained throughout the study.

Data were collected using a structured questionnaire developed according to current sports medicine and first-aid recommendations published by the American College of Sports Medicine (ACSM), the International Olympic Committee (IOC), and the Consensus Statement on Concussion in Sport (3,7,8). The questionnaire evaluated: recognition of common sports injuries; mechanisms of injury; first-aid principles; emergency management; concussion recognition; immobilization techniques; return-to-play recommendations; injury prevention. Each correct answer received one point.

Knowledge scores were categorized as:

- **Good:** ≥80%
- **Moderate:** 60–79%
- **Poor:** <60%

Data was analyzed using IBM SPSS Statistics version 27. Descriptive statistics were expressed as frequencies, percentages, means, and standard deviations.

Results

A total of 170 students completed the questionnaire. The mean age of participants was 21.8 ± 1.4 years, with both male and female students represented. Overall, students demonstrated limited knowledge regarding sports trauma management.

Most participants correctly recognized common injuries such as ankle sprains, muscle strains, fractures, and shoulder dislocations. However, significant deficiencies were observed in practical management.

Less than half of the participants correctly identified the appropriate management of acute ligament injuries, concussion warning signs, cervical spine stabilization, indications for emergency referral, and return-to-play criteria after injury.

The overall knowledge level was as follows:

Knowledge level	**n**	**%**
Good	32	18.8
Moderate	48	28.2
Poor	90	52.9

More than half of all participants demonstrated poor knowledge regarding sports trauma management. Students generally performed better on theoretical questions than on practical clinical scenarios.

Discussion

The present study demonstrated that third-year sports science students at the University of Sports of Tirana possess insufficient knowledge regarding the management of sports-related injuries.

Although students were familiar with the names and general characteristics of common musculoskeletal injuries, many lacked the practical knowledge required for immediate injury management. Similar findings have been reported internationally among physical education students, sports coaches, and athletic trainers, suggesting that theoretical instruction alone may be insufficient to prepare future professionals for real-life emergencies (4,5).

One of the most concerning findings was the limited knowledge regarding concussion recognition and return-to-play decisions. Concussion has become a major public health issue in sports because inappropriate management may lead to prolonged neurological impairment and, in rare cases, catastrophic complications such as second-impact syndrome (7,9,10).

Likewise, deficiencies in first-aid management, immobilization techniques, and emergency response indicate the need for greater emphasis on practical training. Modern sports medicine education increasingly recommends simulation-based learning, clinical placements, and certified first-aid courses as effective approaches for improving students' competence and confidence (11,12).

Considering that sports science graduates frequently serve as first responders during athletic events, improving their educational preparation should represent an important priority for higher education institutions.

The study has several limitations. It was conducted in a single institution and relied on self-reported knowledge rather than direct observation of practical skills. Future multicenter studies involving objective competency assessments are recommended.

Conclusion

This study found that the majority of the 170 third-year students at the University of Sports of Tirana demonstrated inadequate knowledge regarding sports trauma management. Although participants were generally able to recognize common sports injuries, their understanding of evidence-based first aid, concussion management, emergency response, and return-to-play protocols was insufficient.

These findings highlight the need to strengthen undergraduate sports medicine education by incorporating practical first-aid training, simulation-based learning, and standardized emergency care certification into the curriculum. Such educational improvements are expected

to enhance the competence of future sports professionals and contribute to safer participation in sports.

References

1. Bahr R, Clarsen B, Derman W, et al. *The IOC Manual of Sports Injuries*. Wiley-Blackwell; 2020.
2. Brukner P, Khan K. *Brukner & Khan's Clinical Sports Medicine*. 5th ed. McGraw-Hill; 2017.
3. American College of Sports Medicine. **ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription**. 11th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2021.
4. Abernethy L, MacAuley D. First aid and emergency management knowledge among sports coaches. *Br J Sports Med*. 2003;37(6):523–525.
5. White PE, Otago L, Saunders N, et al. Ensuring implementation success: How should coach injury prevention education be improved? *Br J Sports Med*. 2014;48:802–803.
6. Register-Mihalik JK, Guskiewicz KM, McLeod TCV, et al. Knowledge, attitude, and concussion-reporting behaviors among athletes and coaches. *J Athl Train*. 2013;48(5):645–653.
7. Patricios J, Ardern C, Hislop M, et al. Consensus statement on concussion in sport: the 6th International Conference on Concussion in Sport—Amsterdam, October 2022. *Br J Sports Med*. 2023;57:695–711.
8. International Olympic Committee. IOC Consensus Statement on Methods for Recording and Reporting Epidemiological Data on Injury and Illness in Sport. *Br J Sports Med*. 2020;54:372–389.
9. McCrory P, Meeuwisse W, Dvořák J, et al. Consensus statement on concussion in sport. *Br J Sports Med*. 2017;51:838–847.
10. Qendro A, Krasniqi M, Agolli L. Maxillofacial Trauma in Athletes: A Comparative Study of Basketball, Football, and Boxing. Library of Progress-Library Science, Information Technology & Computer. 2024 Jul 20;44(4).
11. Casa DJ, Almquist J, Anderson SA, et al. The Inter-Association Task Force for Preventing Sudden Death in Secondary School Athletics Programs. *J Athl Train*. 2013;48(4):546–553.
12. Krasniqi M, Kalaja R. The Impact of Environmental Factors on Eye Trauma in Children: A Retrospective Study in Albania. Interdisciplinary Journal of Research and Development. 2024 Dec 3;11(3):140-.

LİKENOİD İLAÇ ERÜPSİYONU: KLİNİK VE HİSTOPATOLOJİK BULGULARLA BİR OLGU SUNUMU

Havva Erdem, MD, Professor of Pathology[1]; Ceren Karadeniz, MD[2]
[1]Department of Pathology, Ordu University Faculty of Medicine, Ordu, Türkiye
ORCID NO: 0000-0002-3074-0240
E mail: drhavvaerdem@gmail.com
[2]Department of Pathology, Ordu University Faculty of Medicine, Ordu, Türkiye
ORCID ID: 0009-0004-4087-7680
E mail: cerenkaradeniz5@gmail.com

ÖZET

Likenoid ilaç erüpsiyonu (LİE), çeşitli ilaçlara bağlı gelişen ve klinik ile histopatolojik olarak liken planusu taklit edebilen, gecikmiş tip aşırı duyarlılık reaksiyonu paternidir. Klinik görünümünün değişken olması nedeniyle doğru tanının konulmasında ayrıntılı ilaç öyküsü ve histopatolojik değerlendirme büyük önem taşımaktadır.

Elli dört yaşında kadın hasta, yaklaşık dört aydır devam eden göğüs altı ve vulvar bölgede morumsu eritemli plaklar nedeniyle dermatoloji polikliniğine başvurdu. Klinik ön tanılar arasında liken planusu ve likenoid ilaç erüpsiyonu yer almaktaydı. Histopatolojik inceleme likenoid ilaç erüpsiyonu ile uyumlu bulgular ortaya koydu. Klinik ve histopatolojik bulgular birlikte değerlendirilerek olgu likenoid ilaç erüpsiyonu olarak tanımlandı.

Sonuç olarak, kronik likenoid lezyonların değerlendirilmesinde likenoid ilaç erüpsiyonu ayırıcı tanıda akılda tutulmalıdır. Dikkatli klinikopatolojik değerlendirme ve ayrıntılı ilaç öyküsü, doğru tanının konulmasında temel rol oynamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Aşırı Duyarlılık Reaksiyonu, İlaç Öyküsü, Likenoid Lezyon.

CLİNİCOPATHOLOGİCAL FEATURES OF LİCHENOİD DRUG ERUPTİON: A CASE REPORT

ABSTRACT

Lichenoid drug eruption (LDE) is a delayed-type hypersensitivity reaction pattern associated with various medications that can clinically and histopathologically mimic lichen planus. Due to its variable clinical presentation, a detailed drug history and histopathological evaluation are crucial for establishing an accurate diagnosis.

A 54-year-old female patient presented to the dermatology outpatient clinic with purplish erythematous plaques in the inframammary and vulvar regions that had persisted for approximately four months. Clinical differential diagnoses included lichen planus and lichenoid drug eruption. Histopathological examination revealed findings consistent with lichenoid drug eruption. Based on the combined assessment of clinical and histopathological findings, the case was diagnosed as lichenoid drug eruption.

In conclusion, lichenoid drug eruption should be considered in the differential diagnosis of chronic lichenoid lesions. Careful clinicopathological evaluation and a detailed drug history play a fundamental role in establishing the correct diagnosis.

Keywords: Hypersensitivity Reaction, Drug History, Lichenoid Lesion.

GİRİŞ

Likenoid ilaç erüpsiyonu (LİE), çeşitli ilaçlara bağlı gelişen ve klinik ile histopatolojik olarak liken planus ile benzer özellikler gösterebilen, gecikmiş tip aşırı duyarlılık reaksiyonu paternidir. Klinik görünümünün değişken olması ve ilaç kullanımından haftalar ya da aylar sonra ortaya çıkabilmesi nedeniyle tanısı güç olabilmektedir. Bu nedenle doğru tanıya ulaşmada ayrıntılı ilaç öyküsü, histopatolojik değerlendirme ve klinikopatolojik korelasyon temel rol oynamaktadır.

Bu olgu, kronik likenoid dermatozların ayırıcı tanısında ayrıntılı ilaç öyküsü ile klinikopatolojik korelasyonun önemini vurgulamak amacıyla sunulmuştur.

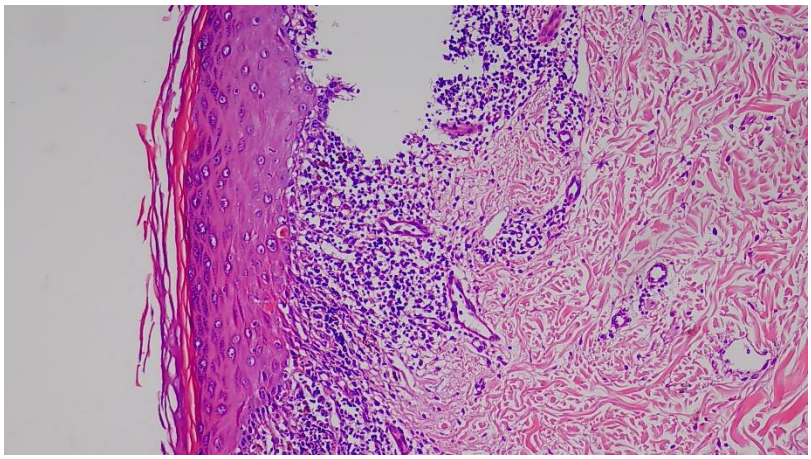
Olgu Sunumu

Elli dört yaşında, hipertansiyon öyküsü bulunan kadın hasta, yaklaşık dört aydır göğüs altı ve vulvar bölgede mevcut olan kaşıntılı döküntüler nedeniyle dermatoloji polikliniğine başvurdu. Hastanın hipertansiyon nedeniyle uzun süredir ACE inhibitörü tedavisi almakta olduğu öğrenildi. Dermatolojik muayenede bilateral inframamar bölgede yaklaşık 1–2 cm**,** vulvar bölgede ise yaklaşık 2–3 cm çapında morumsu eritemli plaklar izlendi. Oral mukoza ve tırnak muayenesinde patolojik bulgu saptanmadı.

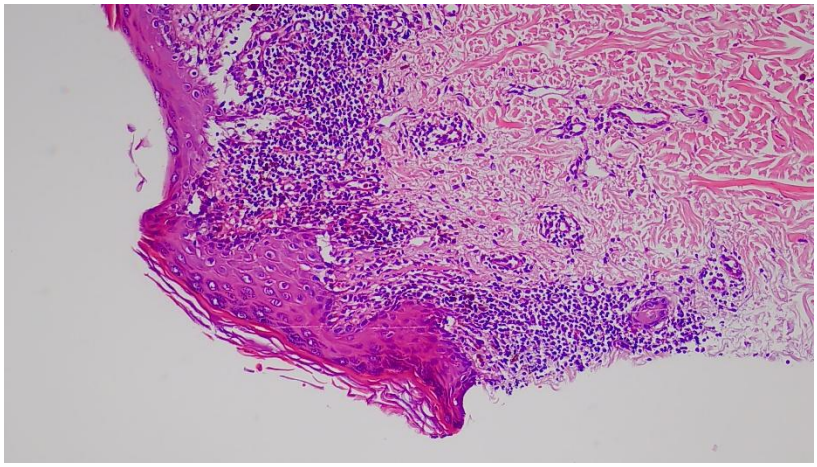
Klinik ön tanılar arasında liken planusu ve likenoid ilaç erüpsiyonu yer aldı. Histopatolojik değerlendirme amacıyla vulvar bölgeden punch biyopsi alındı.

Histopatolojik incelemede epidermiste hafif düzensiz akantoz, bazal tabakada belirgin vakuoler dejenerasyon ve dermoepidermal bileşkede yoğun bant tarzında (likenoid) lenfositik inflamatuvar infiltrasyon izlendi. İnflamatuvar infiltrasyon yer yer yüzeyel perivasküler dermise uzanım göstermekteydi. Epidermiste fokal diskeratotik (apoptotik/Civatte) keratinositler dikkati çekti. Klinik ve histopatolojik bulgular birlikte değerlendirilerek olgu likenoid ilaç erüpsiyonu olarak değerlendirildi.

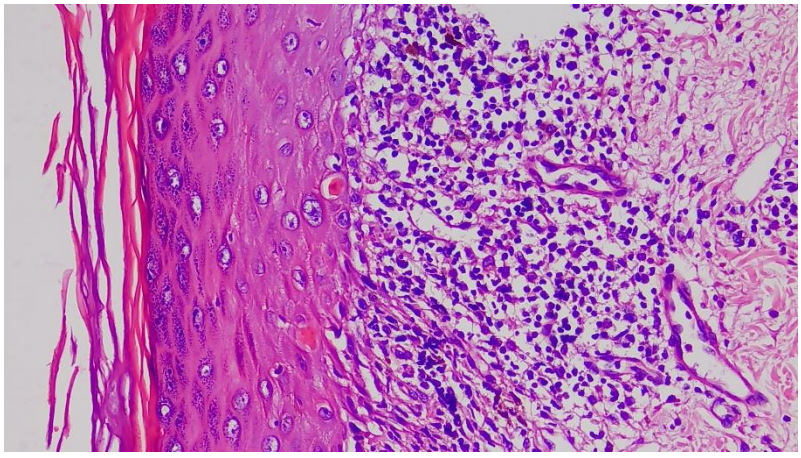
Hastanın kullandığı ACE inhibitörünün etiyolojik ajan olabileceği düşünülerek antihipertansif tedavisi yeniden düzenlendi ve kandesartan/hidroklorotiyazid (ARB/HCT) tedavisine geçildi. Klinik bulguların ilaç ilişkisi açısından takibi önerildi (Şekil 1–4).



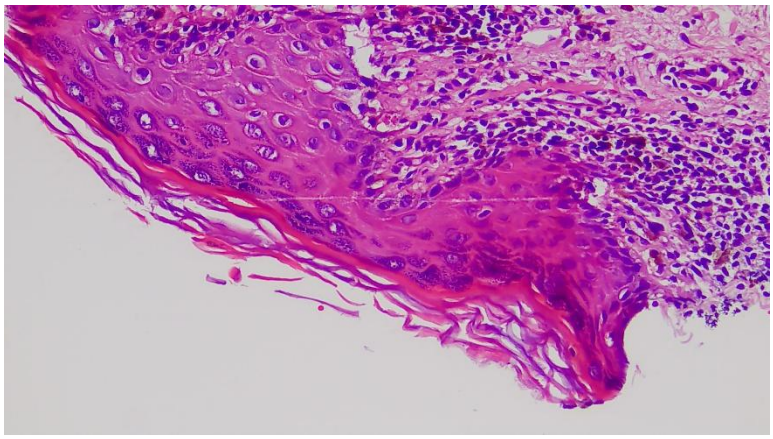
Şekil 1. Epidermiste bazal vakuoler dejenerasyon ve dermoepidermal bileşkede yoğun bant tarzında lenfositik infiltrasyon (H&E, ×200).



Şekil 2. Belirgin interface (likenoid) dermatit paterni (H&E, ×200).



Şekil 3. Epidermise lenfosit ekzositozu ile birlikte bazal vakuoler dejenerasyon (H&E, ×400).



Şekil 4. Fokal diskeratotik (apoptotik/Civatte) keratinositler (H&E, ×400).

Tartışma

LİE, klinik ve histopatolojik olarak liken planusu taklit edebilen bir ilaç reaksiyonu paternidir. Literatürde en sık antihipertansif ilaçlar, nonsteroid antiinflamatuvar ilaçlar, antimalaryaller ve antikonvülzanlarla ilişkili olduğu bildirilmektedir. Özellikle ACE inhibitörleri, likenoid ilaç erüpsiyonuna neden olabilen iyi tanımlanmış ajanlar arasında yer almakta olup, ilaca maruziyet ile lezyonların ortaya çıkışı arasında haftalar ya da aylar sürebilen bir latent dönem bulunabilmektedir. Sunulan olguda uzun süreli ACE inhibitörü kullanım öyküsü ile karakteristik histopatolojik bulgular birlikte değerlendirildiğinde likenoid ilaç erüpsiyonu tanısı güçlü şekilde desteklenmiştir.

Likenoid ilaç erüpsiyonunun ayırıcı tanısında en önemli hastalık liken planus olmak üzere kronik egzamatöz dermatozlar, psoriasiform dermatozlar ve diğer likenoid reaksiyon paternleri yer almaktadır. Klinik görünümün benzerliği nedeniyle kesin tanıda histopatolojik değerlendirme büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte bazal vakuoler dejenerasyon, bant tarzında lenfositik infiltrasyon ve apoptotik keratinositler hem liken planusunda hem de likenoid ilaç erüpsiyonunda görülebilmektedir. Bu nedenle histopatolojik bulguların ayrıntılı ilaç öyküsü ve klinik özelliklerle birlikte değerlendirilmesi doğru tanıya ulaşmada temel öneme sahiptir. Bu doğrultuda olası etiyolojik ajan olarak değerlendirilen ACE inhibitörü kesilmiş ve antihipertansif tedavi yeniden düzenlenmiştir.

Literatürde sorumlu ilacın kesilmesinin likenoid ilaç erüpsiyonunda temel tedavi yaklaşımını oluşturduğu, lezyonların çoğu olguda haftalar ile aylar içerisinde gerilediği bildirilmektedir. Bu olgu, kronik likenoid lezyonların değerlendirilmesinde ayrıntılı ilaç öyküsünün alınmasının ve klinikopatolojik korelasyonun sağlanmasının doğru tanı ve uygun hasta yönetimi açısından temel öneme sahip olduğunu göstermektedir.

Sonuç

Likenoid ilaç erüpsiyonu, klinik ve histopatolojik olarak liken planusu taklit edebilen bir ilaç reaksiyonu paternidir. Bu nedenle, özellikle kronik likenoid lezyonları bulunan hastalarda ayrıntılı ilaç öyküsü alınmalı ve ayırıcı tanıda likenoid ilaç erüpsiyonu göz önünde bulundurulmalıdır. Sunulan olgu, likenoid ilaç erüpsiyonunun kronik likenoid dermatozların ayırıcı tanısında mutlaka göz önünde bulundurulması gerektiğini göstermektedir.. Ayrıntılı ilaç öyküsü ile histopatolojik bulguların klinik verilerle birlikte değerlendirilmesi, doğru tanıya ulaşılması ve uygun tedavinin planlanmasında temel öneme sahiptir.

Kaynaklar

1. Bolognia, J. L., Schaffer, J. V., & Cerroni, L. (2024). *Dermatology* (5th ed.). Elsevier.
2. Breathnach, S. M., Black, M. M., & Jones, E. W. (1981). Lichenoid drug eruptions: A clinical and pathological review. *Journal of the American Academy of Dermatology, 4*(4), 451–460.
3. Patterson, J. W. (2021). *Weedon's Skin Pathology* (5th ed.). Elsevier.
4. Sontheimer, R. D. (2009). Lichenoid tissue reaction/interface dermatitis: Clinical and histological perspectives. *Journal of Cutaneous Pathology, 36*(Suppl. 1), 1–14.
5. Weyers, W., & Metze, D. (2024). Lichenoid drug eruption. In *Cutaneous Drug Eruptions: Clinicopathological Correlations* (pp. 179–201). Springer.
6. World Health Organization Classification of Tumours Editorial Board. (2018). *WHO Classification of Skin Tumours* (4th ed., Vol. 11). International Agency for Research on Cancer.
7. Yanık, M. E., Erdoğan, H. K., & Gündüz, Ö. (2020). Lichenoid drug eruption: Clinical and histopathological evaluation of drug-induced lichenoid reactions. *Turkish Journal of Dermatology, 14*(3), 123–129.
8. Zelger, B., & Weyers, W. (2022). Interface dermatitis and lichenoid tissue reactions. In D. Elder, R. Elenitsas, & B. Rosenbach (Eds.), *Lever's Histopathology of the Skin* (12th ed.). Wolters Kluwer.

CLİNİCOPATHOLOGİCAL FEATURES OF DRUG-ASSOCİATED ERYTHEMA MULTİFORME: A CASE REPORT

Havva Erdem, MD, Professor of Pathology[1]; Hatice İrem Ezber, MD[2];
[1]Department of Pathology, Ordu University Faculty of Medicine, Ordu, Türkiye
ORCID NO: 0000-0002-3074-0240
E mail: drhavvaerdem@gmail.com
[2]Department of Pathology, Ordu University Faculty of Medicine, Ordu, Türkiye
ORCID iD: 0009-0001-1197-6653
E mail: haticeirem.altunok@saglik.gov.tr

Abstract

Erythema multiforme (EM) is an acute immune-mediated inflammatory mucocutaneous reaction pattern triggered by a variety of antigenic stimuli, most commonly infections and medications. Owing to its variable clinical presentation, it may mimic drug eruptions, viral exanthems, and other inflammatory dermatoses, making histopathological evaluation essential for establishing an accurate diagnosis.

A 74-year-old woman presented to the dermatology outpatient clinic with marked bilateral eyelid edema, diffuse facial erythema, and multiple erythematous papules on the dorsal aspects of both hands. It was learned that she had received amikacin therapy for a urinary tract infection approximately one month before presentation. The initial clinical differential diagnoses included drug eruption and viral exanthem.

Histopathological examination demonstrated features consistent with erythema multiforme. Based on the correlation of the clinical and histopathological findings, the lesion was diagnosed as erythema multiforme.

In conclusion, erythema multiforme should be considered in the differential diagnosis of cutaneous eruptions developing after drug exposure. Careful histopathological evaluation remains the cornerstone of establishing an accurate diagnosis.

Key words: Erythema multiforme, immune-mediated response, drug eruption, viral exanthem.

KLİNİK VE HİSTOPATOLOJİK BULGULARLA ERİTEMA MULTİFORME: İLAÇ İLİŞKİLİ BİR OLGU SUNUMU

Özet

Eritema multiforme (EM), enfeksiyonlar ve ilaçlar başta olmak üzere çeşitli antijenik uyaranlarla tetiklenen, immün aracılı akut inflamatuvar bir mukokutanöz reaksiyon paternidir. Klinik görünümü nedeniyle ilaç erüpsiyonları, viral ekzantemler ve diğer inflamatuvar dermatozlarla karışabilmekte olup, doğru tanının konulmasında histopatolojik değerlendirme temel öneme sahiptir.

Yetmiş dört yaşında kadın hasta, her iki göz kapağında belirgin ödem, yüzde yaygın eritem ve el sırtlarında çok sayıda eritemli papül nedeniyle dermatoloji polikliniğine başvurdu. Hastanın yaklaşık bir ay önce üriner sistem enfeksiyonu nedeniyle amikasin tedavisi aldığı öğrenildi. Klinik ön tanılar arasında ilaç erüpsiyonu ve viral erüpsiyon yer almaktaydı.

Histopatolojik inceleme eritema multiforme ile uyumlu bulgular ortaya koydu. Klinik ve histopatolojik bulgular birlikte değerlendirilerek olgu eritema multiforme olarak tanımlandı.

Sonuç olarak, ilaç kullanımını takiben gelişen kutanöz döküntülerde eritema multiforme ayırıcı tanıda akılda tutulmalıdır. Dikkatli histopatolojik değerlendirme, doğru tanının konulmasında temel rol oynamaktadır.

Anahtar kelimeler: Eritema multiforme, immün aracılı yanıt, ilaç döküntüsü, viral ekzantem.

Giriş

Eritema multiforme (EM), enfeksiyonlar ve ilaçlar başta olmak üzere çeşitli antijenik uyaranlarla tetiklenen, immün aracılı akut mukokutanöz bir reaksiyon paternidir. Klinik olarak ani başlangıçlı hedef lezyonlar, eritemli papüller ve plaklarla karakterize olup, ilaç erüpsiyonları, viral ekzantemler ve diğer interface dermatitlerle karışabilmektedir. Bu nedenle doğru tanının konulmasında klinikopatolojik korelasyon büyük önem taşımaktadır.

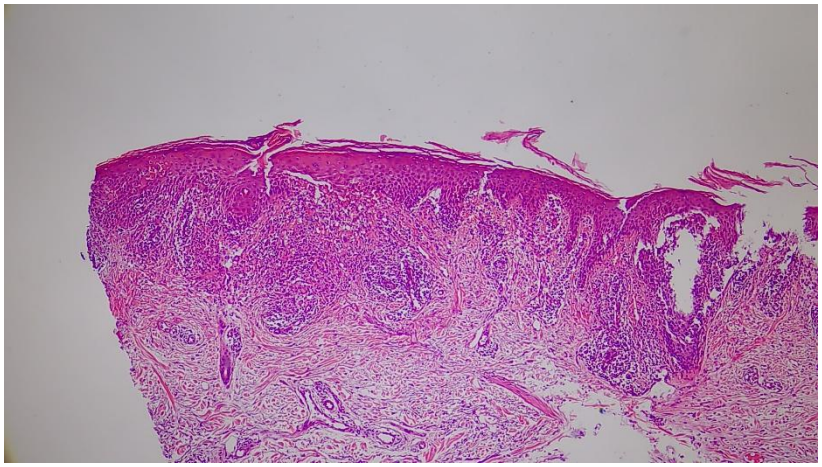
Bu olgu, ilaç ilişkili kutanöz reaksiyonların ayırıcı tanısında eritema multiformenin göz önünde bulundurulması gerektiğini vurgulamak amacıyla sunulmuştur.

Olgu Sunumu

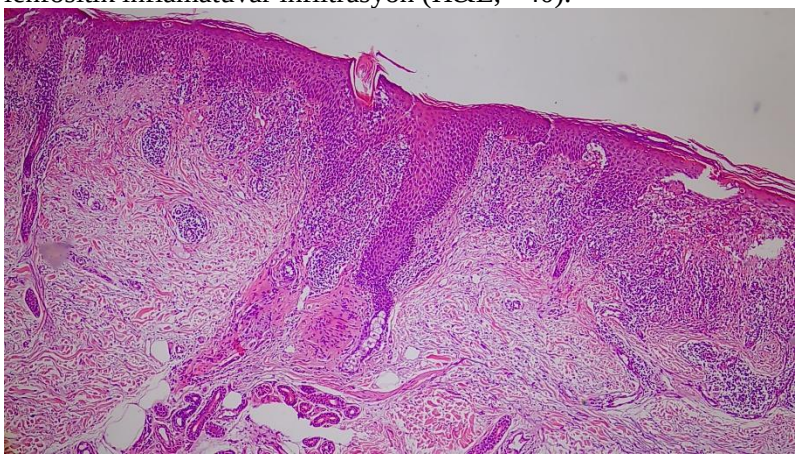
Yetmiş dört yaşında, romatoid artrit öyküsü bulunan kadın hasta, yaklaşık bir aydır mevcut olan yaygın deri döküntüleri nedeniyle dermatoloji polikliniğine başvurdu. Hastanın yaklaşık bir ay önce üriner sistem enfeksiyonu nedeniyle amikasin, fosfomisin (Monurol®) ve metenamin hippurat (Hipurin®) tedavisi aldığı, ilaç kullanımını takiben deri lezyonlarının geliştiği öğrenildi. Son üç gündür özellikle alt ekstremitelerde belirginleşen döküntüler ve hafif kaşıntı yakınması mevcuttu. Ateş, üst solunum yolu enfeksiyonu veya başka bir enfeksiyon bulgusu saptanmadı. Son bir ay içerisinde söz konusu tedavi dışında yeni ilaç kullanım öyküsü bulunmamaktaydı.

Dermatolojik muayenede her iki göz kapağında belirgin ödem, yüzde yaygın eritem ve ödem, el sırtlarında çok sayıda eritemli papül ile bilateral alt ekstremite distal kesimleri ve ayak dorsumlarında palpabl purpurik lezyonlar izlendi. Klinik ön tanılar arasında ilaç erüpsiyonu, viral erüpsiyon ve vaskülit yer aldı. Klinikopatolojik korelasyon amacıyla sol el dorsumundan 4 mm punch biyopsi alındı.

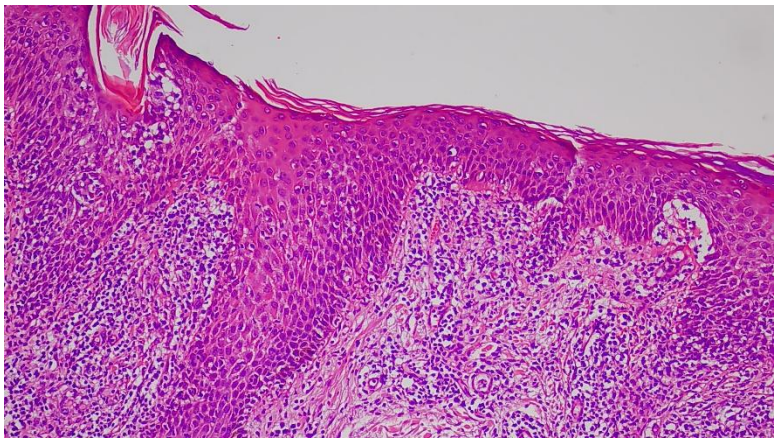
Histopatolojik incelemede epidermiste fokal hiperkeratoz, bazal tabakada belirgin vakuoler dejenerasyon ve epidermisin farklı seviyelerinde çok sayıda diskeratotik (apoptotik) keratinosit izlendi. Dermoepidermal bileşkede belirgin interface dermatit paterni mevcuttu. Papiller dermiste yoğun yüzeyel perivasküler ve likenoid özellik gösteren lenfositik inflamatuvar infiltrasyon ile papiller dermal ödem dikkati çekti. Fibrinoid nekroz veya lökositoklastik vaskülit bulgusu izlenmedi. Klinik ve histopatolojik bulgular birlikte değerlendirilerek olgu eritema multiforme olarak değerlendirildi (Şekil 1-5).



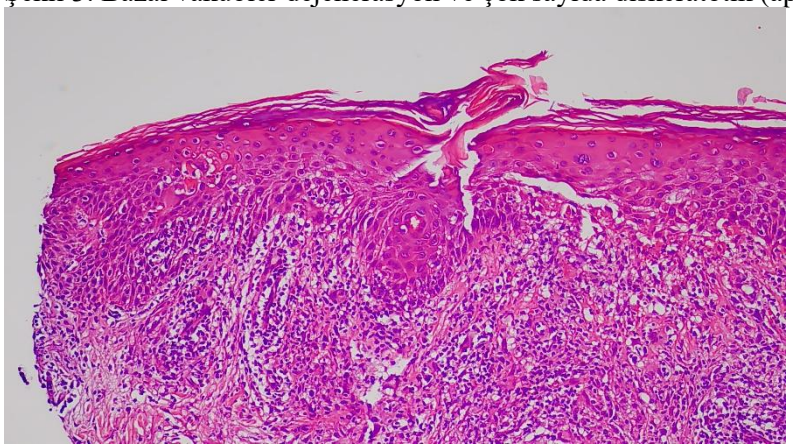
Şekil 1. Düşük büyütmede interface dermatit paterni ve papiller dermiste yüzeyel perivasküler lenfositik inflamatuvar infiltrasyon (H&E, ×40).



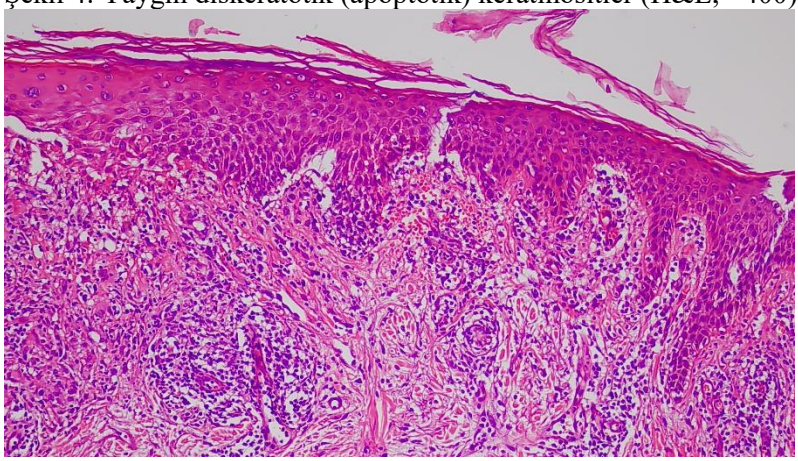
Şekil 2. Bazal vakuoler dejenerasyon ve belirgin interface dermatit paterni (H&E, ×100).



Şekil 3. Bazal vakuoler dejenerasyon ve çok sayıda diskeratotik (apoptotik) keratinosit (H&E, ×200).



Şekil 4. Yaygın diskeratotik (apoptotik) keratinositler (H&E, ×400).



Şekil 5. Papiller dermiste yoğun yüzeyel perivasküler ve likenoid lenfositik inflamatuvar infiltrasyon (H&E, ×400).

Tartışma

Eritema multiforme, enfeksiyonlar ve ilaçlar başta olmak üzere çeşitli antijenik uyaranlarla tetiklenen, akut immün aracılı bir mukokutanöz reaksiyon paternidir. Literatürde olguların büyük çoğunluğunun *Herpes simplex* virüs enfeksiyonu ile ilişkili olduğu, ilaç ilişkili eritema multiformenin ise daha nadir görüldüğü bildirilmektedir. Bununla birlikte antibiyotikler, nonsteroid antiinflamatuvar ilaçlar ve antiepileptikler en sık sorumlu ilaç grupları arasında yer

almaktadır. Sunulan olguda, deri lezyonlarının üriner sistem enfeksiyonu nedeniyle başlanan amikasin tedavisini takiben ortaya çıkmış olması ilaç ilişkili eritema multiforme olasılığını düşündürmektedir. Bununla birlikte, enfeksiyonun kendisinin de potansiyel bir tetikleyici olabileceği göz önünde bulundurulmalı ve bu nedenle nedensel ilişkinin dikkatle yorumlanması gerekmektedir.

Eritema multiformenin ayırıcı tanısında ilaç erüpsiyonları, viral ekzantemler, fikse ilaç erüpsiyonu, Stevens-Johnson sendromu ve kutanöz vaskülitler yer almaktadır. Klinik bulguların benzerlik göstermesi nedeniyle kesin tanıda histopatolojik değerlendirme büyük önem taşımaktadır. Klinikopatolojik korelasyon ise tanının doğrulanmasında yol göstericidir. Olgumuzda başlangıçta ilaç erüpsiyonu, viral erüpsiyon ve vaskülit ön tanıları düşünülmüş, ancak histopatolojik incelemede izlenen belirgin interface dermatit paterni, bazal vakuoler dejenerasyon ve çok sayıda diskeratotik (apoptotik) keratinosit eritema multiforme tanısını desteklemiştir. Ayrıca tam kat epidermal nekroz ve lökositoklastik vaskülit bulgularının izlenmemesi, Stevens-Johnson sendromu ve vaskülitten ayrımda yol gösterici olmuştur.

Literatürde eritema multiforme tanısında klinikopatolojik korelasyonun temel öneme sahip olduğu vurgulanmaktadır. Benzer histopatolojik bulgular farklı interface dermatitlerde de görülebileceğinden, klinik öykü ve olası tetikleyici faktörlerin birlikte değerlendirilmesi doğru tanıya ulaşmada kritik rol oynamaktadır. Bu olguda ilaç kullanım öyküsü ile karakteristik histopatolojik bulguların birlikte değerlendirilmesi tanının konulmasını sağlamıştır.

Bu olgu, ilaç kullanımını takiben gelişen akut kutanöz döküntülerde eritema multiformenin ayırıcı tanıda göz önünde bulundurulması gerektiğini göstermektedir. Dikkatli klinikopatolojik değerlendirme, doğru tanının konulması ve uygun hasta yönetiminin planlanması açısından temel öneme sahiptir.

Sonuç

EM, klinik olarak ilaç erüpsiyonları, viral ekzantemler ve diğer interface dermatitleri taklit edebilen akut immün aracılı bir mukokutanöz reaksiyon paternidir. Bu nedenle, özellikle ilaç kullanımını takiben gelişen akut kutanöz döküntülerde ayırıcı tanıda akılda tutulmalıdır. Sunulan olgu, ayrıntılı klinik öykünün alınması ve karakteristik histopatolojik bulguların birlikte değerlendirilmesinin doğru tanı ve uygun tedavinin planlanmasında temel öneme sahip olduğunu göstermektedir.

Kaynaklar

1. Auquier-Dunant, A., Mockenhaupt, M., Naldi, L., Correia, O., Schröder, W., & Roujeau, J. C. (2002). Correlations between clinical patterns and causes of erythema multiforme majus,

Stevens–Johnson syndrome, and toxic epidermal necrolysis: Results of an international prospective study. *Archives of Dermatology, 138*(8), 1019–1024. https://doi.org/10.1001/archderm.138.8.1019

2. Bolognia, J. L., Schaffer, J. V., & Cerroni, L. (2024). *Dermatology* (5th ed.). Elsevier.
3. Huff, J. C. (2008). Erythema multiforme and latent herpes simplex infection. *Seminars in Cutaneous Medicine and Surgery, 27*(1), 42–45. https://doi.org/10.1016/j.sder.2008.01.003
4. Le Cleach, L., Delaire, S., Boumsell, L., Bagot, M., Bourgault-Villada, I., & Roujeau, J. C. (2001). Erythema multiforme. *Annales de Dermatologie et de Vénéréologie, 128*(6–7), 726–738.
5. Sokumbi, O., Wetter, D. A., & Camilleri, M. J. (2012). Clinical features, diagnosis, and treatment of erythema multiforme: A review for the practicing dermatologist. *International Journal of Dermatology, 51*(8), 889–902. https://doi.org/10.1111/j.1365-4632.2011.05348.x
6. Trayes, K. P., Love, G., & Studdiford, J. S. (2019). Erythema multiforme: Recognition and management. *American Family Physician, 100*(2), 82–88.
7. Villani, A., Fabbrocini, G., Costa, C., Scalvenzi, M., & Megna, M. (2024). Erythema multiforme. *eClinicalMedicine, 77*, 102915. https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2024.102915
8. Weedon, D. (2021). *Weedon's Skin Pathology* (5th ed.). Elsevier.
9. World Health Organization Classification of Tumours Editorial Board. (2018). *WHO Classification of Skin Tumours* (4th ed., Vol. 11). International Agency for Research on Cancer.

TOPLUM YANLISI DAVRANIŞLAR ÖZELİNDE RÜVEYDE&YÜKSEL ERGEN'İN SANATA DESTEKLERİ

Prof. Dr. Uğur TÜRKMEN
Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Music and Performing Arts, Department of Music, Merkez, Çanakkale
ORCID ID: 0000-0002-0847-779X

ÖZET

Müziğin icra pratiklerinde eğitimci, öğrenci ve yorumcuların birbirinden oldukça farklı tutum ve davranışlarına rastlanır. Örneğin salonun ayarlanması, sahne düzeni, sahne ve salon temizliği, ses tesisatının kurulması gibi birçok iş yükü söz konusu olduğunda yardımlaşmadan duyarsızlığa kadar farklı yönelimler karşımıza çıkar. Müziğin icra pratiklerinde herhangi bir şekilde ödüllendirilme beklentisi olmaksızın birbirine yardımcı olanlara rastlandığı gibi, icra pratiklerinin gerçekleşmesinde de aynı düşünce temelinde gerek maddi gerekse manevi destek olanlara müzik tarihi boyunca sınırlı sayıda da olsa rastlanır.

Sanat ve müziğin devletin desteğine ihtiyaç duyduğu bir gerçekliktir. Bununla birlikte özel sektör, sivil toplum kuruluşları ve elbette bireylerin desteği, sanatın ve müziğin geniş kitlelere ulaşmasında çok önemli roller üstlenmiştir. Bu destekler kimi zaman konserlerin gerçekleşmesine, kimi zaman eğitim süreçlerinin sürdürülmesine, kimi zaman da sanatçılar ile dinleyiciler arasında kalıcı bağların kurulmasına katkı sağlamaktadır. Bu yönüyle sanata verilen bireysel destekler, toplum yanlısı davranışlar kapsamında değerlendirilebilecek anlamlı örnekler sunmaktadır.

Bu çalışmada; müziği hayatının en önemli unsurlarından biri olarak görmüş ve yaşamış Yüksel Ergen ile kendisinin vefatından sonra müziğe olan ilgisi ve desteği devam eden Rüveyde Ergen; müzik ve patronaj, müzik ve kültür endüstrisi, müzik ve anılar temelinde ele alınmıştır. Çalışmanın; konuya ilgi duyanlara, araştırmacılara, sanat destekçilerine ve sanat alanında toplum yanlısı davranışlar üzerine yapılacak benzer çalışmalara katkı sağlayacağı umulmaktadır.

Anahtar kelimeler: Patronaj, kültür, yardımseverlik

THE SUPPORT OF RÜVEYDE & YÜKSEL ERGEN FOR ART WITHIN THE CONTEXT OF PROSOCIAL BEHAVIORS

ABSTRACT

In the performance practices of music, quite different attitudes and behaviors of educators, students, and performers are encountered. For example, when there is a workload involving many tasks such as arranging the hall, stage layout, cleaning the stage and the hall, and setting

up the sound system, different tendencies ranging from cooperation to indifference emerge. In the performance practices of music, just as there are those who help one another without any expectation of reward, throughout music history, although limited in number, there have also been those who have provided both material and moral support for the realization of performance practices on the basis of the same idea.

It is a reality that art and music need the support of the state. However, the support of the private sector, non-governmental organizations, and certainly individuals has played very important roles in enabling art and music to reach wider audiences. These forms of support sometimes contribute to the realization of concerts, sometimes to the continuation of educational processes, and sometimes to the establishment of lasting bonds between artists and audiences. In this respect, individual support given to art presents meaningful examples that can be evaluated within the scope of prosocial behaviors.

In this study, Yüksel Ergen, who regarded and lived music as one of the most important elements of his life, and Rüveyde Ergen, whose interest in and support for music continued after his passing, are discussed on the basis of music and patronage, music and the culture industry, and music and memories. It is hoped that the study will contribute to those interested in the subject, researchers, art supporters, and similar studies to be conducted on prosocial behaviors in the field of art.

Keywords: Patronage, culture, philanthropy

GİRİŞ

Yüksel Ergen Kimya yüksek mühendisi olarak Çanakkale Seramik'te ve birçok uluslararası kuruluşta görev yapmış, kendisini doğaya ve yaban hayatının korunmasına adamış, yüzbinlerce ağaç dikmiş, organik tarım konusunda ülkemizin önde gelen isimlerinden olmuş, sanata, sanatçıya değer vermiş, desteklemiştir. Çevresinde daima sanatçılar olmuş, müziğe ilgisi ve merakı onu iyi bir icracı olarak tanıtmış; keman, piyano gibi çalgıları iyi derecede icra etmiştir. Rüveyde Ergen'de sanata ve sanatçıya destek vermiş, Müzik ve Sahne Sanatları Fakültesi'nin bilimsel ve sanatsal tüm etkinliklerinde ana sponsorlar arasında yer almıştır.

Ergen ailesi; Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Müzik ve Sahne Sanatları Fakültesi'nin yeni binası için gerekli olan tüm teşrifatları, müzik araç ve gereçlerini bağışlamışlardır.

Bu çalışmada; süreç hakkında bilgi verilmesi, sürecin geniş kitlelerce bilinmesi, yanında; müziği hayatının en önemli unsurlarından biri olarak görmüş ve yaşamış Yüksel Ergen ile kendisinin vefatından sonra müziğe olan ilgisi ve desteği devam eden Rüveyde Ergen; müzik

ve patronaj, müzik ve kültür endüstrisi, müzik ve anılar temelinde ilgililerle buluşması amaç edinilmiştir.

Yüksel Ergen

"1942'de Çanakkale'nin Kumkale Beldesi'nde doğdu. Çocukluk yılları, Truva Bölgesi'nin antik kentleri ile bir cennetten farksız olan Kumkale ovasının nehirleri ve bahçeleri arasında geçti. Kimya yüksek mühendisi olarak Çanakkale Seramik'te ve birçok uluslararası kuruluşta görev yaptı. Çocukluktan gelen aşk ile doğduğu topraklara döndü ve kendisini doğanın ve yaban hayatının korunmasına adadı. Binlerce dönüm araziye yüz binlerce ağaç dikti. Organik tarım ve seramik konusunda Türkiye'nin en önde gelen uzmanlarından biri oldu. Hayatı boyunca yaşadığı tecrübelerden bir kısmını ve özellikle köy hayatında yaşadığı ilginç hikâyeleri bu kitapta topladı" (Ergen, 2017: 5).

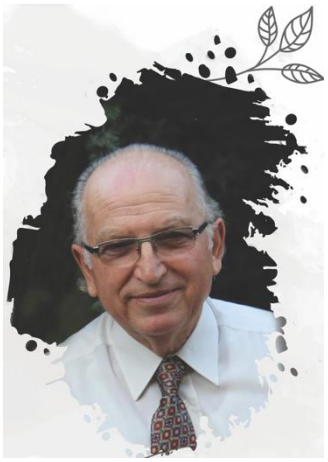
Rüveyde Ergen

1945 İstanbul-Heybeliada doğumludur. Çocukluğu Heybeliada da geçmiştir. İlk-orta ve lise öğrenimlerini İstanbul'da tamamladıktan sonra yüksek öğrenimine İstanbul Üniversitesi Kimya Fakültesinde devam etmiştir. Eşi Yüksel Ergen ile burada tanışmışlar ve öğrenim yıllarından sonra hayat yolculuğuna beraber devam etmişlerdir. Çalışma hayatına eşinin yedek subaylığından dolayı Ankara da başlamış olup, yedek subaylık görevinden sonra eşiyle birlikte Çanakkale'ye gelerek iş yaşamına Çanakkale Seramik'te devam etmiştir. 1980-1985 yıllarından itibaren eşi Yüksel Ergen ile aile şirketlerinin kurumasında, yönetilmesin, geliştirilmesinde aktif olarak rol almış olup bu çalışmalara devam etmektedir. Çalışma hayatını aktif olarak devam ettirirken, çocuklarının eğitim ve öğretimlerine de önem vererek gereken itinayı göstermeye çalışmıştır. İlerleyen dönemlerde büyük bir zevkle torunlarına da yardımcı olmaya gayret göstermiştir. Eşi Yüksel Ergen ile birlikte genç nesillerin yetişmelerine, eğitim ve öğretimlerine gösterdikleri özen hayat görüşleri olarak daima ön planda yer almıştır.

Rüveyde Ergen



Yüksel Ergen



Yüksel Ergen'in Hayatında Müzik Özelinde Birkaç Yaşanmışlık Örneği

Yüksel Ergen hayatı boyunca müziğe önem vermiş, hayatının bir parçası olarak görmüştür. Gerek ailesi gerekse dostları bu durumu sıklıkla dile getirir. Birçok enstrümanı rahatlıkla icra edebilen, çok sayıda müzik insanı dostu bulanan, mekanlarında birçok akşam müziğini yine dostları ile birlikte yaşayan, hisseden Yüksel Ergen'in hayatında müziğin nasıl yer edindiğini "Köyden Kente Anılar" adlı kitabında da görebilmekteyiz.

Birkaç yaşanmışlığa bu çalışmada yer vermek istedik.

Geleneğin yaşatılmasına yönelik verdiği önem

Kusköy Zeybeği

"Köyde taş evlerle çevrili bir meydana geldik. Girişi yüksekte olan bir evin, giriş kısmına davulcu ile klarnetçi oturmuş, "Kusköy Karşılaması" çalıyor, iki orta yaşlı erkek de oynuyorlardı. Oyuncuların uyumları son derece güzeldi, zengin Anadolu folklorunun, profesyonel ekiplerin dışında, halk tarafından oynanması beni son derece mutlu eden bir olaydı. Çünkü pek çok düğün ve dernekte, halkımızın folklorumuzu nasıl rezil ettiğine her zaman şahit olmak mümkündü. Kusköy Karşılaması'nın hikâyesi de çok ilginçtir. Geçmişte, köyde bir düğün yapılır, düğünün en hareketli bir yerinde, köyün delikanlılarından birisi çok sarhoş olarak kendini oyun meydanına atar ve oynamaya başlar. Bu oyun, daha önce bilinen oyunların hiçbirisine benzememektedir, delikanlı içkinin de verdiği cesaretle güzel figürler yaratarak, seyredenlere güzel bir gösteri sunar. Yarı zeybek, yarı karşılama figürleriyle yapılan bu oyun, seyredenlerin çok hoşuna gider ve halk tarafından benimsenerek geliştirilir ve yöresel oyunlarımıza, "Kusköy Karşılaması" olarak yerleşir. Bazıları tarafından, "Kusköy Zeybeği" olarak da adlandırılır. Zeybek oynayan iki genç, Kemerdere Köyü'ne yakın ve yine Alevi Türkmenlerin oturduğu Akçesme Köyü'nde yaşıyorlarmış. Daha sonra, renkli mahalli

kıyafetleri ile genç kızlar ve delikanlılar beraberce halay çektiler, çok etkilendim. Bizim diğer köylerimizde, özellikle yörük ve Balkan göçmenlerimizin yaşadığı yerlerde, beraber oynamak bir tarafa, kadınlar ve erkekler ayrı ayrı yerlerde düğüne katılarak oynarlar. Oturduğumuz masaya yemekler ve rakılar geldi, düğün sahibi Durmuş Efendi de yanımızdan ayrılmadı. Köy hakkında sorduğum sorulara yanıt veriyor, bir taraftan da durmadan: "Beni çok memnun ettin beyim, herkesin içinde koltuklarım kabardı, sağ ol," diye durmadan memnuniyetini ifade ediyordu. Ben de kendisine: "Durmuş Efendi, ben seni çok severim, çağırmasan bile haberim olunca hemen geldim ama hazırlıksız yakalandım, sen çocuklara benim namıma bir şeyler alırsın," diyerek kimse fark etmeden bir miktar para sıkıştırdım. (Ergen, 2017:31)

Sanatçı ile iletişimin ne kadar önemli olduğunu gösteren bir yaşanmışlık.

Bülent Ersoy'un Konseri

27 Temmuz 1957, Çanakkale Seramik Fabrikaları Anonim Şirketi'nin kuruluş tarihi olduğu için her yıl 27 Temmuz'da, kuruluş yıldönümü kutlamaları yapılır. 5 ve 10 yılın katları olan yıllarda, kuruluş kutlamalarına daha özenle hazırlanılır ve çok görkemli olur. Bu bayramlar, günün mana ve ehemmiyetini anlatan konuşmalarla başlar, arkasından kıdemlerine göre personele hediyeler verilir. Bando eşliğinde geçitler yapılır. Akşam yemeğinden sonra, tasavvuf musikisi, klasik musiki ve folklor gösterileri yapılarak bayram devam eder. Toplu halde çalışanların ve kasabada arzu edenlerin sünnet çağındaki çocukları için sünnet düğünü organize edilerek aynı anda yüzlerce çocuğun sünnet merasimi yapılır. Çocuklar hediyelerle sevindirilir. Mevlit ve Kur'ân-ı Kerim okutularak dualar yapılır. Bu merasimler, uluslararası bir nitelik de kazanırdı. Genelde, Kale Grubu Şirketleri ile iş yapan yabancı firmalar bu merasimlere katılırlardı. Ayrıca, siyasi kimliği olan her kademeden siyasetçiler ve bürokratlar, ordu mensupları bu merasimlerin misafirleri arasındadır. Bununla beraber, merasimler fabrikalarda çalışan işçilerin dışında çevrede yaşayan köylü, kentli her vatandaşa açıktır. Tüm misafirlere üç öğün yemek verilir. Bu gerçekten büyük bir organizasyondur. Bayramlarda vazifeli olan arkadaşlar, inanılmaz derecede bu konuda büyük deneyim kazanmış elemanlardır. 1980'li yılların başlarındaki bir kuruluş bayramında, halka açık büyük konser için, yeni parlayan ses sanatçısı Sayın Bülent Ersoy assolist olarak gelecektir. Kendisi, çok güzel bir sese ve okuma tavrına sahip, gerçekten büyük bir ses sanatçısı ve çok canlı bir sanatçı. Bendeniz de konser işlerinden sorumlu olan kişiyim. O günlerde, Yenice istikametinden Çan ilçesine girişte sağ tarafta düz bir alana sahip olan arazide panayır kurulurdu. Bundan dolayı da bu alan, Panayır Tepesi diye anılan oldukça geniş bir arazi idi. Büyük konsere ilgi çok olduğundan düşünülen kalabalığı ancak Panayır Tepesi yeterli olabilirdi. Tepe düzlük, batıdan doğuya

doğru hafif yükselen bir meyil ile yükseltiyordu. Arazinin en alt kısmına büyük bir sahne yapıldı. Beş adet soyunma odası bulunan konser sahnesinde, bu odalardan sahneye çıkış, saz sanatçıları ve söz sanatçıları ayrı yolları takip ederek iki ayrı girişten sahneye giriyorlardı. Bülent Ersoy'a geniş ve güzel bir oda hazırladık. Konsere, annesi ile film sanatçısı rahmetli Mürüvvet Sim de birlikte gelmişlerdi. Saz icra heyeti o günün en önde gelenlerinden oluşuyordu. Konserin başlamasına yakın, sahneye çıkarak doluluğa ve protokoldeki kişilerin gelip gelmediğini kontrol ettim. Tabiri caiz ise bütün alan tam bir mahşer yeri kalabalığı görünümündeydi. Sayın Bodur ve misafirleri kendilerine ayrılan protokolde yerlerine yerleşmekteydiler. Sahne yönetmenine programın başlama zamanını hatırlattığım sırada, Bülent Ersoy'un konser sorumlusu ile görüşmek istediğini söylediler. Hemen odasına indim. Odasını ve aynayı beğenmediğini söyleyince, ben de kendisine: "Üstadım, burası arazi sahnesi, tabii ki bir konser salonu konforuna sahip değil ama buranın bir özelliği var, onu sahneye çıkınca göreceksiniz ve hayatınız boyunca da hatırlayacaksınız. Dışarıda on bin kişinin üzerinde seyirci var. Hepsi sizi saatlerdir bekliyor ve hepsi sizi yürekten alkışlayacak. Belki bu kadar kalabalığa ömrünüz boyunca konser veremeyebilirsiniz. Lütfen moralinizi bozmayın bütün seyirci buraya sizi görmeye ve dinlemeye geldi. Bu akşam binlerce kişi size ve sesinize âşık olacak." Bunun üzerine Bülent Ersoy, "Beni çok rahatlattınız, çok teşekkür ederim." dedi. Bu cevabın karşısında ondan çok ben rahatladım. Arkama döndüğüm zaman kapıda Mürüvvet Sim'i gördüm. Omuzuma eliyle takdir eden hafif bir vuruşla dokunarak, "İyi hallettin" dedi. Bu söz üzerine Mürüvvet Sim'e de teşekkür ederek bu konuda profesyonel olmadığımı ve esas mesleğimi söyleyerek bana yardımcı olmasını istedim. Daha sonra, sahneye çıkan Bülent Ersoy, mükemmel bir konser verdi. (Ergen, 2017:235-236)

Müziğin birleştirici gücünü gösteren önemli bir yaşanmışlık. Almanya'da Keman Konseri

"Seramik sanayinde hızlı pişirim teknolojisinin gelişmesi ile Çanakkale Seramik Fabrikalarının, eski teknolojiden yeni teknolojiye geçiş yatırımlarının çok yoğun olarak devam ettiği yıllardı. Durmadan yeni yatırım projeleri hazırlanıyor, bu projelerde kullanılacak makine ve ekipmanların seçimi için sık sık Almanya ve İtalya'ya gidiliyordu. Yine böyle bir yatırım seyahatinde, önce İtalya sonra da Almanya'ya gittik. Gündüz fabrika gezileri ve toplanan bilgi ve ekipmanlarla ilgili gece çalışmalarıyla yoğun bir hafta geçti. O zaman Türkiye yoklar ülkesi; çoluk, çocuk, konu, komşu herkes bir sipariş vermişti. Patron bu seyahatlerde ekibi çok iyi çalıştırır, son gün de alışveriş için herkesi serbest bırakırdı. Türkiye'ye dönüş günü olan son günü bize alışveriş günü olarak bıraktı. Günlerden cumartesi idi. Frankfurt'ta merkezde, tren istasyonuna yakın bir otelde kalıyorduk. Kaldığımız otele çok

yakın büyük bir süpermarket vardı. Sabah kahvaltıdan sonra elimizdeki listelerle alışverişe dağıldık. Saat 16 gibi hepimiz otelde buluşup havaalanına gidecek şekilde programımızı yaptık. Benim listem pek yüklü olmadığından saat 13:00'e doğru alışverişimi bitirdim. Market içinde bir kafede kahve içtim. Daha önce alışveriş yaptığım ve müzik aletleri satan bir dükkândan kemanıma tel alıp doğrudan otele gitmeyi ve bavulumu toparlamayı düşünüyordum ki, müzik aletleri satan dükkanın yan tarafındaki sokaktan bir keman sesi gelmeye başladı. O yöne doğru yürüdüğümde, marketin çıkış kapısının köşesinde genç bir bayan kemanıyla Brahms'ın 5 numaralı Macar Dansı'nı çalıyordu. Sesler pek sağlam değildi. Önündeki keman kutusu içinde birkaç fenik metal para vardı. Yavaşça kıza yaklaştım, çaldığı parça bitince İngilizce olarak: "Kemanınızı lütfen bana biraz verir misiniz?" deyince kız biraz şaşkın ve biraz da sanki merakla kemanını bana verdi. Keman yayının gerginliğini bana göre ayarladım ve başladım çalmaya. Önce, bir Almanca parça çaldım, ancak pek ilgi görmedi. Arkadan bir rast makamında taksim ile girdim bizim parçalara, göz ucuyla da kemanın kutusunu kontrol ediyorum. Yavaş yavaş bahşişler başladı. Arkadan bir iki Hüseyni türkü tutturdum. Etrafımızda Almanya'da yaşayan Türklerden bir halka oluştu. Keman kutusuna marklar yağıyor. Uzaktan bir Türk vatandaşı da bağırıyordu: "Yaşa, nur ol hemşerim." Ben işi damardan yakalamıştım! Bir Hicaz taksimle, hemen Hicaz parçalara başlayınca, paralar daha fazla gelmeye başladı. Kendi kendime içimden: "İşte bitmiş, tükenmiş bir imparatorluktan yepyeni bir 'Cumhuriyet' çıkaran bu kültür," derken yanıma orta yaşlı bir yurttaşımız yaklaştı ve: "Hemşerim, bir derdin, sıkıntın varsa halledelim." Gözümle yok anlamında bir işaret ettim, ama gözümdeki bir damla yaşı durduramadım. Keman konserini bitirdikten sonra, Alman kıza kemanını verdim ve veda etmek üzere elimi uzattığımda kız bana: "Paralarınızı alın, bunlar siz çaldığınız için verildi." "Bu paraların hepsi senin, kusura bakma, ben senin konserini kestim." Elimi uzattım, beş saat sonra uçakla Türkiye'ye dönmek zorunda olduğumu anlattım. Yüzüme dikkatle bakarak, elimi de bırakmadan: "Yazık, sizi daha iyi tanımak isterdim. Siz hakikaten Türk müsünüz?" Ben de kendisinin elini biraz daha sıkıca tutarak: "Ben Türk olmasaydım, bu kadar parayı nasıl toplardım? Tekrar hoşça kal," diyerek ayrıldığımda geriye, yarıya kadar para dolu bir keman kutusu ile hayretini saklayamayan şaşkın bir Alman kız kalmıştı! (Ergen, 2017: 287-288).

Müzik her kapıyı açtırır. Gümrük kontrolü

"Başbakan Özal'dan önce Türkiye bir yoklar ülkesi olarak sık ve anlamsız bir devletçiliğin içinde bocalayıp duruyordu. Bir gün Çanakkale'de, Saat Meydanı'nda bir kalabalık gördüm. İki yabancının etrafında biriken birçok insan onlara yardım etmek istiyordu, ama müşterek

bildikleri bir dil olmadığı için anlaşamıyorlardı. İngilizce olarak kendilerine yardım edebileceğimi söyledim. İnsanlar büyük bir mutluluk gösterisi ile; "Biz Hollandalıyız, üzerimizde dolar, mark ve gulden var. Bugün cumartesi olduğu için bütün bankalar kapalıymış. Hiç kimse bu paraları değiştiremiyor. Yemek yemek istiyoruz, sadece 'Türk Lirası' geçerli diyorlar. Biz ne yapabiliriz?" Bir Türk olarak, bizim konukseverliğimize sığmayan bu durumdan çok utanmıştım ve bu olayı hiç unutamam. Kim cesaret edebilir ki, "Türk Parasını Koruma Kanunu"'ndan yargılanırsın! O zamanları çok iyi hatırlarım. Ülkede bir şey yok, doğrudan gümrük kontrol memurları masanın üzerine koyduğum bavulu açtırdılar. Her tarafını didik didik kurcalayıp, iç çamaşırıma kadar ortaya döktükten sonra bavulu masanın ucuna iterek: "Elindeki ne?" diyerek kemanı gösterdi. Ben de: "Keman, kendim için aldım," dedim. "Kendin için aldığına göre çal bakalım, biz de görelim." Canım çok sıkıldı, biraz şunlarla dalga geçsem diye düşündüm. Sonra da kemanı alırlarsa diye korktum, ama şansımı denemeliydim. Keman kutusunu açtım, kemanın yayını reçinelemeye başladım. Memur oyalandığımı düşünerek: "Hadi kardeşim, kemanı mı çalacaksın yoksa uçak mı uçuracaksın? Bak dünya kadar işimiz var." "Bu alet reçine ile doymadan ses vermez, aynen yakıtsız uçağın uçmayacağı gibi." Başladım kemanda pek duyulmamış bir Batı müziği parçası çalmaya, bir taraftan da açılıp, saçılmış halde toplanmayı bekleyen bavulum duruyor. Otelde toplarken zor sığdırdım eşyaları, kim bilir şimdi ne kadar uğraşıp toplayacağım diye düşünürken, devletin kıyafetli memuru mutlu bir ses tonuyla; "Sen buna keman çalmak mı diyorsun?" "Anladım, siz parçayı beğenmediniz." Hemen başladım bahriye çiftetellisinin çalmaya; "Kadifeden kesesi…" Memur bey, babacan bir tavırla lütuf eder gibi; "Haydi kardeşim, topla bavulunu. Herkesle böyle uğraşacak olursak yandık biz…" İçimden hayır dua ile bavulumu topladım ve gümrükten geçtim! Bir seyahatte böyle sonlanmıştı (Ergen, 2017: 290-291).

Etnoetnografik bir terbiye eğitimi. Âşık Veysel'le yaşanmışlık

"Üniversitedeki öğrencilik dönemimin iki yılını, İstanbul Vezneciler'deki Sivas Öğrenci Yurdu'nda geçirdim. Daha önceki ilk yılımı, Beyazıt Azapkapı Semti'nde olan eski bir konağın bir odasında dört arkadaş birlikte geçirmiştim. Benim dışımda diğer üç arkadaşım kâğıt oyunlarına, özellikle poker oyununa çok meraklıydı. Oturduğumuz eski konak, Gazanfer Özcan'ın tiyatrosunun olduğu sokaktaydı. Bu konağın sahibi kendi halinde bir paşazade hanımefendiydi. Konaktaki diğer iki bayan, ev sahibi hanımın evlatlıklarıydı. Arkadaşlarla evdeki hayatımız oldukça disiplinsiz devam ediyordu. Para varsa sabahlara kadar süren poker partileri, para yoksa daha basit kâğıt oyunları, herkesin vazgeçilmez hayatı olmuştu. Ben oyunu sevmediğim için, kareyi tamamlamak üzere arkadaşları kırmadık. Bu disiplinsizlik

içinde herkes sınıfta kaldı. Benim için pek önemli değildi, tıp fakültesine girmek için gelecek yıl tekrar sınavlara girecektim. Onun için de tıp birinci sınıfın ortak derslerini vermek için orman fakültesine yazılmıştım. Tıp fakültesi ile ortak aldığım derslerin tamamını yıl sonunda verdim. Buna rağmen, kısmet değilmiş ki aynı ilk yılımda olduğu gibi tıp fakültesinin giriş sınavlarına girmek bana kısmet olmadı. Bunda da bir hayır vardır diyerek aynı yıl kazandığım kimya yüksek mühendisliği bölümüne kaydoldum. O yıllarda her fakültenin imtihanı ayrı ayrı yapılırdı. Sonuçta, derslerimi ihmal edeceğim için paşa konağını terk ederek fakülteye çok yakın olan Vezneciler'deki Sivas Yurdu'na taşındım. İki yıl bu yurtta kaldım. Bu yurtta kalırken, çok sevdiğim Âşık Veysel ile tanıştım. Kendisi de Sivaslı olduğu için önemli gecelerde sık sık gelir, yurdun restoran ve kafesinde yemek yer ve sohbet ederdik. Benim sesimden tanır olmuştu. Benim olmadığım toplantılarda "Çanakkaleli nerede?" diye yurttaki arkadaşlarıma beni sorarmış. Yine bir akşam Âşık Veysel'in olduğu bir toplantıda, yemek bit-mek üzere idi. Yavaştan yavaşça sohbet başlamıştı. Veysel Emmi, hayatında yaşadığı olayları anlatıyordu. Onun hayatı ile ilgili bir film çekiliyormuş. Film yönetmeni, önemli doktorların muayenesinden sonra, "Veysel Emmi'nin bir gözünün ameliyatla biraz açılıp görebileceğini" müjdelemişler kendisine. Fakat Veysel kabul etmemiş. Bu yanıt karşısında herkes hayretler içinde kalmış, Veysel'i ikna etmek istemişler ama boşuna. Âşık Veysel bu olayı şöyle anlatmış: "Ben gözlerimi kaybetmemiş olsaydım, Sivralan Köyü'nde 'Köylü Veysel' olarak kalırdım. Bana bu derdi veren Rabbim beni Âşık Veysel yaptı. Sonra ben kendi içimde bir dünya yarattım, gözümü açıp da bu dünyanın çirkinliklerini görmek istemem!" Bunu ancak Âşık Veysel gibi zarif bir filozof kişi, bu şekilde bir anlatımla Yaradan'ın takdirine rıza gösterir. Bunu sözlerle açıklaması, çok sevdiğim Veysel Emmi'ye karşı olan sevgi ve hayranlık hislerimi bir kat daha artırmıştı. Aradan 40 yıl gibi uzun bir süre geçtikten sonra bu hikâyeyi, 2013 yılında kaybettiğimiz çok değerli ve güzel insan Metin Erksan'dan bir akşam yemeği sırasında aynı aylarında, tahmini geçmişten üzre konuşulduğunda dinlemiştim. Metin Erksan'ın tatlı söyleşilerini büyük bir zevkle, yaz akşamlarında otelin bahçesinde mehtap ışığında dinlemeye doyamazdık. Duayen büyüğümüz Metin Erksan, Çanakkaleli olduğu ve hem babası, hem de dedesi 'Kale-i Sultani Komutanı' olarak görev yaptıkları için, gönlünde büyük bir Çanakkale sevgisi taşıyordu. 1960'lı yılların başında çevirdiği ilk filmi, "Karanlık Dünya" adıyla Âşık Veysel'in hayatını anlatan bir filmdir. Sansür kurulu tarafından filmin gösterilmesine izin verilmez. Neden olarak da "Sen ülkenin karanlık günlere gittiğini mi ima etmek istiyorsun?" derler. Bu anlamsız görüşe hiçbir anlam veremeyen ve bu duruma çok sıkılan Metin Erksan, son derece mücadeleci yapısıyla bu anlamsız yasağı kaldırmaya çalışır. Böylece konuyu o zaman ki Devlet Başkanı

Cemal Gürsel'e kadar iletir. Film baştan sona kadar Cemal Gürsel'e izletilir. Gürsel, sansürü anlamsız bulur, konuyu bu şekilde yorumlayan sansür kuruluna da gerekli talimatı vererek, filmin gösterilmeye başlanmasını emreder. Böylece, Veysel'in filmi sinemalarda gösterilmeye başlar. Bu konu üzerinde konuşurken, Âşık Veysel ile Sivas Yurdu'nda kaldığım sırada anlatılan, "Veysel'in gözünü açma hikâyesini" de değerlendiren Metin Erksan şunları söylemişti: "Veysel'in gözünün açılması konusu 'Karanlık Dünyam' isimli filmin çekilme sürecinde oldu. Bütün çabama rağmen, o koca Âşık Veysel'in dış dünya ile irtibata geçmesinde başarılı olamadım." Konu Âşık Veysel olunca her ikimiz de yaşadıklarımızı ortaya dökmüştük. Pek çok kere Âşık Veysel ile yemekte beraber olduk. Türküler çığırdık. O, hem çaldı hem söyledi, hem de dem çektik, sohbet ettik. Âşık Veysel yalnızca saz çalan bir halk ozanı ve âşığı değildi. Sözlerine ve söyleşilerine gönülden kulak vererek dinlediğinizde; onun bir halk filozofu olduğunu, ince esprilerinden halkın yaşam felsefesine ne denli aşina olduğunu hemen anlayabilirsiniz. Aık Veysel insanları kırmamaya son derece dikkat ederdi. Kendisine karşı yapılmış bir saygısızlığı dahi çok ince ve nezaketle anlatmaya çalışırdı. Sivaslılar gecesinde yaşadığım bir olay buna çok iyi bir örnektir. Yemeğin sonuna doğru herkes Veysel Emmi'den saz çalmasını istedi. O da bizim bu isteğimizi kırmayarak sazını aldı eline ve çalıp, çığırmaya koyuldu. Çok yürekten söylerdi ve de kendisine has saz çalma ve türkü okuma tarzıyla, insanın ta içine işlerdi ezgileri. Bir keresinde kendisini ne kadar yürekten dinlediğimi, onu dinlerken nefesimi tuttuğumu fark ederek anladım. Kendi türkülerinden, üç beş parça okuduktan sonra yemekte bulunan Sivaslı öğrencilerden bir kısmı fark edilir şekilde sesli konuşmaya başladılar. Veysel'in gözleri görmediği için ben onları işaretle susmaları yolunda uyaramaya çalışırken Âşık Veysel de sazıyla türküsünü söylüyordu;

On para etmez güzelliğin,
Bu bendeki aşk olmasa;
Gezinecek bir yer bulmam,
Gönlümdeki köşk olmasa!

Âşık Veysel türküsünü tamamladı. Sanki görüyormuş gibi sesin geldiği tarafa doğru bakarak gayet yumuşak bir ses tonuyla: "Sizin karnınız doydu ama sazın karnı daha doymadı!" diyerek mızrabını tellerine vurarak, türküler söylemeye devam etti. Orada olanlar da seslerini keserek, sazın karnı doyana kadar konuşmadılar! Bu toplantılarda ben, Veysel Emmi'nin sağ tarafında oturmaya özen gösterirdim. Bunun nedeni ise, pena vuruşlarını ve yarattığı kendine özgü saz çalısını kavramaya çalışmaktı. Müziğin sonra çay faslı başladığında, kendisine sessizce: "Konuşanlar çok güzel uyardınız Veysel Emmi," deyince, o da bana doğru yönelerek, yalnızca

benim duyacağım bir ses tonuyla; "Onlar daha çok gençler. Bak Çanakkaleli, onların gönüllerini kırarak söylersen eğer, hem etkili olmaz, hem de bizi dinleyen gençler azalır." Koca Veysel, bana güzel bir hayat dersi vermişti. Ruhu şad olsun (Ergen, 2017: 297-300).

Müziğin her türü ve biçimine verilen değer. Senfonik Dostluklar

"İstanbul Senfoni Orkestrası'nın fagotçusu ve aynı zamanda çok iyi bir piyanist olan Süleyman Alnıtemiz de o gün oturan grubun içindeydi. Süleyman Alnıtemiz, son derece şakacı ve hazır cevap bir kişiliğe sahip olduğu gibi, çok çalışkan ve üretken bir bestekârdır. Batı müziği tarzında pek çok eser bestelemiş ve bu çalışmalara da devam etmektedir. O günkü sohbet toplantısında Süleyman, benim yanımda oturuyordu. Rahmetli Metin Erksan Hoca da karşımızdaki koltuğa oturmuştu. Süleyman bana doğru yaklaşarak, kulağıma usulca, "Şu hocaya yeni şort aldık, fakat hâlâ şu bol paça emektarı bırakamıyor, korkarım başına bir felaket gelecek." dedi. Sanki, Süleyman'ın ağzında imiş. Aradan bir saat dahi geçmemişti ki Hoca, oflayıp puflamaya başladı. Yanında otelin finans müdürü Yüksel Hanım oturuyordu ve heyecanla "Hocam ne oldu?" diye sordu. "Efendim arı soktu, nasıl olduğunu anlayamadım." deyince, Yüksel Hanım: "Hiç merak etmeyin Hocam, ben buna çok iyi gelen bir yöntem biliyorum, birçok defa denedim, çok başarılı. Bir tatlı kaşığı ile arının soktuğu yere kırk defa vuruyorsunuz, hiçbir şey kalmıyor. Acısı hemen azalıyor. Hemen şimdi bir tahta sopa bulup üzerine kırk defa vuralım, göreceksiniz çok iyi gelecek. Emin olun, ben çok denedim." deyince, Hoca, finans müdiresinin bu safiyane teklifine çok kibarca cevap verdi: "Hanımefendi, ben öyle şeylere inanmam, arı sokmasına sopa ne yapacak." Fakat, Yüksel hanım ısrarcıydı: "Hocam hiç korkmayın, öyle sopa ile hızlı vurmayacağız. Sadece sopa ile 40 defa dokunacağız." demez mi… Biz işin içinden nasıl çıkılacağını merakla beklerken bir taraftan da gülmemek için kendimizi zor tutuyorduk. Hoca derdini nasıl anlatacağını bilemez. Gayet efendi bir tavırla arının soktuğu yerin antik dönem ismini söyler: "Efendim, fallobu mu soktu." Fakat finans müdiresi ısrarcıdır: "Olsun efendim kırk sopada bir şey çıkmaz, ben bunu çok denedim." Hoca bakar ki olacak gibi değil, yerinden kalkarak odasına gitmek üzere uzaklaşır. Hoca gittikten sonra durumu anlayan finans müdiresi, üzgün bir tavırla: "Eyvah! Ben şimdi Hoca'nın yüzüne nasıl bakacağım." diye ortadan kaybolur. Sonuçta, Metin Hoca'nın 'fallobu' doktorun tavsiyesi ettiği antihistaminik pomatla tedavi oldu. Allah rahmet eylesin (Ergen, 2017: 303-304).

Müzik ilgi çeker. Gönül Çalar.

"İris Otel'in üst katındaki Bekri Bar'ındayız. Adana-Mersin tarafından gelen Bayan Niki'nin yerli grubu var. Canlı müzik istedikleri için bizim müzisyenler vazife başında. Bayan Niki, 1924

Mübadelesi'nde Anadolu'dan göçen Rumlardan, üçüncü nesil. Bayan Niki, son derece sevecen görünümlü, hareketli ve Anadolu âşığı birisi olup, grup lideri olarak da hep grubunun başında gayet titiz ve özveri ile çalışan bir turizmci. Orkestrada gitar, akış armonikası ve piyano var. Ben de zaman zaman kemanla, kabak kemane ile biraz da balalaykaya benzeyen bir aletim var, onlarla bu eğlenceli akşama eşlik ettim. Grubun ekseriyeti kırk yaşın üzerindeki hanımlardı. Ama hepsi de çok hareketli ve neşeli. İçki içmemelerine rağmen şarkı söylediler, oynadılar, arada sırada şiir okuyanlar da oldu. Gayet güzel bir gece idi, zaman zaman ortak konularda sohbet ve hikâye düzenin de çeşitlemelere de yer verildi. Saat 01:00'e doğru yavaş yavaş biraz daha ileri olanlar, odalarına gitmeye başladılar. Müziğe biraz ara verdik, o sırada yanımızdan geçen 55-60 yaşlarında bir bayan grubundan biri, bana dönerek; "Beyefendiciğim, maşallah Allah nazardan saklasın siz kaç çeşit müzik aleti çalıyorsunuz?" Ben de gayet sakin ve kibar bir tavırla: "Hanımefendi, ben bu konuda 'alaylıyım', elime geçirdiğim müzik aletini biraz çalarım. Eskiden gönül de çalardım ama artık çalamıyorum." dedim. Bayan yanıtımı dikkatle dinlerken asansöre doğru yürümeye başladı. Herhalde bana daha fazla laf atmayacak diye düşünürken, birden durup, geriye döndü ve gülümsemeyen bir yüzle; "Hadi Hadi! Sen daha gönül de çalarsın," dedi. "Teşekkür ederim hanımefendi, sizi tebrik ederim, siz de maldan anlıyorsunuz... İyi geceler," dedim ve gülümseyerek onu selamladım. Hanımefendi, yanıt vermeden asansöre binmeyi yeğledi. Bekri Bar'da bir müzik gecesi daha güzel bir anı ile sona ermişti" (Ergen, 2017: 312).

Müzik babadan kalma bir miras. Baba ve Bando

"Jandarma Genel Komutanlığı Bandosu, çalışmalarını Atatürk Orman Çiftliği civarında yaparmış. Bando çalışmaları oldukça gürültülü olduğundan, şehirden uzak olan bu bölge seçilmiş. Bir gün bandoya şeflik yapan yüzbaşı hastalanarak bir hafta rapor almış. Bu süre zarfında bando bir nöbetçi çavuş nezaretinde çalışma yerine götürülüyormuş. Başlarında hocaları olmadığı için bizimkiler, çalışma yerine, gelişi güzel, başıbozuk ordu gibi gidip geliyorlarmış. Atatürk'te, Orman Çiftliği'ne ne sık sık gider oradaki çalışmaları takip edermiş. Gidip gelirken bizimkilerin bu disiplinsiz hali, Ata'nın dikkatini çekmiş olmalı ki, bir gün bizimkiler yine düzensiz bir vaziyette giderlerken, Ata'nın nöbetçi bandonun yanından geçmelerini sağladığı duymuş. Ata'nın yeni inerek bizimkilerle göz göze gelmesini beklemiş. Nöbetçi çavuşun ricası üzerine, babam nöbetçi olmamasına rağmen Reis-i Cumhur Hazretleri'nin arabasına koşarak gitmiş. Cam aralanmış olarak, Atatürk arkada oturmaktaymış. Derhal hazır ol vaziyette selam vererek künyesini okumuş. Sonrasını babamdan dinleyelim: "Gazi bana bir baktı, sanki gözlerinden yayılan bir ışık bütün vücudumu

titretti. Bu halimi fark etmiş olmalı ki, gayet normal bir ses tonu ile; 'Evladım siz askersiniz, nedir sizin bu disiplinsiz haliniz? Sizin kumandanınız nerede? Bando birliği de olsanız askere yakışır bir disiplinle gidip geleceksiniz, bir daha görmeyeyim' der. Babam, dili dolanarak; "Emredersiniz Reis-i Cumhur Hazretleri." diyebilir. Atatürk de arabası ile uzaklaşır. Olaydan haberdar olan bando şefi yüzbaşı, çok korkulu günler geçirirse de kendisine bir ceza verilmez. Fakat bando, o olaydan sonra Gazi Hazretleri geçsin geçmesin, uygun adım marşlar çalarak disiplin içinde talim yerine gider ve uygun adımla, marş söyleyerek geri döner (Ergen, 2017: 360).

Tüm bu yaşanmışlıklar ve anlatılar incelendiğinde bir soru hemen akla gelmekte. Yüksel Ergen'in hayatında; müzikle ilgili hikayeler, yaşanmışlıklar, örnek olaylar sadece kitabında yer aldıkları ile sınırlı olmasa gerek.

Müzik biliminin en çok değer verdiği "insan hikayeleri" sadece okuyabildiklerimizle kalması oldukça üzücü.

Toplum Yanlısı Davranışlar

İnsan çevresine baktığında yaşadığı yer neresi olursa olsun bazı kişilikler hemen dikkatini çekecektir. Yardımsevenler ise en çok dikkat çekenler arasındadır.

Bir müzik okulunda örneğin bir orkestra konserinde nota sehpalarını taşıyan, düzelten, notaları dağıtan, sandalyeleri konser veya prova düzenine getiren öğrenci hemen dikkat çeker.

Aranson ve arkadaşları (2012: 623) toplum yanlısı davranışı; **"**Bir başkasının yararını gözeterek gerçekleştirilen herhangi bir eylem" olarak açıklamaktadırlar.

Bu davranışlar herhangi bir karşılık beklemeksizin olduğu kadar, çıkar için de olabilir.

Bireyin ne zaman, kimlere, nasıl, ne şekilde, niçin yardım edeceği kendi iç dünyasındaki yaşanmışlıkları, ilgilere, ailesi, ekonomik durumu, sosyal çevresi, sorumluluk duyguları, elbette kişiliği yön verecektir. Silberman ve Harnsburg'a göre demografik faktörler (cinsiyet, ırk, kültür ve etnik ilişkiler, din, sosyo-ekonomik durum, yaş grubu) insanların algılama, anlama ve karşılık verme şeklini kayda değer bir biçimde etkiler (2003: 45-47). Ergen ailesinin sanata, sanatçıya vermiş olduğu destek en başta Yüksel Ergen'in müziğe duyduğu ilgi ve hayatının en önemli parçalarından biri olarak görmesidir denilebilir.

Kültür ve Sanatın Rolü

Kültürün ve sanatın işlevleri söz konusu edinildiğinde; başta birey sonrasında toplum ve elbette ekonomi, kültür ve toplum akla gelmekte.

"Kültür ve sanat, eğitsel işlevi olan, toplumları bütünleştiren, kentlerin marka değerini artıran, yaratıcılığı ve tasarımı besleyen, kent ekonomisine doğrudan, ülke ekonomisine ise diğer

sektörlerle etkileşimde bulunarak dolaylı katkı sağlayan bir faaliyet alanıdır. Kültürel etkinlikler aracılığıyla yaratılan sosyal ve ekonomik değer oldukça yüksektir" (İKSV, 2012: 7)

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Müzik ve Sahne Sanatları Fakültesi Binası

Fakülte binası devletimizin imkânları ile yapılmıştır. Bina yapımında her bir detay titizlikle düşünülmüş, hem engelliler hem de dezavantajlı gruplar için erişilebilirlik özelliklerine sahip, kullanılan tüm malzemeler olası afetlere hazırlıklı, depreme dayanıklı ve standartlara uygun olarak planlanmıştır.

Akustik projesi özel olarak hazırlanmış, böylece dünyaca ünlü sanatçıların da şehre gelmesine yönelik bir motivasyon sağlanmıştır.

Konser salonunda; sahne genişliği, yüksekliği, derinliği ve portalı ve sahne arkası dünya standartlarında projelendirilmiştir. Sahnede senfoni orkestraları dahil her türlü sanatsal etkinlik rahatlıkla gerçekleştirilebilecektir. Bina; hem sahne performansının hem de eğitimin bir arada yürütüldüğü önemli bir eser olarak hem eğitimciler hem de öğrenciler tarafından dile getirilmektedir.

Bina yerleşimi, planlanması Çanakkale halkını düşünülerek yapılmıştır. Konser salonu aynı zamanda Çanakkalelilerin sanat etkinliklerine rahatlıkla ulaşabilecekleri bir mekân olarak tasarlanmıştır. Kampüse sanat getirmek, halkla üniversitenin etkileşimini sağlamak bina ve salonun yapım amaçları arasındadır.

Rüveyde&Yüksel Ergen Salonu

Ergen ailesi; yeni fakülte binası için gerekli olan tüm teşrifatları, müzik araç ve gereçlerini bağışlamışlardır.

1 Adet Kuyruklu Piyano

100 Kişilik Koro Standı

Fuayede Yüksel Ergen ve Rüveyde Ergen Seramik Pano

Fuaye Salon İsmi

Fuaye Oturma Grupları

Koridorlara Öğrenci Bekleme/Oturma Grupları

1 Dekan Odası

1 Fakülte Sekreteri Odası

50 Kitaplık

30 Eğitimci Odası İçin 120 Cm Masa, Koltuk, Tekerlekli Kesonu ve Ön Perdesi ile

2 Sınıf İçin 120 Cm Masa, Koltuk, Tekerlekli Kesonu ve Ön Perdesi ile

10 İdari Personel İçin 140 Cm Boyunda Masa, Koltuk, L Tabyası Sabit Kesonu Ön Perdesiyle

40 Eğitimci/İdari Personel Odası Boy Aynası

40 Eğitimci/İdari Personel Oda İçin Askılık

40 Eğitimci/İdari Personel Odası İçin Stor Perde

40 Eğitimci/ İdari Personel Odası İçin Kapı İsimliği ve Programlığı

40 Eğitimci/ İdari Personel Odası İçin Üçer Adet Kolçaksız Sandalye (40x3= 120 Adet)

Dört Solfej Sınıfı İçin Kolçaklı Sandalye (4x20=80 Adet)

2 Masa Üstü Bilgisayar

100 Adet Nota Sehpası

100 Adet Öğrenci Enstrüman Dolapları / ya da 50 Adet Çiftli

1 Adet Bir Tarafı Aynalı Dans Odası

1 Adet Renkli Baskı/Fotokopi Makinası

11 Kişilik Toplantı Solunu Teşrifatı (2 Adet 180 Cm lik Masa ve 11 Adet koltuk)

40 Eğitimci Odası İçin Masa Önü Sehpa

30 Adet Pedagoji Dersliği İçin Öğrenci Puf

Bağış kapsamında; 380 kişilik bir konser salonu olan binaya nitelikli bir konser (kuyruklu) piyanosu da kazandırılması oldukça önemlidir.

Yeni fakülte binamızda yer alan konser salonuna 09.04.2025 tarihinde yapılan üniversite senatosunda *"Rüveyde&Yüksel Ergen Konser Salonu"* adı verilmesi oy birliği ile karar verilmiştir.

Yeni fakülte binası ile Rüveyde&Yüksel Ergen Konser Salonunun açılışı 08 Ocak 2026 tarihinde saat 19.00'da yapılmıştır.

Senato Kararı

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ
SENATO KARARI

TOPLANTI TARİHİ : 09.04.2025
TOPLANTI SAYISI : 08

Karar-03) Üniversitemiz Müzik ve Sahne Sanatları Fakültesi binası içerisinde yer alan konser salonuna ''Rüveyde/Yüksel Ergen Konser Salonu'' adının verilmesine oy birliği ile karar verildi.

Protokol

T.C.
ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
Mevzuat Komisyonu

2025 AİLE YILI

Sayı : E-72354561-877-2500084742 28.03.2025
Konu : İş Birliği Protokolü

MÜZİK VE SAHNE SANATLARI FAKÜLTESİ DEKANLIĞINA

İlgi : 12.03.2025 tarihli ve E-38915116-010.99-2500073631 sayılı yazınız.

İlgi yazınız ekinde yer alan "T.C. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi ile TEKSER Arasında Bağış ve İş Birliği Protokolü" taslağı Üniversitemiz Mevzuat Komisyonunun 24.03.2025 tarihli toplantısında ekli şekliyle uygun görülmüştür.
Bilgilerinizi ve gereğini rica ederim.

Prof. Dr. Hüsnü Levent DALYANCI
Mevzuat Komisyon Başkanı

Davetiye

ÇANAKKALE ONSEKİZ MART ÜNİVERSİTESİ

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Müzik ve Sahne Sanatları Fakültesi **"Yeni Binası ile Rüveyde&Yüksel Ergen Konser Salonu"** açılış törenini onurlandırmanızı dileriz.

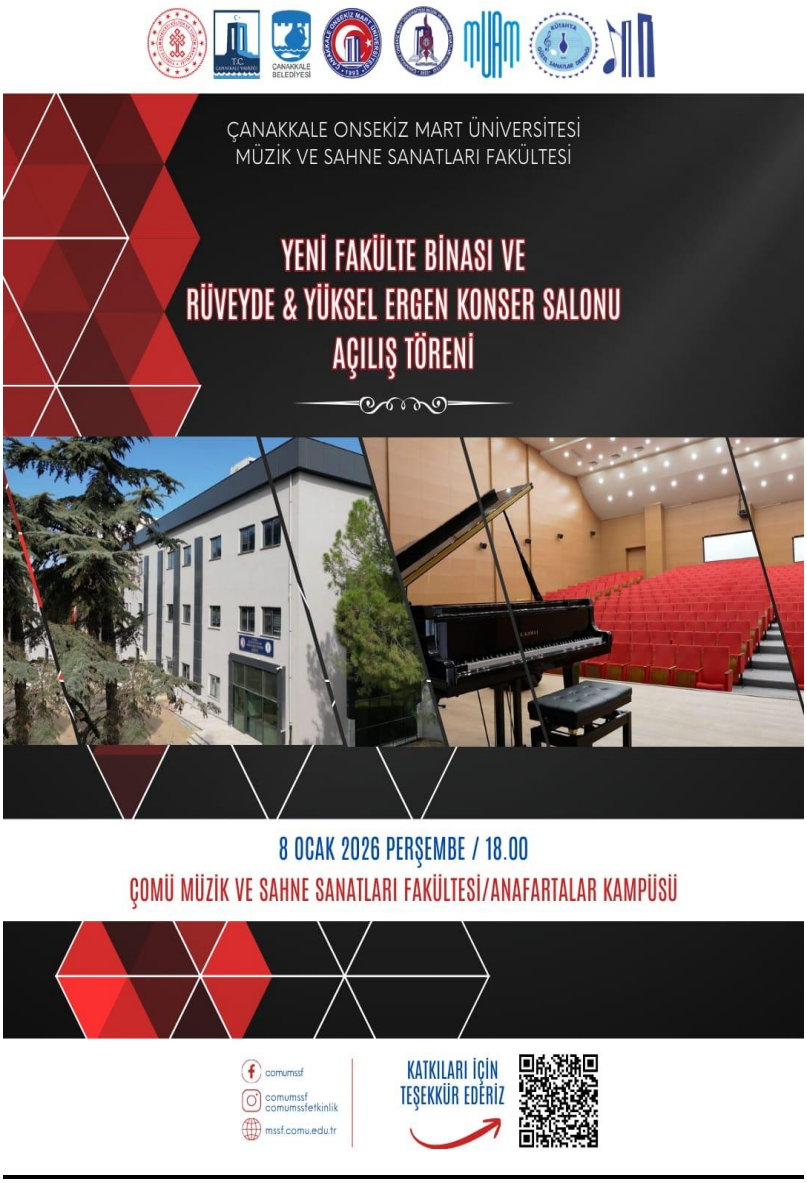
Prof. Dr. Uğur Türkmen
DEKAN

Prof. Dr. R. Cüneyt Erenoğlu
REKTÖR

Tarihi: 8 Ocak 2026, Perşembe **Kokteyl Saat:** 18.00 **Konser Saat:** 19.00
Yer: ÇOMÜ Müzik ve Sahne Sanatları Fakültesi/Anafartalar Kampüsü

www.comu.edu.tr

Açılış Afiş



Açılıştan

Kurdela kesiminden önce Şef Batuhan Ertunç yönetiminde ÇOMÜ MSSF Lisans Korosu bir fuayede bir eser seslendirdi.

Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Müzik ve Sahne Sanatları Fakültesi Yeni fakülte Binası ile Rüveyde & Yüksel Ergen Konser Salonu açılış töreni saygı duruşunun ardından Bahadır Çokamay tarafından yönetilen Senfoni orkestrasının eşliğinde, istiklal marşı ve ÇOMÜ marşı seslendirildi.

Açılışta; şefliğini Bahadır ÇOKAMAY'ın yaptığı Müzik ve Sahne Sanatları Fakültesi Senfoni orkestrası, Şefliğini sayın İmren Öz KESER ve sayın Emel Funda TÜRKMEN'in yaptığı Üniversite Çoksesli Çocuk ve Gençlik Korosunu korosu, yöneticiliğini Sedat ÇILGIN'IN

yaptığı Bağlama topluluğu, Ergen ailesi ile dostlukları uzun yıllara dayanan akademisyen, sanatçı sayın Süleyman ERGUNER sahne aldılar.

Sonra sırasıyla; Müzik ve Sahne Sanatları Fakültesi öğrencileri adına Yüksek Lisans öğrencimiz sayın Dilay GEZER, Selim ERGEN, Rüveyde ERGEN, Uğur TÜRKMEN, Gelibolu Savaşları Tarihi Alan Başkanı Sayın İsmail KAŞDEMİR, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi rektörü Prof. Dr. Sayın Cüneyt ERENOĞLU, Çanakkale Belediye Başkanı sayın Muharrem ERKEK, Çanakkale Valisi Doç. Dr. Sayın Ömer TORAMAN konuşmalarını gerçekleştirdiler.

Katkılarından dolayı; Mustafa Tunçalp, Pınar Ünal Taşar, Özgür Celep, Yasin Demirel, Mürsel Metin, Anıl Üvez, Sinan karabulğu, Can Devrim Uysal, M. Kemal Taşçı'ya plaketleri takdim edildi.

Resim 5. Açılıştan. Rüveyde Ergen, Rektör R. Cüneyt Erenoğlu



Açılıştan. Bağlama Topluluğu



Kurdela Kesimi



Toplu Resim



Mustafa Tunçalp'in Eseri ve Hatırat Yazısı

Seramik sanatçısı Mustafa Tunçalp Salonun fuayesi için çok güzel bir sanat eseri üretti ve eser sergileniyor. Tunçalp eseri hakkında şunları söylüyor.

"Yüksel Ergen Kardeşim, sanatın her dalına karşı çok saygılıydı. Keşke o da bu güzel anı yaşasaydı. Kendisini rahmetle,sevgiyle, özlemle anmak istiyorum. Panonun üzerindeki yüzlerin sahipleri, benim elli beş yıllık arkadaşlarım kardeşlerim kadar yakın, çok sevgi saygı duyduğum kişilerdir. Rüveyde ve Yüksel kardeşlerimdir. Ülkemiz ve Çanakkale için çok başarılı işler yaptılar. İkisinin de kimya mühendisi olmalarından dolayı seramik sektöründe, Çanakkale Seramik fabrikalarında beraber çalıştık. Çok başarılı işlerde bulundular. Bunun dışında doğaya, tabiata karşı farklı yaklaşımları vardı. Yüz binlerce ağaç yetiştirdiler. Ben de buradan yola çıkarak kurgumu geliştirdim. Hayat ağacını sembolize ettim. Kuşlar doğanın vazgeçilmezi, benim de en çok kullandığım, özdeştiğim kuş figürünü kullandım. Çiçekler ve

kuşlar Rüveyde ve Yüksel'in panodaki rölyeflerini kucaklıyor diye düşündüm, hayal ettim. Yapmış oldukları güzellikler ve hizmetler için ışınsal olarak etrafa bereket ve su damlaları oluşturan kompozisyonda yerlerini aldılar. Panonun yapım aşaması ve karar verme süreci, çok zor ve heyecanlı bir dönem oldu. Projeyi renkli olarak hazırlamıştım fakat uykularımda rüyaları beyan daha renkte olması daha sanatsal ağırlıkta olacağını düşündüm. Bu konuyu Rüveyde Hanım'a ve Selim Bey'e aktardım. Sıcak bakmadılar. İzmir'deki atölyemizde panodan bazı detaylar beyan alarak sırladım. Kendilerini davet ettim. Heyecanla nasıl bir tepki vereceklerini beklerken onların da bana katılmaları beyan olarak yapılması için onaylamaları beni çok mutlu etti. Pano yapım aşamasında oğlum Berkan Tunçalp'in destekleri ve yardımları beni daha da güçlendirdi. Panonun rölyef çalışmalarında Hasan Fatih, İbrahim Kılınç, Ali Güvenç, ben ve oğlum Berkan beş kişilik ekiple çalıştık. Bu eserimi sizlere sunmaktan övünç ve gurur duyuyorum. Tabi ki Rüveyde Hanım'a, Selim Bey'e ve Feyza Hanım'a bana bu imkanı verdikleri için bütün kalbi duygularımla teşekkür ediyorum. Sayın dekanımız Profesör Uğur Türkmen hocanın montaj süresince bizleri yalnız bırakmaması moral ve desteklerini esirgememesi bizleri çok mutlu etti. Kendilerine sonsuz teşekkürler. Tabi ki en önemli konu panonun yerine döşenmesinde otuz beş yıldır beraber çalıştığım titiz ve başarılı bir şekilde uygulayan, ustamız Fahri Şanlı'ya da ellerine sağlık daha güzel işlerde beraber oluruz inşallah".

SONUÇ VE ÖNERİLER

Karşılığında maddi ya da manevi bir bedel ödemek olsa bile yardım eden insanların geniş kitlelerce de bilinmesi önemlidir.

İnsanlara yaşarken teşekkür edilmesi ise ayrı bir önem arz eder.

Yüksel Ergen değil ama eşi Rüveyde Ergen yaşarken teşekkürleri görmüş ve mutlu olmuştur.

Bugün hala Rüveyde Ergen ve Ergen ailesi Müzik ve Sahne Sanatları Fakültesi Cuma konserleri için il dışından gelen sanatçıların konaklamalarını günlük yemek ihtiyaçlarını karşılamaktadırlar.

Sanatın sürdürülebilirliği için tarih boyunca patronajlara ihtiyaç duyulmuştur. Sanatın desteği yanında kişilerin, ailelerin, özel kurum ve kuruluşların desteğine sanat daha geniş kitlelere ulaşmış, varlığını sürdürülebilmiştir.

Sanata verilen bu destek ili ve ülkeyi yönetenleri de motive etmiştir. Başta belediyeler, valilikler ve diğer kamu kurum ve kuruluşları motive olmuşlar ve "biz de ne yapabiliriz?" sorunu sıklıkla sormuşlardır.

Kültürün planlaması patronajların destekleri sayesinde daha rahat yapılabilir olmuştur. Yol, konaklama, yemek, hediye vb giderler kamu kaynaklarına yük olmaktan çıkmıştır.

Bu destekler sosyal iletişimi de güçlendirmiş, duyarlılıklarını artırmış, sanata ilgi duyan kişi ve aileleri motive etmiş, yönlendirmiştir.

Şehrin kültürel canlılığı, kültürel çeşitliliği artmış, kültürel çevre daha da genişlemiş, bu çevrelerin birbirleriyle iletişimleri artmış, kültürel etkinliklerin sayısı artmış, şehrin, fakültenin görünürlüğü ülke ve dünya genelinde ilgi görmüş, kültürel miraslara daha çok değer verilmiştir. Salona ailenin adlarının verilmesi örnek olmuştur.

Çanakkale ilinde; Teoman Alpay, Arif Sami Toker, Cihat Aşkını, Saim Akçıl gibi çok sayıda müzik insanı daha çok hatırlanır olmuştur.

Destekler; yerel kültür politikalarına da yön vermiştir. Gerek belediye gerekse valiliğin kültüre yönelik çalışmalarında Ergen ailesi, salon, fakülte çalışmaları örnek gösterilmiştir.

Yerel ekonomi canlanmıştır. Rüveyde&Yüksel Ergen salonu başta olmak üzere fakültenin her eğitim öğretim yılında gerçekleştirdiği 200'e yakın etkinlik; şehrin konaklama, ulaşım, yeme, hediye vb sektörlerine çok önemli katkılar sağlamaktadır.

Ailenin destekleri; müziğin başta toplumsal, bireysel, ekonomik, kültürel ve eğitimsel tüm rollerinin gerçekleşmesini sağlamaktadır.

İçten dışa bakıldığında ise; fakülte öğrencileri, eğitimcileri daha üretken olmuşlardır. Sadece fiziki imkanlar değil, nitelikli araç ve gereçlerinde desteğiyle profesyonel müzik eğitiminin niteliği artmıştır.

İç ve dış paydaşlar daha çok destek vermeye başlamışlardır.

Çalışma; Rüveyde ve Yüksel Ergen özelinde sanata verilen desteklerin öneminin vurgulanması, desteklerin sonuçlarının neler olduğunun bilinmesi, bu iki değerli ismin müzik bilim ailesinde tanınırlığının sağlanması amacıyla hazırlanmıştır.

Ülkemizde 2026 yılı itibariyle, 145 Güzel sanatlar alanı fakülte, 7 müzik ve sahne sanatları fakültesi, 53 konservatuvar bulunmaktadır. Her ilde sanata destek veren ailelere ulaşılması, onlar adına etkinlikler ve günler düzenlenmesi, bu aileleri paydaş olarak sistemin içinde tutulması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

Aronson, E., Wilson, T. D., & Akert, R. M. (2012). *Sosyal psikoloji*. Kaknüs Yayınları.
Ergen, Y. (2017). *Köyden kente anılar*. Mas Matbaacılık San. ve Tic. A.Ş.
İstanbul Kültür Sanat Vakfı. (2012). *İstanbul Kültür Sanat Vakfı ekonomik etki araştırması*. İKSV.
Silberman, M., & Hansburg, F. (2003). *İnsan sarrafı* (P. Ozaner, Çev.). Sistem Yayıncılık.

AMATÖR ÇALGICILAR FESTİVALİ ÖZELİNDE EĞİTİM MÜZİĞİ BESTECİLERİNİN GÖRÜNÜMÜ

Prof. Dr. Uğur TÜRKMEN
Çanakkale Onsekiz Mart University, Faculty of Music and Performing Arts, Department of Music, Merkez, Çanakkale
ORCID ID: 0000-0002-0847-779X

ÖZET

Literatür taraması yapıldığında, müziğin üç türü arasında üzerinde en az bilimsel çalışmanın yapıldığı alan hiç kuşkusuz amatör müzik eğitimidir. Oysa bu müzik eğitimi türü; diğer iki müzik eğitimi türünü oldukça yakından ilgilendirmekte, önemli bir kaynaklık etme özelliği bulunmaktadır. Birçok tanınmış müzik insanının ilk önce amatör müzik eğitimi ile müziğe adım attığı gerçeği de her zaman dile getirilir.

Genel ve özel müzik eğitimi yöntemlerinin aktif olarak kullanıldığı, çalgı, ses, koro, orkestra eğitimlerinin aktif olarak yürütüldüğü amatör müzik eğitiminde sahne pratikleri, ölçme değerlendirme, repertuvar seçimi başta olmak üzere öğretim yöntem, strateji ve teknikler gibi sayısız konu başlığında sayısız çalışmanın yapılabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada; uzun yıllardır gerçekleştirilen ve artık müzik tarihimizde önemli bir yer edinen Afyonkarahisar Amatör Çalgıcılar Festivalinin içerik analizi eğitim müziği bestecileri özelinde ele alınacaktır. Bestecilerin tercih edilme durumları ve nedenleri çalışmanın ana konusu olarak belirlenmiştir. Bu doğrultuda festival programlarında yer alan eserlerin incelenmesiyle, eğitim müziği bestecilerinin repertuvar içindeki görünürlüğünün ortaya konulması amaçlanmaktadır. Ayrıca çalışma, amatör müzik eğitimi kapsamında tercih edilen eserlerin pedagojik işlevleri, seslendirme düzeyleri ve eğitim sürecine katkıları hakkında fikir vermesi bakımından önem taşımaktadır. Elde edilecek sonuçların amatör çalgı eğitimi repertuvarının değerlendirilmesine, eğitim müziği bestecilerinin bu alandaki yerlerinin belirlenmesine ve bundan sonra yapılacak olan benzer çalışmalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Amatör müzik eğitimi, çalgı, festival

THE APPEARANCE OF EDUCATIONAL MUSIC COMPOSERS WITHIN THE CONTEXT OF THE AMATEUR INSTRUMENTALISTS FESTIVAL

ABSTRACT

When the literature is reviewed, it is undoubtedly seen that, among the three types of music, the field on which the least scientific research has been conducted is amateur music education. However, this type of music education is closely related to the other two types of music education and has the characteristic of serving as an important source for them. The fact that

many well-known musicians first stepped into music through amateur music education is also always emphasized.

It is considered that numerous studies can be conducted on countless topics in amateur music education, where general and special music education methods are actively used and where instrument, voice, choir, and orchestra training are actively carried out, particularly on stage practices, assessment and evaluation, repertoire selection, and teaching methods, strategies, and techniques.

In this study, the content analysis of the Afyonkarahisar Amateur Instrumentalists Festival, which has been held for many years and has now gained an important place in our music history, will be addressed specifically in terms of educational music composers. The status of composers' being preferred and the reasons for these preferences have been determined as the main subject of the study. Accordingly, by examining the works included in the festival programs, it is aimed to reveal the visibility of educational music composers within the repertoire. In addition, the study is significant in terms of providing insight into the pedagogical functions, performance levels, and contributions to the educational process of the works preferred within the scope of amateur music education. It is thought that the results to be obtained will contribute to the evaluation of the amateur instrument education repertoire, the determination of the place of educational music composers in this field, and similar studies to be conducted in the future.

Keywords: Amateur music education, instrument, festival

1. GİRİŞ

Günümüzde en çok dile getirilen hususlardan biri yaşam boyu eğitim kavramıdır. Eğitimin doğumdan ölüme sürdürülebilirliğine dikkat çekilmekte. Bireyi bir an önce hayata hazırlamanın, sınıf ortamından ziyade tecrübe edindirecek bir sistemin hayata geçirilmesinin gerektiği de yine sıklıkla dile getirilmektedir. Bu birey için önemli olduğu kadar içinde yaşadığı toplumu da olumlu veya olumsuz etkileyecektir. Çünkü; "eğitimin önemli amaçlarından biri toplumun üyelerini toplumsallaştırmaktır. Toplumun ölçünleriyle uyumlu olmayanlar toplumdan dışlanır, en azından kenarda kalır" (Çınar, 2022: 1).

1.1. Müziğin Amatörleri

Amatör müzisyenler özellikle müziğin profesyonel işiyle uğraşanlar için genellikle dikkate alınmamışlardır. Bu anlayışla karşılanabilir. Oldukça zor bir eğitim süreci içindeki profesyonel müzik insanı ister öğrenci ister eğitimci ister kendi hayatını kazanan sanatçı her ne olursa olsun

dikkatini işine verecektir. Genel müzik eğitimi de bundan payını alır. Oysa hem genel hem de amatör müzik eğitimi, hemen her yönüyle profesyonel müzik eğitimini besler. Belki de birçok profesyonel hayatının ilk dönemlerinde amatör müzik eğitimi almıştır da denilebilir.

"Amaçları bakımından ayrılan üç program içinde "amatör müzik eğitimi" ilk bakışta ikincil nitelikte görülebilir. Oysa gelişkin ülkelerde kadın ve erkek bütün amatör müzikseverler için yediden yetmişe kadar uygulanan bu program, toplumda "Müzik eğitiminin gövdesi" kabul edilir. Gelişkin ülkelerde amatör koro ve amatör çalgı müziği topluluklarında yer alan müzikçilerin sayısı, genel nüfus içinde önemli bir yer tutar" (Say, 2008:19)

1.2. Birkaç Önemli Görüş

"Fransızca kökenli bir sözcük olan amatör… müzisyenliği kazanç gözetmeksizin, hevesle yapan müzisyen olarak adlandırılmalıdır. Amatör müzisyenlik denildiğinde amatör korolardan, amatör ansambllara ve amatör müzik gruplarına kadar kazanç hedefli olmayan her tür müzisyenlik akla gelmektedir" (Dönmez, 2024: 14).

Unutulmamalıdır ki dünyaca ünlü müzik insanlarımızda bir zamanlar amatör müzik eğitimi aldılar. Örneğin İdil Biret "Ankara'daki evinden, öğretmeni Mithat Fenmen'in oturduğu, Yüksel Caddesindeki "Sarı Apartman" a annesinin elinden tutarak geldiği günlerde" (Birkan, 2004: 28) yaşadıklarını dinleme imkânı olsa inanıyoruz ki, bu müzik eğitimini küçümseyenlerde çok farklı duygu ve düşüncelere sahip olacaklardır.

Yine İdil Biret şunları söyler: "Çocukluk günlerimde, bir müzik banyosu içinde yaşadım ben; annem, büyükannem, kuzenlerim, hepsi birer amatör müzikçiydi, sık sık bir araya gelir, oda müziği çalışırlardı" (Birkan, 2004: 137).

Onay'a göre "sanatın toplumsal ve evrensel kimliği, sanat eğitiminin de erkenden dinamik bir yapıda toplumla ve uluslararası sanat çevreleriyle bütünleşmesini gereksindirir" (2017: 15).

Sun'a göre ise "normal her çocuk, gelişmeğe elverişli birçok yetenekle doğar. Soya-çekimle ilgili olan bu yetenekler, çevrenin ve eğitimin etkileriyle biçimlenir. And, Erol, Kopuz, Oransay, Özakman, Sun, Şimşek, Usmanbaş "bütün icra organlarının, Türk bestecilerinin ve yazarlarının yüksek nitelikteki eserlerine programlarında her yıl belirli oranda yer vermesi sağlanmalıdır" (1969: 74) görüşündedirler.

Bu sayede kültürlenme, kültürleşme ve kültürleme gerçekleşebilecektir. Kültür "en geniş anlamıyla, doğanın insan emeğinin ürünü olan somut ve soyut her şeydir. Kültürün belli bir ülke ve ulusa ait olanına ulusal kültür denir. Kültürleme, okulda, ailede, sokakta oyun oynarken, işyerinde çalışırken, her türlü ayin ve törenlerde, programlı ya da istemsizce, kültürel değerlerin bireyin öğrenmesini sağlamaktır" (Çınar, 2022: 1).

1.3. Nasıl çalışılacak?

"Dağar, geniş anlamda; bir müzik topluluğunun ya da sanatçının performans gösterebileceği eserlerin tümü anlamına geçer" (Dönmez, 2024: 43). Eğitim müziği bestecilerinin dağarının/eserlerinin nasıl çalınacağına yönelik bir rehber, bir model, bir yardımcı kaynak maalesef yoktur. Örneğin Yılmaz Akış ve Yazıcı Romantik dönem eserlerinin icrasında nelere dikkat edilmesi gerektiğini şöyle açıklar: Bu ve benzeri açıklamalar eğitim müziği alanında yazılmış eserler içinde geliştirilebilir. "Romantik Dönem'e ait eserler çalışılırken, genel olarak uyulması gereken bazı kurallar vardır. Örneğin, açık tel çalınabilecek yerler tercihen parmak basarak çalınmalıdır. Birinci pozisyonda çalındığında duyulan renk ile üst pozisyonlarda çalındığında duyulan renk farklılık gösterir. Daha koyu bir tonla çalınması gerektiği düşünülen romantik dönem melodileri üst pozisyonlarda çalınırsa koyu bir renk için daha iyi sonuç elde edilir. Bu nedenle Romantik Dönem'de, üst pozisyonlar daha fazla tercih edilebilmektedir" (2024: 56).

1.4. Eğitim Müziği Bestecilerimiz

Çeliktaş'ın (2014: 95) hazırladığı tabloya bakıldığında eğitim müziğine katkı sağlamış besteci sayımızın oldukça dikkat çekicidir.

Tablo 1. Eğitim müziğine katkı sağlamış / sağlayan besteciler

Eğitim Müziğine Katkı Sağlamış / Sağlayan Besteciler*		
A.Şahap Öktem	Halit Ozan	Musa Süreyya
Adil Vural	Hasan Ferit Alnar	Mustafa Polat
Ahmet Adnan Saygun	Hasan Toraganlı	Mutlu Torun
Ahmet Muhtar Ataman	Hasan Uçarsu	Necil Kazım Akses
Ahmet Samim Bilgen	Hayri Alkan	Necip Mirkelamoğlu
Ali Hoca	Hazal Alapınar	Nedim Yıldız
Ali Uçan	Hikmet Ekim	Nejat İlhan Leblebicioğlu
Âşık Veysel Şatıroğlu	Hikmet Şimşek	Nevit Kodallı
Atilla Sağlam	Hilmi Seyrek	Nezir Şener
Ayça Nur Kip Akyol	İ. Hakkı Sunat	Osman Zeki Üngör
Aydın İlik	İbrahim Hakkı Korhan	Ömer Faruk Yurtoğlu
Aydın Karlıbel	İlhan Baran	Perihan Önder – Ridder
Aydın Şengül	İlhan Usmanbaş	Safa Tangör
Aytekin Albuz	İlyas Kara	Saip Egüz
Banu Kanıbelli	İsa Coşkuner	Salih Akkaş
Barış Manço	İsmail Dede	Salih Aydoğan
Bedri Akalın	İsmail Dede Efendi	Sayram Akdil
Besim Akkuş	İsmail Göğüş	Sefai Acay
Burhan Hüseyin	İsmail Zühtü	Selahattin İçli
Cahit Aksoy	İstemihan Taviloğlu	Selçuk Bilgin
Can Aksel Akın	İzettin Hümayi Elçioğlu	Selçuk Yıldırım
Cansevil Tebiş	Kadir Karkın	Server Acim
Cemal Reşit Rey	Kamil Bülent Birol	Süheyla Uysal
Cenan Akın	Kazım Karabekir Paşa	Süleyman Tarman
Cevat Memduh Altar	Kemal Eroğlu	Şentürk Deveci
Cinuçen Tanrkorur	Kemal İlerici	Şerif Yüzbaşıoğlu
Çetin Işıközlü	Kemal Özen	Şinasi Aydın
Erdoğan Çaplı	Kemal Sünder	Şinasi Özel
Eduard Zuckmayer	Leyla Deliorman	Taner Ergin
Ekrem Zeki Ün	Leyla Saz	Veli Kanık
Erdoğan Berker	Mehmet Sadi	Taner Solukçu
Erdoğan Okyay	Mahir Dinçer	Veysel Arseven
Erol Büyükburç	Mahmur Oğul	Yakup Kıvrak
Erol Sayan	Makbule Dönmez	Yalçın Tura
Ertuğ Korkmaz	Mehmet Ali Feridun	Yavuz Durak
Etem Üngör	Mehmet Hulusi Öktem	Yekta Madran
Faik Canselen	Mehmet Özbek	Yücel Aşan
Fatma Ayparlar	Mehmet Nemutlu	Yücel Elmas
Ferit Hilmi Atrek	Mehmet Zati Arca	Yüksel Koptagel
Fethi Karamanoğlu	Meliha Doğuduyal	Z. Ümit Özbakır
Fuad Koray	Meltem Çam	Ziya Aydıntan
Gökçe Ergin	Mete Sakpınar	
Gültekin Çeki	Metin Tufan	
Gürsan Saraç	Muammer Sun	
Halil Bedi Yönetken	Muhlis Sabattin Ezgi	

Bu isimlere; Zeki Çubuk, Tahsin Kılıç, Uğur Türkmen, Ahmet Serkan Ece, Kadir Karkın, İbrahim Selman Coşkun, Deniz Göktaş, Veysel Arseven, Adnan Atalay, Hasan Bozkurt, Güneş Apaydın, Mehmet Efe, Nurhan Cangal, Hasan Hüseyin Yılmaz gibi daha birçok isim eklenebilir. Özellikle çalgı eğitiminde oldukça üretken olan Hasan Hüseyin Yılmaz gibi eğitim müziği bestecilerimizin üretkenliği oldukça dikkate değerdir.

1.5. Afyonkarahisar Amatör Çalgıcılar Festivali

Festival eğitimci Uğur Türkmen tarafından 2007 yılında 14 öğrencinin katılımıyla başlamıştır. Beşinci yıldan sonra ise ülkemizin dört bir yanından müzisyenlerin katılımıyla ulusal bir özellik taşımıştır.

Yapılan çalışmalar göstermiştir ki; 28 farklı ilden yaklaşık 4000 amatör müzisyen sahne almıştır. İçlerinden kaçının profesyonel müzik eğitimine geçtiği ise ayrı bir araştırma konusudur.

Festival kitapçığında şu bilgilere yer verilmiş.

Müzik eğitimi, bir ülkenin kültürel ve sanatsal gelişiminin temel yapı taşlarından biridir. Bireyin estetik algısının gelişmesinde, yaratıcılığının desteklenmesinde ve toplumsal aidiyet

duygusunun güçlenmesinde önemli bir rol üstlenir. Genel müzik eğitimi ile başlayan bu süreç, amatör müzik eğitimiyle derinleşmekte; amatör müzik eğitimi ise profesyonel müzik eğitimine giden yolda önemli bir basamak oluşturmaktadır. Afyon Kocatepe Üniversitesi olarak, müzik eğitiminin bu bütüncül yapısını desteklemek amacıyla düzenlediğimiz etkinliklerle farklı yaş ve düzeylerden bireyleri sanatla buluşturmayı hedeflemekteyiz. Bu kapsamda, Çocuk Koroları Şenliği ile genel müzik eğitimine katkı sağlarken, Amatör Çalgıcılar Festivali ile amatör müzik eğitimini teşvik etmekte ve amatör çalgıcıların emeklerini, gelişim süreçlerini ve sanatsal üretimlerini sahneye taşıyabilecekleri nitelikli bir platform sunmaktayız. Bu yıl on dokuzuncusu gerçekleştirilen Amatör Çalgıcılar Festivali, farklı yaş gruplarından çalgı eğitimi alan bireyleri bir araya getirerek, paylaşım, etkileşim ve birlikte öğrenme ortamı oluşturmayı amaçlamaktadır. Katılımcılar, birbirlerini izleyerek yeni kazanımlar elde etme, sahne deneyimi yaşama ve müzik yoluyla kendilerini ifade etme fırsatı bulmaktadır. Festival, yalnızca bireysel gelişimi desteklemekle kalmayıp, aynı zamanda toplumsal birlik ve beraberlik duygusunu pekiştiren önemli bir kültürel buluşma alanı olma özelliği taşımaktadır. Toplum olmanın temel unsurlarından biri olan birlikte üretme, paylaşma ve birbirinin başarısını takdir etme kültürü, bu festival aracılığıyla somut bir biçimde deneyimlenmektedir. Katılımcılar arasında kurulan bu bağlar, müziğin birleştirici gücünü bir kez daha gözler önüne sermektedir. Bu yıl festivalimizde 599 bireysel veya duo, 1 trio ve 1 quartet olmak üzere toplam 615 katılımcı sahnede performans sergilemektedir. Afyonkarahisar başta olmak üzere Ankara, Burdur, Bursa, Denizli, Eskişehir, Isparta, İzmir, Kütahya, Manisa ve Uşak illerinden; ayrıca Afyonkarahisar'ın Bolvadin, Çay, Dinar, Emirdağ, Hocalar, Sandıklı ve Şuhut ilçelerinden
çok sayıda amatör müzisyenin katılım göstermesi, festivalimizin ulaştığı yaygın etkiyi ve önemini açıkça ortaya koymaktadır. Amatör müzik eğitiminin gelişimine katkı sunan, katılımcıların sanatsal yolculuklarında unutulmaz bir deneyim yaşamalarına olanak sağlayan bu değerli organizasyonda emeği geçen tüm kişi ve kurumlara teşekkür eder; festivalimizin müziğin birleştirici gücüyle daha nice yıllar devam etmesini temenni ederiz. Festival Düzenleme Kurulu (2026)

2. ÇALIŞMADA METODOLOJİ

Nitel ve betimsel çalışmanın evreni 19. Afyonkarahisar Amatör Çalgıcılar Festivali olarak belirlenmiştir. Araştırmanın kapsamına sadece eğitim müziği bestecileri alınmıştır. Çeliktaş (2014) tarafından yapılan yüksek lisans tezinde belirtilen eğitim müziği bestecileri çalışmaya önemli bir kaynaklık etmiştir.

3. BULGULAR VE YORUM

525 Katılımcının 354 (%67)'ü kadın, 171'i (%33) erkektir. Araştırmacı tarafından yapılan ve festivalin 2016-2020 yılları arasındaki beş yılının değerlendirildiği çalışmada da benzer bir veri karşımıza çıkmaktadır. Bu yıllar arasında 462 erkek (%35,6) ve 835 (%64,4) kadın katılımcının olması dikkat çekicidir. Yıllar içerinde oran değişmemiştir (Türkmen ve Baş, 2021: 90).

Katılımcıların daha çok; piyano, keman, bağlama, gitar, bateri, ukelele, flüt, ney çalgılarında sahne olması birtakım soruları da beraberinde getirmektedir. Katılımcıların %80,3'ünün piyano çalması ise oldukça dikkat çekicidir. Özellikle Türk müziği çalgıları neden yoktur? Yine çocuk ve gençlik orkestraları için oldukça önem arz eden viyola ve çello çalgıları, klarinet gibi üflemeli çalgılar neden ülke genelinde yaygınlaşamamıştır?

Klasik müzik en çok icra edilen müzikler arasındadır. 140 sayısı az değildir.

Etütlerin 4, çocuk şarkılarının 50, popüler müziğin 125, marşların 5, film müziklerinin 4, Türk halk müziği eserlerinin 37, Türk sanat müziği eserlerinin ise seslendirilme sayısı 9'dur. Geleneksel müziklerimize ilginin olması, farklı çalgılarla bu müziklerin seslendirilmesi, amatör müzisyenlerin bir önyargılarının olmaması önemlidir.

Katılımcılar 6 ve 49 yaş aralığındadırlar. Bu veri, bu müzik türünün en önemli özelliklerinden biridir. Yaşam boyu eğitim açısında da amatör müzik eğitimin rolünü açıklayabilir.

151 eğitim müziği eserinin çalınması ise oldukça dikkat çekicidir. Bu eğitimi verenlerin bilinçli olarak eser seçtiklerinin önemli bir göstergesidir.

Tablo 2. Eğitim müziği icra edenlerin yaşlarına göre dağılımları

6	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**	**18**	**19**	**24**	**45**	**49**	**T**
12	17	32	24	25	17	10	10	-	1	1	1	1	-	-	-	-	151

Tablo 3. Eğitim müziği icra edenlerin yaşları

Müzik Türü	**6-8**	**9-11**	**12-14**	**15+**	**Toplam**
Eğitim müziği	55	70	20	6	151

Verilere bakıldığında, yaş ilerledikçe ilginin azaldığı söylenebilir.

Eğitim müziği icra edenlerin çalgı dağılımlarına bakıldığında yine piyano en çok tercih edilen çalgı olarak görülür.

Tablo 4. Çalgılara göre eğitim müziği seslendiren katılımcı sayıları

Müzik Türü	**Piyano**	**Keman**	**Bağlama**	**Gitar**	**Diğer**	**Toplam**
Eğitim müziği	138	5	4	2	2	151

Besteciler arasında en dikkat çeken üç isim ise Enver Tufan, Salih Aydoğan, Birol Işıkdemir olmuştur. En çok tercih edilen çalgının piyano olması ve özellikle Enver Tufan ve Birol Işıkdemir'in bu çalgıya yönelik çalışmaları bu verileri beraberinde getirmiştir.

Uğur Türkmen'in eserleri yanında, Filiz Yıldız, Selmin Tufan, Yalçın Tura, E. Zuckmayer gibi yeni isimlerin de yer alması dikkat çekicidir.

4. ÖNERİLER

Festivalin uluslararası olabilmesine yönelik çalışmalar yapılabilir.

Festivalde 28 farklı ilden yaklaşık 4000 amatör müzisyen sahne almıştır. İçlerinden kaçının profesyonel müzik eğitimine geçtiği ise ayrı bir araştırma konusu olarak ele alınmalı. Okulları vb istatistikleri çıkarılmalıdır.

Cinsiyet, yaş, müzik tercihleri, çalgılara göre dağılımlar gibi birçok konu başlığında özgün çalışmalar yapılmalı, diğer festivaller ile karşılaştırmalar yapılmalıdır. Örneğin bölgelere göre bu başlıklarda farklılıklar var mıdır araştırılmalıdır.

20. Festivale özel bir yayın yapılmalı. Detaylı bir tarihçe çıkarılmalıdır.

Türk müziği çalgılarının yaygınlaşabilmesi için konservatuvar eğitimcileri ile birlikte projeler geliştirilmelidir.

Yine çocuk ve gençlik orkestraları için oldukça önem arz eden viyola ve çello çalgıları, klarinet gibi üflemeli çalgıların ülke genelinde yaygınlaşması için çalışmalar yapılmalıdır.

5. KAYNAKÇA

Birkan, Ü. (2004). *İdil Biret: Piyanodaki harika*. Sevda-Cenap And Müzik Vakfı Yayınları.

Çeliktaş, H. (2014). *Bestecilerin görüşleri doğrultusunda Türk eğitim müziğinin değerlendirilmesi* [Yayımlanmamış yüksek lisans tezi]. Uludağ Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü.

Çınar, İ. (2022). *Halk ozanları bağlamında etnoandragoji*. Pegem Akademi Yayınları.

Dönmez, B. M. (2024). *Etnomüzikolojinin temel kavramları*. Bağlam Yayınları.

Onay, E. (2017). *Topraktan sahneye: Anadolu'ya senfonik yolculuk*. Sun Yayınevi.

Say, A. (2008). *Müzik nedir, nasıl bir sanattır?* Evrensel Basım Yayın.

Sun, M. (1969). *Türkiye'nin kültür-müzik-tiyatro sorunları*. Kültür Yayınları.

Türkmen, U., & Baş, M. (2021). Amatör Çalgıcılar Festivali'nin toplumsal cinsiyet açısından incelenmesine yönelik içerik analizi. İçinde *Güncel sosyal bilimler araştırmaları 3* (ss. 79–104). Akademisyen Kitabevi.

Yılmaz Akış, C., & Yazıcı, B. (2024). A. C. Adam'ın *Giselle* balesi: Viyola solo için çalışma önerileri. İçinde G. Erdoğan (Ed.), *Müzik alanında gelişmeler*. Platanus Publishing.

Resim 1. Festival Kitapçığı Kapağı



MARDİN TÜRKÜLERİNDE MÜZİKSEL ÇEŞİTLİLİK VE KÜLTÜREL ETKİLEŞİM

Öğr. Gör. İsmail ERASLAN
Trabzon Üniversitesi, Fatih Eğitim Fakültesi, Güzel Sanatlar Eğitimi Bölümü, Trabzon, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-6316-0189

ÖZET

Bu çalışma, Mardin yöresine ait türkülerde görülen müziksel çeşitliliği ve kültürel etkileşimi etnomüzikolojik ve müzikolojik açıdan incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Mardin'in müzik kültürü, yalnızca yerel ezgilerin toplamı olarak değil; farklı toplumsal çevrelerin, dilsel ifade biçimlerinin, inanç dünyalarının ve icra geleneklerinin karşılaşmasıyla biçimlenen çok katmanlı bir kültürel alan olarak ele alınmıştır. Araştırmada, türkülerin söz ve ezgi yapılarında görülen çeşitliliğin, bölgenin kültürel etkileşim ortamı ve yerel müziksel kimliğin oluşumuyla nasıl ilişkilendiği incelenmiştir. Böylece repertuvarın hem ortaklaşan hem de farklılaşan müziksel özelliklerinin birlikte değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Araştırma, nitel araştırma yaklaşımı doğrultusunda doküman incelemesi ve yorumlayıcı müziksel çözümleme yöntemiyle yürütülmüştür. Mardin yöresine ait ulaşılabilen türküler; söz yapısı, ezgisel kuruluş, ritmik özellikler, makam/dizi ilişkileri, tekrar kalıpları, biçimsel özellikler ve icra bağlamları bakımından incelenmiştir. Etnomüzikolojik çözümlemede türkülerin yerel yaşam, toplumsal ilişkiler, kültürel temas, sözlü aktarım ve icra geleneğiyle bağlantıları değerlendirilirken; müzikolojik çözümlemede ezgi hareketleri, ritmik örgütlenme, biçimsel yapı ve söz-ezgi ilişkisi üzerinde durulmuştur.

Bulgular, Mardin türkülerinde tek tip bir müziksel yapıdan söz edilemeyeceğini; farklı ezgisel yönelimlerin, ritmik kalıpların, anlatım biçimlerinin ve icra pratiklerinin bir arada bulunduğunu göstermiştir. Bu çeşitliliğin, farklı kültürel unsurların basit bir toplamından ziyade, yerel müzik geleneği içinde yeniden biçimlenen özgün bir müziksel kimlik oluşturduğu belirlenmiştir. Ayrıca söz, ezgi, ritim ve icra arasındaki ilişkinin, toplumsal deneyimlerin ve yerel duyarlılıkların müzik yoluyla aktarılmasında belirleyici olduğu görülmüştür. Sonuç olarak Mardin türkülerinin, kültürel etkileşim ile yerel müziksel kimliğin oluşumunu birlikte yansıtan çok katmanlı bir repertuvar niteliği taşıdığı değerlendirilmiştir. Çalışmanın, Mardin müzik kültürünün disiplinler arası yaklaşımlarla incelenmesine ve farklı yöre repertuvarlarının karşılaştırmalı olarak ele alınmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Mardin Türküleri, Etnomüzikoloji, Müzikoloji, Müziksel Çeşitlilik, Kültürel Etkileşim

MUSICAL DIVERSITY AND CULTURAL INTERACTION IN MARDIN FOLK SONGS

ABSTRACT

This study was conducted to examine the musical diversity and cultural interaction reflected in folk songs from the Mardin region from ethnomusicological and musicological perspectives. Mardin's musical culture was approached not merely as a collection of local melodies, but as a multilayered cultural field shaped through the encounter of different social environments, linguistic forms of expression, belief systems, and performance traditions. The study investigated how the diversity observed in the lyrical and melodic structures of the folk songs relates to the region's environment of cultural interaction and to the formation of local musical identity. In this way, both the shared and differentiated musical characteristics of the repertoire were evaluated together.

The research was carried out within the framework of a qualitative research approach using document analysis and interpretive musical analysis. Accessible folk songs from the Mardin region were examined in terms of lyrical structure, melodic organization, rhythmic characteristics, modal and scalar relationships, repetitive patterns, formal features, and performance contexts. In the ethnomusicological analysis, the relationships of the folk songs with local life, social relations, cultural contact, oral transmission, and performance traditions were evaluated, while the musicological analysis focused on melodic movement, rhythmic organization, formal structure, and the relationship between words and melody.

The findings revealed that Mardin folk songs do not display a single uniform musical structure; rather, they incorporate diverse melodic tendencies, rhythmic patterns, modes of expression, and performance practices. This diversity was found to constitute a distinctive musical identity reshaped within the local musical tradition rather than representing a simple combination of different cultural elements. In addition, the relationship among lyrics, melody, rhythm, and performance was identified as a significant factor in transmitting social experiences and local sensibilities through music. In conclusion, Mardin folk songs were evaluated as a multilayered repertoire that simultaneously reflects cultural interaction and the formation of local musical identity. The study is expected to contribute to the interdisciplinary examination of Mardin's musical culture and to comparative research on regional folk song repertoires.

Keywords: Mardin Folk Songs, Ethnomusicology, Musicology, Musical Diversity, Cultural Interaction

1. GİRİŞ

Türküler, yalnızca birer müzik ürünü olmanın ötesinde, toplumların tarihsel deneyimlerini, kolektif hafızalarını, gündelik yaşam pratiklerini ve kültürel değerlerini kuşaktan kuşağa aktaran sözlü kültür ürünleridir. Söz, ezgi, ritim ve icra unsurlarının bütünleşmesiyle oluşan bu repertuvarlar, ait oldukları toplumun estetik anlayışını olduğu kadar sosyal yapısını, kimlik algısını ve kültürel sürekliliğini de yansıtır. Bu nedenle bir yörenin türkü repertuvarı, yalnızca müziksel özellikleri bakımından değil; üretildiği toplumsal çevre, icra bağlamı ve kültürel işlevleri dikkate alınarak değerlendirilmelidir. Etnomüzikoloji disiplini, müziğin yalnızca ses örgütlenmesi olarak değil, kültürel yaşamın ayrılmaz bir bileşeni olarak ele alınması gerektiğini vurgulamaktadır (Merriam, 1964; Nettl, 2005). Benzer biçimde kültürel müzikoloji yaklaşımı da müziksel yapıların tarihsel, toplumsal ve kültürel süreçlerden bağımsız değerlendirilemeyeceğini ortaya koymaktadır (Kaplan, 2005).

Türkiye'nin tarih boyunca farklı medeniyetlerin kesişme noktalarından biri olan Mardin, sahip olduğu çok katmanlı kültürel yapısıyla müzik araştırmaları açısından dikkat çekici bir örnek oluşturmaktadır. Farklı etnik kökenlere, dillere ve inanç geleneklerine ev sahipliği yapan kent, bu çeşitliliği müzik kültürüne de yansıtmıştır. Arap, Kürt, Türk ve Süryani topluluklarının yanı sıra tarihsel süreç içerisinde Ermeni kilise müziği, Osmanlı-Türk müzik geleneği ve yakın dönem popüler müzik pratikleri de bölgenin işitsel hafızasının şekillenmesinde etkili olmuştur (Mak, 2017; Mak & Kurtişoğlu, 2018; Yücesoy et al., 2023). Bu yönüyle Mardin türküleri, farklı kültürel çevrelerin izlerini aynı repertuvar içerisinde taşıyan özgün bir müziksel yapı sunmaktadır.

Mardin türkülerindeki çeşitlilik yalnızca farklı dillerde söylenen eserlerle sınırlı değildir. Repertuvar; ezgisel kuruluş, makam veya dizi anlayışı, ritmik örgütlenme, biçimsel özellikler, çalgı tercihleri ve icra tavırları bakımından da dikkate değer bir çeşitlilik göstermektedir. Özellikle yerel müzisyenlerin kullandığı makam adlandırmalarının klasik Türk müziği kuramındaki tanımlarla her zaman birebir örtüşmemesi, bölgede kuramsal bilgilerin yerel icra deneyimi içerisinde yeniden yorumlandığını göstermektedir (Mak & Kurtişoğlu, 2018). Bu durum, Mardin müzik kültürünün dışarıdan aktarılan müziksel unsurları olduğu gibi benimsemek yerine, kendi kültürel bağlamı içinde dönüştürerek özgün bir ifade biçimi geliştirdiğini ortaya koymaktadır.

Diğer taraftan Mardin repertuvarında aynı eserin farklı dilsel ve kültürel çevrelerde yeniden yorumlanabilmesi, müziğin kültürel etkileşim süreçlerindeki dönüştürücü rolünü açık biçimde göstermektedir. "Sabiha" türküsünün farklı dil ve icra gelenekleri içerisindeki

varyantları, söz, çalgı ve yorum anlayışındaki değişimlerin aynı müziksel çekirdeğe farklı anlam katmanları kazandırabildiğini ortaya koymaktadır (Fidan & Mungan, 2023). Bu örnek, kültürel etkileşimin yalnızca farklı kültürlerin yan yana bulunmasından ibaret olmadığını; müziksel üretim ve yeniden üretim süreçleri aracılığıyla sürekli devam eden dinamik bir dönüşüm mekanizması olduğunu göstermesi bakımından önem taşımaktadır.

Bu çalışma, Mardin türkülerini müziksel çeşitlilik ve kültürel etkileşim ekseninde bütüncül bir yaklaşımla değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Çalışmada repertuvarın yalnızca farklılıkları tanımlanmakla yetinilmemiş; söz, ezgi, ritim, makam/dizi anlayışı, biçim ve icra özelliklerinin yerel müziksel kimliğin oluşumundaki işlevi de tartışılmıştır. Böylece Mardin türkülerinin, farklı kültürel unsurların rastlantısal bir birleşiminden ziyade, tarihsel süreç içerisinde karşılaşma, etkileşim ve yeniden üretim mekanizmalarıyla biçimlenen özgün bir müzik geleneğini temsil ettiği ortaya konulmaya çalışılmıştır.

2. ARAŞTIRMANIN AMACI

Bu araştırmanın temel amacı, Mardin yöresine ait türkü repertuvarında gözlenen müziksel çeşitlilik ile kültürel etkileşim dinamiklerini etnomüzikolojik ve müzikolojik bir bakış açısıyla incelemektir. Bu doğrultuda repertuvarın söz yapısı, ezgisel özellikleri, makam veya dizi anlayışı, ritmik örgütlenmesi, biçimsel yapısı ve icra bağlamları birlikte değerlendirilerek Mardin müzik kültürünün çok katmanlı yapısının ortaya konulması amaçlanmıştır.

Araştırmada ayrıca, farklı dilsel ve kültürel çevrelerde yaşayan toplulukların ortak müziksel mirası nasıl benimsediği, yeniden yorumladığı ve kuşaktan kuşağa aktardığı incelenmiştir. Böylece repertuvarda görülen çeşitliliğin yalnızca farklı kültürel unsurların bir arada bulunmasının sonucu olmadığı; uzun yıllara yayılan karşılaşma, etkileşim, uyarlama ve yeniden üretim süreçlerinin ürünü olduğu değerlendirilmiştir.

Çalışmanın bir diğer amacı ise Mardin türkülerinde gözlenen müziksel çeşitliliğin yerel müziksel kimliğin oluşumundaki rolünü ortaya koymaktır. Bu kapsamda söz, ezgi, ritim ve icra unsurlarının birbirleriyle kurduğu ilişkinin kültürel belleğin korunması ve yerel kimliğin sürdürülebilirliği açısından taşıdığı önem açıklanmaya çalışılmıştır. Araştırmanın, Mardin müzik kültürüne ilişkin literatüre disiplinler arası bir değerlendirme sunarak ileride gerçekleştirilecek karşılaştırmalı bölgesel müzik araştırmalarına katkı sağlaması hedeflenmektedir.

3. YÖNTEM

Bu araştırma, nitel araştırma yaklaşımı çerçevesinde doküman incelemesi ve yorumlayıcı müziksel çözümleme yöntemleri kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışmada doğrudan saha araştırması yapılmamış; Mardin müzik kültürü ve Mardin türküleri üzerine yayımlanmış bilimsel çalışmalar, lisansüstü tezler, repertuvar incelemeleri ve erişilebilir müziksel veriler araştırmanın temel veri kaynaklarını oluşturmuştur.

Dokümanların seçiminde amaçlı örnekleme yöntemi benimsenmiştir. Araştırmanın problemine doğrudan katkı sağlayan; Mardin türkülerinin dilsel yapısı, ezgisel özellikleri, ritmik örgütlenmesi, makam veya dizi anlayışı, biçimsel özellikleri ve icra bağlamlarına ilişkin veri sunan çalışmalar değerlendirmeye alınmıştır. Bu kapsamda özellikle Mak (2017), Mak ve Kurtişoğlu (2018), Fidan ve Mungan (2023) ile Yücesoy, Şen ve Şen'in (2023) çalışmaları araştırmanın temel kuramsal ve analitik dayanaklarını oluşturmuştur.

Müzikolojik çözümlemelerde repertuvara ilişkin yayımlanmış nota örnekleri, ezgisel tanımlamalar ve biçimsel değerlendirmeler incelenmiş; ezgi hareketleri, ritmik yapı, makam veya dizi adlandırmaları, söz-ezgi ilişkisi ve çalgısal özellikler birlikte değerlendirilmiştir. Etnomüzikolojik çözümlemelerde ise türkülerin üretildiği ve yaşatıldığı kültürel çevreler dikkate alınarak dil, toplumsal yapı, gündelik yaşam, düğün ve eğlence pratikleri, dinî ortamlar, sözlü aktarım geleneği ve kültürel temas süreçleri üzerinde durulmuştur.

Verilerin değerlendirilmesinde betimsel analiz ile yorumlayıcı çözümleme birlikte kullanılmıştır. Öncelikle literatürde yer alan bilgiler sistematik biçimde sınıflandırılmış, ardından bu bulgular müziksel çeşitlilik ve kültürel etkileşim kavramları çerçevesinde karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır. Böylece Mardin türkü repertuvarında gözlenen ortaklıklar, farklılıklar ve bunların yerel müziksel kimliğin oluşumuna katkıları bütüncül bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir.

Araştırmanın en önemli sınırlılığı, doğrudan alan araştırmasına dayanmamasıdır. Bu nedenle ulaşılan sonuçlar, Mardin'deki tüm müzik pratiklerini kapsayan kesin genellemeler olarak değil; erişilebilir bilimsel literatür ve yayımlanmış repertuvar verileri temelinde geliştirilen analitik değerlendirmeler olarak ele alınmalıdır. Bununla birlikte farklı araştırmalardan elde edilen bulguların karşılaştırmalı biçimde değerlendirilmesi, çalışmanın kuramsal tutarlılığını ve yorum gücünü destekleyen önemli bir unsur olarak görülmektedir.

4. BULGULAR

4.1. Mardin Türkülerinde Kültürel ve Müziksel Katmanlar

Araştırma kapsamında incelenen literatür ve repertuvar örnekleri, Mardin türkülerinin tek bir kültürel çevre veya müzik geleneğiyle açıklanamayacak ölçüde çok katmanlı bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Bölgenin tarihsel süreç boyunca farklı etnik, dilsel ve dinî toplulukların birlikte yaşadığı bir kültür coğrafyası olması, müzik repertuvarına da doğrudan yansımıştır. Bu nedenle Mardin türkülerinde gözlenen çeşitlilik, yalnızca farklı topluluklara ait müziklerin aynı coğrafyada bulunmasından ibaret değildir; aksine uzun yıllara yayılan karşılıklı etkileşimlerin, ortak yaşam deneyimlerinin ve kültürel paylaşımın sonucunda oluşan dinamik bir müziksel yapıyı temsil etmektedir.

Yücesoy, Şen ve Şen'in (2023) saha araştırmaları ile Mak (2017) ve Mak ve Kurtişoğlu'nun (2018) değerlendirmeleri birlikte ele alındığında, Mardin müzik kültürünün Arap, Kürt, Türk ve Süryani geleneklerinin yanı sıra tarihsel süreç içerisinde Osmanlı-Türk müziği, Ermeni kilise müziği ve farklı bölgesel müzik anlayışlarıyla da etkileşim içinde geliştiği görülmektedir. Bu durum repertuvarda yalnızca dilsel çeşitlilik olarak değil; ezgisel yapı, ritmik karakter, icra tavrı ve çalgı tercihleri bakımından da belirgin farklılaşmaların ortaya çıkmasına neden olmuştur.

Bununla birlikte araştırmanın ortaya koyduğu önemli bulgulardan biri, bu çeşitliliğin repertuvarı parçalı bir yapıya dönüştürmemesidir. Farklı kültürel kaynaklardan beslenen müziksel unsurlar, yerel icra geleneği içerisinde yeniden yorumlanarak ortak bir Mardin müzik kimliği oluşturmuştur. Dolayısıyla çeşitlilik, birbirinden bağımsız repertuvarların yan yana bulunmasını değil; ortak bir kültürel hafıza içerisinde yeniden şekillenen müziksel üretim süreçlerini ifade etmektedir.

Dilsel varyantların varlığı da bu süreci destekleyen önemli göstergelerden biridir. Aynı ezginin Türkçe, Arapça, Kürtçe veya Süryanice sözlerle seslendirilebilmesi, repertuvarın farklı topluluklar tarafından benimsenerek yeniden üretildiğini göstermektedir. Böylece türküler yalnızca belirli bir topluluğun kültürel mirası olmaktan çıkmakta; farklı kimliklerin ortaklaşa anlam ürettiği dinamik bir kültürel paylaşım alanına dönüşmektedir.

Bu bulgular, Mardin müzik kültürünün en belirgin özelliğinin kültürel çoğulluk ile müziksel bütünlüğü aynı repertuvar içerisinde bir araya getirebilmesi olduğunu göstermektedir. Başka bir ifadeyle Mardin türküleri, farklı kültürlerin izlerini korurken aynı zamanda bu farklılıkları yerel müzik pratiği içerisinde bütünleştiren özgün bir müziksel kimlik üretmektedir.

Tablo 1. *Mardin türkülerinde belirlenen başlıca kültürel ve müziksel katmanlar.*

Katman	Repertuvardaki Görünüm	Müzikolojik / Etnomüzikolojik Anlam
Dilsel çeşitlilik	Türkçe, Arapça, Kürtçe ve Süryanice icralar; çok dilli varyantlar	Aynı müziksel malzemenin farklı topluluklarda yeniden anlamlandırılması
Ezgisel-makamsal çeşitlilik	Yerel kullanımda rast, hüseyni, uşşak, hicaz, saba, segâh, muhayyer, bayati gibi adlandırmalar	Kuramsal makam bilgisinin yerel icra pratiğiyle yeniden işlenmesi
Biçimsel çeşitlilik	Kırık hava, uzun hava ve oyun havası örnekleri	Farklı anlatım ve işlev biçimlerinin aynı yöre repertuvarında birlikte bulunması
İcra çeşitliliği	Ud, keman, cümbüş, ritim sazları, rebap ve farklı vokal tavırlar	Çalgı ve tavrın kültürel çevreye göre değişmesi
Toplumsal bağlam	Düğün, eğlence, gündelik yaşam, dinî ve toplu icra ortamları	Müziğin kimlik, aidiyet, paylaşım ve kültürel aktarım işlevi

4.2. Ezgisel ve Makamsal Çeşitlilik

Mardin türkü repertuvarında gözlenen müziksel çeşitliliğin en belirgin göstergelerinden biri, ezgisel yapı ile makamsal anlayışın yerel icra pratiği içerisinde kazandığı özgün niteliktir. İncelenen kaynaklar, repertuvarda rast, hüseyni, uşşak, hicaz, saba, segâh, muhayyer ve bayati gibi makam adlarının yaygın olarak kullanıldığını ortaya koymaktadır. Ancak bu adlandırmaların klasik Türk müziği kuramında tanımlanan makam sistemini birebir yansıtmadığı; yerel müzisyenler tarafından çoğu zaman karar sesi, ses alanı, ezgisel yönelim veya icra alışkanlığını ifade eden pratik kavramlar olarak kullanıldığı anlaşılmaktadır (Mak & Kurtişoğlu, 2018).

Bu bulgu, Mardin müzik kültürünün kuramsal bilgiyi pasif biçimde aktaran bir yapıdan ziyade, uygulama temelli bir müzik bilgisi üreten yerel bir gelenek geliştirdiğini göstermektedir. Başka bir ifadeyle, makam adları yalnızca teorik sınıflandırmalar değil; icracıların müziksel hafızasını, repertuvar bilgisini ve performans pratiğini düzenleyen işlevsel referans noktalarıdır. Böylece kuramsal kavramlar, yerel kültür içerisinde yeniden anlamlandırılarak yaşayan bir müzik bilgisinin parçası hâline gelmektedir.

Repertuvarda görülen biçimsel çeşitlilik de bu yaklaşımı desteklemektedir. Yücesoy ve arkadaşlarının (2023) aktardığı örneklerde **"Aşka Düştüm Yeni"**, **"Bahar Geldi Gül Açtı"**, **"Bir Tel Çektim Mardin'den (Sabiha)"**, **"Ey Gülcü Güllerin Satan"**, **"Kirpiklerin Ok mudur"**, **"Şu Gelen Kimin Gülü (Şevko)"** ve **"Yola Çıktım Mardin'e"** kırık hava karakteri taşırken; **"Ağla Sen Gözlerim (Mardin Divanı)"** uzun hava geleneğini, **"Reyhani"** ise oyun havası geleneğini temsil etmektedir. Bu çeşitlilik, Mardin repertuvarının belirli bir müziksel kalıpla sınırlandırılamayacağını; farklı anlatım biçimlerinin aynı kültürel çevrede birlikte yaşayabildiğini göstermektedir.

Araştırmanın dikkat çekici sonuçlarından biri de ezgisel çeşitlilik ile kültürel çeşitlilik arasındaki ilişkinin karşılıklı bir etkileşim içinde olmasıdır. Farklı toplulukların aynı ezgiyi kendi dilsel ve estetik anlayışlarına göre yorumlaması, zaman içerisinde repertuvarda yeni varyantların oluşmasına zemin hazırlamıştır. Böylece ezgi yalnızca müziksel bir yapı olarak değil, kültürel aktarımın ve toplumsal belleğin taşıyıcısı olarak da işlev görmektedir.

Sonuç olarak Mardin türkülerinde gözlenen ezgisel ve makamsal çeşitlilik, repertuvardaki farklılıkların rastlantısal bir birikiminden ziyade, tarihsel süreç içerisinde oluşan kültürel etkileşimlerin müziksel yansıması olarak değerlendirilebilir. Bu durum, Mardin müzik kültürünün hem yerel özgünlüğünü koruduğunu hem de farklı müzik gelenekleriyle kurduğu ilişkiler sayesinde dinamik ve sürekli gelişen bir repertuvar niteliği taşıdığını ortaya koymaktadır.

4.3. Ritim, Biçim ve İcra Bağlamında Çeşitlilik

Mardin türkü repertuvarında ritmik yapı, biçimsel özellikler ve icra ortamları birbirini tamamlayan unsurlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Araştırma bulguları, repertuvarda yer alan kırık hava, uzun hava ve oyun havası örneklerinin yalnızca farklı müziksel biçimleri temsil etmediğini; aynı zamanda farklı toplumsal işlevleri yerine getirdiğini göstermektedir. Bu durum, müziğin estetik bir ifade aracı olmasının yanında sosyal yaşamın düzenlenmesinde ve kültürel belleğin aktarılmasında da önemli bir rol üstlendiğini ortaya koymaktadır.

Kırık hava karakterindeki eserlerde düzenli ölçü yapısı ve belirgin ritmik tekrarlar dikkat çekmektedir. Bu özellikler, eserlerin toplu icra, eşlik ve dans gibi etkinliklerde kolaylıkla kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Buna karşılık uzun hava geleneğinde serbest ritmik yapı ve genişleyen ezgisel ifade alanı ön plana çıkmakta; bireysel duygu aktarımı ve sözün anlam dünyası daha belirleyici hâle gelmektedir. Oyun havalarında ise ritim, yalnızca müziğin iç düzenini oluşturan bir unsur değil; aynı zamanda bedensel hareketi yönlendiren ve toplumsal birlikteliği güçlendiren temel bir yapı olarak işlev görmektedir.

Bu farklı biçimlerin aynı repertuvar içerisinde birlikte bulunması, Mardin müzik kültürünün tek tip bir anlatım anlayışına dayanmadığını göstermektedir. Aksine repertuvar, farklı sosyal ortamların ve kültürel ihtiyaçların oluşturduğu çok yönlü bir müzik pratiğini yansıtmaktadır. Böylece ritim ve biçim, yalnızca teknik müzik unsurları olarak değil; müziğin hangi ortamda, hangi amaçla ve kimler tarafından icra edildiğini belirleyen kültürel göstergeler olarak değerlendirilebilir.

Bu bağlamda **Reyhani**, Mardin müzik kültüründe ritim, dans ve toplumsal etkileşimin birlikte anlam kazandığı en önemli örneklerden biridir. Altun ve Akyüz-Öztokmak'ın (2019)

çalışması, Reyhani'nin yalnızca bir oyun havası olmadığını; müzik ile beden hareketinin bütünleştiği özgün bir performans geleneğini temsil ettiğini göstermektedir. Yücesoy ve arkadaşlarının (2023) bulguları da bu değerlendirmeyi desteklemekte; Reyhani'nin farklı topluluklar tarafından ortak kültürel miras olarak benimsendiğini ortaya koymaktadır. Bu durum, müziksel biçimlerin kültürel sınırları aşarak ortak yerel kimliğin oluşumunda etkin rol oynayabildiğini göstermesi bakımından dikkat çekicidir.

İcra bağlamları da repertuvarın anlaşılmasında belirleyici bir unsur olarak öne çıkmaktadır. Düğünler, kına geceleri, aile toplantıları, geleneksel eğlence ortamları, dinî törenler ve gündelik yaşam pratikleri, Mardin türkülerinin üretildiği ve yaşatıldığı temel performans alanlarını oluşturmaktadır (Yücesoy et al., 2023). Aynı ezginin farklı bağlamlarda tempo, çalgı, söz dizimi veya icra tavrı bakımından değişebilmesi, repertuvarın durağan değil; yaşayan ve sürekli yeniden üretilen bir kültürel yapı olduğunu göstermektedir.

Bu bulgular doğrultusunda ritim, biçim ve icra özelliklerinin birbirinden bağımsız değerlendirilmesi mümkün değildir. Mardin türkülerinde müziksel yapı ile toplumsal bağlam karşılıklı olarak birbirini şekillendirmekte; repertuvarın sürekliliği de bu dinamik etkileşim sayesinde korunmaktadır. Dolayısıyla ritmik ve biçimsel çeşitlilik, yalnızca estetik farklılıkları değil, aynı zamanda Mardin'in kültürel yaşam biçiminin müzik üzerindeki yansımalarını da görünür kılmaktadır.

4.4. Kültürel Etkileşimin Temsilî Örnekleri

Araştırma kapsamında incelenen repertuvar örnekleri, Mardin türkülerinde kültürel etkileşimin yalnızca kuramsal bir kavram olmadığını; eserlerin söz, ezgi, çalgılama ve icra özelliklerinde somut olarak gözlemlenebildiğini ortaya koymaktadır. Aynı müziksel çekirdeğin farklı topluluklar tarafından yeniden yorumlanması, repertuvarın sürekli gelişen ve yaşayan bir kültürel yapı olduğunu göstermektedir. Bu durum, Mardin müzik kültürünün tarihsel süreç içerisinde farklı toplulukların ortak üretim ve paylaşım alanına dönüştüğünü düşündürmektedir.

Bu bağlamda **"Sabiha (Bir Tel Çektim Mardin'den)"** türküsü, kültürel etkileşimin en dikkat çekici örneklerinden biridir. Fidan ve Mungan'ın (2023) belirttiği üzere eserin Türkçe, Arapça ve Kürtçe başta olmak üzere farklı dilsel varyantlarının bulunması, yalnızca söz düzeyinde bir değişim değil; aynı zamanda farklı icra anlayışlarının gelişmesine de olanak sağlamaktadır. Kürtçe yorumlarda rebab gibi yerel çalgılar ön plana çıkarken, Arapça ve Süryanice icralarda ud, keman, cümbüş ve çeşitli ritim sazlarının daha belirgin kullanıldığı

görülmektedir. Bu farklılıklar, aynı melodik yapının farklı kültürel çevrelerde yeni estetik anlamlar kazanabildiğini göstermektedir.

Dolayısıyla **Sabiha**, tek bir kültürel grubun temsilcisi olarak değil; farklı toplulukların ortak belleğinde yeniden şekillenen bir repertuvar örneği olarak değerlendirilebilir. Bu yönüyle eser, kültürel etkileşimin tek yönlü bir etkilenme sürecinden ziyade karşılıklı uyarlama, yeniden üretme ve ortak anlam oluşturma süreçleriyle gerçekleştiğini göstermektedir.

Benzer biçimde **Reyhani**, Mardin müzik kültüründe ortak kimlik duygusunu güçlendiren en önemli performans geleneklerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Reyhani'nin yalnızca işitsel bir repertuvar unsuru olmayıp müzik, dans ve toplumsal katılımın bütünleştiği bir performans pratiği oluşturması, kültürel etkileşimin beden hareketleri ve sosyal ritüeller aracılığıyla da sürdürüldüğünü göstermektedir. Farklı topluluklar tarafından ortak bir yerel değer olarak benimsenmesi, Mardin'in çok kültürlü yapısının müzik aracılığıyla görünür hâle geldiğinin önemli göstergelerinden biridir.

Araştırmada incelenen diğer örnekler de repertuvarın kültürel çeşitliliğini desteklemektedir. **"Ağla Sen Gözlerim (Mardin Divanı)"**, uzun hava geleneği içerisinde bireysel duygu aktarımının güçlü örneklerinden biri olarak öne çıkarken, **"Dırra"** gündelik yaşam, aile ilişkileri ve yerel mutfak kültürüne ilişkin unsurları sözlü anlatı yoluyla müziksel hafızaya taşımaktadır (Fidan & Mungan, 2023). Bu eserler, türkülerin yalnızca estetik ürünler olmadığını; aynı zamanda toplumun yaşam biçimini, değerlerini ve kültürel belleğini belgeleyen sözlü tarih kaynakları olarak da işlev gördüğünü göstermektedir.

Bu bulgular birlikte değerlendirildiğinde, Mardin türkülerindeki kültürel etkileşimin eserler arasında rastlantısal biçimde ortaya çıkan benzerliklerden ibaret olmadığı anlaşılmaktadır. Aksine repertuvar, farklı toplulukların uzun yıllara yayılan ortak yaşam deneyimlerinin müzik yoluyla yeniden üretildiği dinamik bir kültürel alan niteliği taşımaktadır. Bu nedenle Mardin türküleri, kültürel çeşitliliğin korunması kadar farklı kültürel çevreler arasında ortak aidiyet duygusunun gelişmesine de katkı sağlayan önemli bir kültürel miras olarak değerlendirilebilir.

Tablo 2. *Kültürel etkileşim ve müziksel çeşitliliği görünür kılan temsilî Mardin repertuvarı örnekleri.*

Eser / Repertuvar Unsuru	Biçim / İcra Özelliği	Kültürel Etkileşim Boyutu	Analitik Sonuç
Sabiha / Bir Tel Çektim Mardin'den	Çok dilli varyantlar; farklı çalgı ve tavırlar	Dil, topluluk ve icra çevresine göre yeniden biçimlenme	Aynı müziksel çekirdek farklı kültürel anlamlar kazanır.
Reyhani	Oyun havası; müzik-dans birlikteliği	Farklı topluluklarca paylaşılan yerel kültürel unsur	Ortak repertuvar yerel aidiyet üretir.
Ağla Sen Gözlerim / Mardin Divanı	Uzun hava karakteri	Serbest ritmik anlatım ve yoğun vokal ifade	Repertuvarın biçimsel çeşitliliğini gösterir.
Dırra	Arapça sözlü gündelik yaşam anlatısı	Yemek, aile ve toplumsal ilişkilerin türküye taşınması	Müzik gündelik kültürün işitsel belgesine dönüşür.

4.5. Yerel Müziksel Kimliğin Oluşumu

Araştırma bulguları, Mardin türkü repertuvarındaki müziksel çeşitliliğin parçalı veya dağınık bir yapı oluşturmadığını; aksine farklı kültürel katmanların yerel icra geleneği içerisinde yeniden yorumlanmasıyla özgün bir müziksel kimliğin ortaya çıktığını göstermektedir. Bu yönüyle Mardin müzik kültürü, farklı kültürel çevrelerden beslenen unsurların korunmasının ötesinde, bunların ortak bir estetik anlayış ve performans pratiği içerisinde yeniden üretilmesiyle şekillenen dinamik bir kültürel sistem olarak değerlendirilebilir.

Çalışmada incelenen dilsel varyantlar, ezgisel yapı, ritmik özellikler, çalgı tercihleri ve performans biçimleri birlikte değerlendirildiğinde, yerel müziksel kimliğin tek bir kültürel kaynağa dayanmadığı açıkça görülmektedir. Aksine bu kimlik, tarih boyunca aynı coğrafyada yaşayan toplulukların karşılıklı etkileşimleri sonucunda oluşmuş çok katmanlı bir kültürel birikimin ürünüdür. Dolayısıyla Mardin müzik kültürünü tanımlayan temel unsur homojenlik değil; farklılıkların ortak bir müziksel gelenek içerisinde anlamlı bir bütün oluşturabilmesidir.

Araştırmada ulaşılan bulgular, söz, ezgi, ritim ve icra biçimlerinin birbirinden bağımsız değişkenler olarak değerlendirilemeyeceğini de ortaya koymaktadır. Aynı ezginin farklı dillerde seslendirilmesi, farklı çalgılarla icra edilmesi veya farklı toplumsal ortamlarda yeni işlevler kazanması, repertuvarın yaşayan bir kültürel organizma niteliği taşıdığını göstermektedir. Böylece müziksel kimlik, yalnızca bestelenmiş eserlerden değil; bu eserlerin üretildiği, aktarıldığı ve yeniden yorumlandığı kültürel süreçlerden beslenmektedir.

Diğer taraftan teknolojik gelişmeler, göç hareketleri, dijital medya ve değişen sosyal yaşam biçimleri Mardin müzik kültürünün aktarım süreçlerini de önemli ölçüde etkilemektedir (Yücesoy et al., 2023). Geleneksel düğün ortamlarının, oda kültürünün ve usta-çırak ilişkisine dayalı öğrenme süreçlerinin dönüşmesi, repertuvarın icra biçimlerinde yeni eğilimlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte dijital kayıt teknolojileri ve çevrim içi paylaşım platformları, eserlerin daha geniş kitlelere ulaşmasını sağlayarak kültürel mirasın

görünürlüğünü artırmaktadır. Bu nedenle günümüzde temel mesele, gelenek ile modernleşme arasında kesin bir ayrım yapmak değil; yerel müzik kültürünün özgün niteliklerini koruyarak değişen koşullara nasıl uyum sağladığını anlayabilmektir.

Bu bağlamda Mardin türkülerinin korunmasına yönelik çalışmaların yalnızca nota derleme veya ses kayıtlarının arşivlenmesiyle sınırlı kalmaması gerekmektedir. Dilsel varyantların, yerel icra tavırlarının, çalgı kullanımının, performans mekânlarının, repertuvarın toplumsal işlevlerinin ve yerel müzisyenlerin deneyimlerinin birlikte belgelenmesi, kültürel mirasın bütüncül biçimde korunmasına katkı sağlayacaktır. Böyle bir yaklaşım, yalnızca Mardin müzik kültürünün sürdürülebilirliğini desteklemekle kalmayacak; Türkiye'nin farklı yörelerinde görülen müziksel çeşitliliğin karşılaştırmalı olarak incelenmesine de önemli bir kuramsal zemin oluşturacaktır.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırmada Mardin yöresine ait türkü repertuvarı, müziksel çeşitlilik ve kültürel etkileşim ekseninde etnomüzikolojik ve müzikolojik bir bakış açısıyla değerlendirilmiştir. İncelenen literatür ve repertuvar örnekleri, Mardin müzik kültürünün tek bir dil, etnik yapı ya da müzik geleneğiyle açıklanamayacak ölçüde çok katmanlı bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymuştur. Arap, Kürt, Türk ve Süryani kültürel çevrelerinin yanı sıra tarihsel süreç içerisinde Osmanlı-Türk müziği, dinî müzik gelenekleri ve bölgesel performans pratiklerinin de bu repertuvarın oluşumuna katkı sağladığı anlaşılmaktadır.

Araştırmanın bulguları, Mardin türkülerinde gözlenen çeşitliliğin yalnızca repertuvarda bulunan farklı müziksel unsurların bir araya gelmesinden ibaret olmadığını göstermektedir. Aksine söz, ezgi, ritim, biçim, makam veya dizi anlayışı ile icra pratikleri arasındaki etkileşim, yerel müzik kültürü içerisinde yeniden üretilen özgün bir müziksel kimliğin oluşmasına zemin hazırlamaktadır. Bu yönüyle Mardin türküleri, kültürel farklılıkların korunmasının yanında ortak bir müziksel belleğin ve yerel aidiyet duygusunun da taşıyıcısı olarak değerlendirilebilir.

Çalışmada ele alınan **Sabiha**, **Reyhani**, **Mardin Divanı** ve **Dırra** gibi temsilî eserler, aynı müziksel malzemenin farklı topluluklar tarafından farklı icra anlayışlarıyla yeniden yorumlanabildiğini göstermektedir. Bu durum, kültürel etkileşimin tek yönlü bir aktarım süreci olmadığını; karşılıklı paylaşım, uyarlama ve yeniden üretim mekanizmalarıyla gelişen dinamik bir süreç olduğunu ortaya koymaktadır. Dolayısıyla Mardin repertuvarının temel karakteri, farklılıkların korunması ile ortak müziksel kimliğin oluşumunu aynı kültürel yapı içerisinde birlikte sürdürebilmesidir.

Araştırmanın bir diğer önemli sonucu, Mardin müzik kültürünün yalnızca repertuvar üzerinden değil; performans bağlamı, yerel icra tavırları, dilsel varyantlar ve toplumsal işlevleri birlikte ele alındığında daha doğru anlaşılabileceğini göstermesidir. Bu nedenle bölge müziğine ilişkin çalışmaların yalnızca nota veya eser merkezli incelemelerle sınırlı kalmaması; performans ortamları, sözlü aktarım süreçleri, yerel müzisyenlerin deneyimleri ve kültürel bellek unsurlarını da kapsayan bütüncül yaklaşımlarla desteklenmesi önem taşımaktadır.

Bununla birlikte araştırmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. Çalışma, doğrudan alan araştırmasına değil, yayımlanmış bilimsel kaynaklar ve erişilebilir repertuvar verilerinin yorumlanmasına dayanmaktadır. Bu nedenle elde edilen sonuçlar, Mardin'deki tüm müzik pratiklerini temsil eden kesin yargılar olarak değil, mevcut literatür doğrultusunda geliştirilen analitik değerlendirmeler olarak ele alınmalıdır. Gelecekte gerçekleştirilecek saha araştırmaları, farklı kuşaklardan icracılarla yapılacak sözlü tarih çalışmaları ve seçilmiş eserlerin ayrıntılı ezgisel, ritmik ve makamsal analizleri, bu araştırmada ulaşılan bulguların geliştirilmesine önemli katkılar sağlayacaktır.

Sonuç olarak Mardin türküleri, yalnızca bir bölgenin müzik repertuvarını temsil eden eserler topluluğu değil; tarih boyunca farklı toplulukların birlikte ürettiği, dönüştürdüğü ve kuşaktan kuşağa aktardığı ortak bir kültürel hafızanın işitsel yansımalarıdır. Bu yönüyle repertuvarın korunması, belgelenmesi ve bilimsel yöntemlerle incelenmesi yalnızca Mardin'in kültürel mirası açısından değil, Türkiye'nin müzik kültürünün çok katmanlı yapısının anlaşılması bakımından da önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır.

KAYNAKLAR

Akpınar, H., & Aydın, E. (2019). Artuklular'dan günümüze Mardin'de mûsikî kültürü ve mûsikîşinaslar. *Turkish Academic Research Review, 4*(1), 23–34.

Altun, I., & Akyüz-Öztokmak, Ç. (2019). Reyhanî: An authentic combination of music and dance in Mardin. *folklor/edebiyat, 25*(100), 839–848. https://doi.org/10.26650/folklor.2019.100.839

Atay, G. (2021). *İlköğretim öğrencilerinin Mardin türkülerine yönelik görüşleri ve Mardin türkülerinin müzikal analizi* (Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Ondokuz Mayıs Üniversitesi.

Candeğer, Ü. (2022). Türkülerle Mardin. İçinde M. Güçlü (Ed.), *11. Uluslararası Kültür ve Medeniyet Kongresi Tam Metin Bildiri Kitabı* (ss. 428–437).

Çuha, A. (2006). *Mardin halk müziği*. Mardin Valiliği Yayınları.

Fidan, S., & Mungan, H. S. (2023). Çok kültürlü bir kentin geleneksel müziğinde gündelik hayatın izlerini sürmek: Mardin türküleri. *Folklor Akademi Dergisi, 6*(2), 665–684. https://doi.org/10.55666/folklor.1312162

Kaplan, A. (2005). *Kültürel müzikoloji*. Bağlam Yayınları.

Mak, M. (2017). *Müziğin çok kültürlü kodları: Mardin* (Yayımlanmamış doktora tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi.

Mak, M., & Kurtişoğlu, B. O. (2018). Mardin'li koçerler. *MSGSÜ Sosyal Bilimler Dergisi, 2*(18), 327–348.

Merriam, A. P. (1964). *The anthropology of music*. Northwestern University Press.

Nettl, B. (2005). *The study of ethnomusicology: Thirty-one issues and concepts* (2nd ed.). University of Illinois Press.

Yücesoy, M., Şen, Ü. S., & Şen, Y. (2023). Gelenekselden küreselleşmeye Mardin müziğinin dünü ve bugünü. *folklor/edebiyat, 29*(115), 791–812.

KIRMIZIDAN SİYAHA SAGALASSOS ÇÖMLEKÇİLER MAHALLESİ'NDE ENDÜSTRİYEL MİRASIN İZLERİ

Doç. Dr. Serap ÜNAL
Süleyman Demirel University, Faculty of Fine Arts, Isparta
ORCID ID: 0000-0003-2407-1789
Meral UYSALGENÇ
Süleyman Demirel University, Institute of Fine Arts, Isparta
ORCID ID: 0009-0000-8706-5365

ÖZET

Antik Pisidia bölgesinin en önemli merkezlerinden biri olan Sagalassos, Roma İmparatorluk Dönemi'nde Akdeniz dünyasına yayılan önemli bir seramik endüstrisine ev sahipliği yapmıştır. Kentin doğu banliyösünde yer alan yaklaşık 6 hektarlık "Çömlekçiler Mahallesi", sekiz yüzyıla yayılan kesintisiz üretim faaliyetleriyle antik çağın en uzun süreli ve örgütlü sanayi alanlarından biri olarak görülmektedir. Arkeometrik analizler sonucunda, Sagalassos seramiklerinin başarısının arkasında ölçülü, planlı bir hammadde yönetiminin varlığını görmekteyiz. Yemek kapları için yaklaşık 8 km uzaklıktaki Çanaklı Vadisi'nden getirilen detritik göl tortuları kullanılırken; kaba kaplar ve astar hazırlığı için yerel ofiyolitik killer tercih edilmiştir. "Kırmızıdan Siyaha" geçiş, yalnızca görsel bir farklılaşma değil; fırın atmosferinin (redüksiyon pişirimi) titizlikle kontrol edildiği, teknik uzmanlık gerektiren ve metalik parlaklık hedefleyen bir zanaat ustalığını temsil eder. Siyah seramikler, ince cidarlı yapıları ve zarif formlarıyla Roma sofra kültüründe elit bir sınıfın sembolik tüketim nesneleri olarak öne çıkmaktadır.

Çalışmada, Sagalassos'un geleneksel "Kırmızı Astarlı Seramikleri" (SRSW) ile son yıllarda daha ayrıntılı tanımlanan "Siyah Seramikleri" arasındaki teknik, estetik ve sosyo-ekonomik sürekliliği ve dönüşümü ele alınmıştır.

Bildiri kapsamında ayrıca, seri üretimin getirdiği standardizasyonun içinde barınan bireysel doğaçlamalar ve "üretim hataları" (atık yığınları), "üretimin süreçselliği" kavramı üzerinden yeniden değerlendirilmiştir. Sagalassos Çömlekçiler Mahallesi, yalnızca bir üretim merkezi değil; hammadde tedarikinden zanaatkâr birliklerine (schola) kadar uzanan karmaşık bir endüstriyel mirasın yaşayan kanıtıdır.

Anahtar Kelimeler: Sagalassos, Çömlekçiler Mahallesi, Kırmızı Astarlı Seramikler, Siyah Seramik, Arkeometri, Endüstriyel Miras.

FROM RED TO BLACK: TRACES OF INDUSTRIAL HERITAGE IN THE POTTERS' QUARTER OF SAGALASSOS

ABSTRACT

Sagalassos, one of the most prominent centers of ancient Pisidia, hosted a major ceramic industry that expanded across the Mediterranean world during the Roman Imperial Period. The "Potters' Quarter," covering approximately 6 hectares in the eastern suburbs of the city, is regarded as one of the longest-running and most organized industrial zones of antiquity, with continuous production activities spanning eight centuries. Archaeometrical analyses reveal a system of measured and planned raw material management behind the success of Sagalassos ceramics: while detrital lake sediments from the Çanaklı Valley, located approximately 8 km away, were used for tableware; local ophiolitic clays were preferred for common wares and slip preparation.

The transition "From Red to Black" represents more than just a visual differentiation; it signifies technical expertise and craftsmanship aimed at achieving a metallic luster through meticulously controlled kiln atmospheres (reduction firing). With their thin-walled structures and elegant forms, black ceramics stand out as symbolic consumption objects for an elite class within Roman table culture. This study examines the technical, aesthetic, and socio-economic continuity and transformation between the traditional "Sagalassos Red Slip Ware" (SRSW) and the more recently detailed "Black Ceramics".

Furthermore, individual improvisations and "production failures" (waste piles) inherent within the standardization of mass production are re-evaluated through the concept of the "textility of making". The Potters' Quarter of Sagalassos is not merely a production site but living evidence of a complex industrial heritage ranging from raw material procurement to craft associations (schola).

Keywords: Sagalassos, Potters' Quarter, Red Slip Ware (SRSW), Black Ceramics, Archaeometry, Industrial Heritage.

GİRİŞ

Antik Pisidia'nın kalbinde, Batı Toroslar'ın sarp yamaçlarında yer alan Sagalassos, MÖ 333'teki İskender fethinden sonra Helenistik bir karakter kazansa da, asıl küresel ekonomik entegrasyonunu Roma İmparatorluk Dönemi'nde seramik endüstrisiyle sağlamıştır (Waelkens, 1993, s. 37; Degryse ve ark., 2003, s. 257). Kentin bu yükselişi, yalnızca bir yerleşim yeri olmanın ötesinde, bölgesel bir cazibe merkezi ve örgütlü bir üretim üssü haline gelmesiyle doğrudan ilişkilidir. Bölgedeki seramik geleneği, Roma dönemindeki seri üretim aşamasından

çok önce, Geç Helenistik dönemdeki yerel formlar ve tekniklerle şekillenmeye başlamış; bu süreklilik Roma sofra kültürüne eklemlenerek uluslararası bir boyut kazanmıştır (Poblome ve ark., 2002, s. 874; Poblome ve ark., 2013b, s. 193).

Kentin doğu banliyösünde yer alan ve yaklaşık sekiz yüzyıl boyunca kesintisiz faaliyet gösteren "Çömlekçiler Mahallesi", bu endüstrinin yaşayan merkezidir (Ünal, 2005, s. 748). Yaklaşık 10.000 metrekareyi aşan bu alanda tespit edilen atölye yapıları, çift katlı yukarı çekişli fırınlar ve kil hazırlama havuzları, üretimin bireysel ustalardan ziyade lonca benzeri örgütlü birlikler (*schola*) tarafından yürütüldüğünü kanıtlamaktadır (Murphy ve Poblome, 2017, s. 27). Arkeometrik analizler, bu örgütlü yapının arkasında stratejik bir hammadde yönetiminin bulunduğunu; sofra kapları için Çanaklı Vadisi'nden getirilen yüksek kaliteli detritik göl tortuları kullanılırken, yerel ofiyolitik killerin ikincil üretim kalemlerine ayrıldığını göstermiştir (Degryse ve ark., 2003, s. 261-262; Poblome, 2016, s. 381).

Sagalassos seramiklerinin temelini parlak kırmızı astarlı kaplar (SRSW) oluştursa da, son yıllarda yapılan araştırmalar kentin üretim kimliğini genişleten "Siyah Seramiklerin" varlığını ortaya koymuştur (Poblome, 2016, s. 383). Bu kaplar, kırmızı astarlı sofra kaplarıyla aynı kil kaynağından beslenmekle birlikte, fırın atmosferindeki redüksiyon sürecinin (oksijenin azaltılması) titizlikle yönetilmesi ve metalik parlaklık hedefleyen bir astar uygulamasıyla ayrışmaktadır (Murphy, 2017, s. 64). Siyah yüzeyli seramiklerin daha ince cidarlı yapıları ve zarif formları, bu grubun Roma sofra hiyerarşisinde elit bir sınıf için üretilmiş sembolik tüketim nesneleri olduğuna işaret etmektedir.

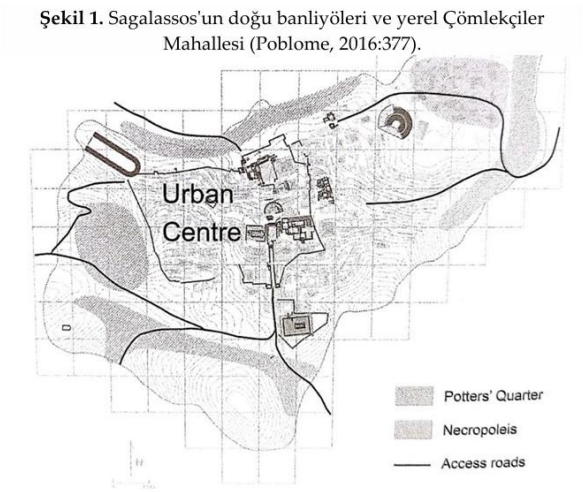
Bu çalışma kapsamında Sagalassos'taki çömlekçilik faaliyeti, yalnızca bir standardizasyon süreci olarak değil; zanaatkârın malzeme ile girdiği dinamik etkileşimi vurgulayan "üretimin örgüselliği" (*textility of making*) kavramı üzerinden ele alınmaktadır (Murphy, 2017, s. 5; Ingold, 2010, s. 92). "Kırmızıdan Siyaha" geçiş, bir zanaat geleneği içindeki teknik ustalığı, bireysel doğaçlamaları ve malzemenin direncine verilen yanıtları temsil etmesi bakımından Sagalassos'un endüstriyel mirasının en somut göstergesidir.

ÇÖMLEKÇİLER MAHALLESİ VE HAMMADDE KULLANIMI

Sagalassos seramik endüstrisinin kalbi, kentin doğu suburbiumunda (mahallesinde) yer alan yaklaşık 6 hektarlık bir alanı kapsayan "Çömlekçiler Mahallesi"dir (Görsel 1,2) (Degryse ve ark., 2003, s. 257). 1987 yılında keşfedilen bu bölge, büyük ölçekte seramik atık yığınları, işlik yapıları ve fırın kalıntılarıyla antik Akdeniz'in en iyi korunmuş ve en uzun süreli üretim alanlarından biri olarak tanımlanmaktadır (Poblome, 2016, s. 377; Degryse ve ark., 2003, s. 255). Mahallenin konumu rastgele seçilmemiş; topografik eğimin sağladığı fırın hava akımı

avantajı ve kentin hemen altındaki yerel kil yataklarına yakınlık bu tercihte belirleyici olmuştur.

Arkeometrik analizler, Sagalassoslu çömlekçilerin karmaşık ve planlı bir hammadde yönetimi stratejisi izlediğini ortaya koymuştur. Kaliteli sofra kaplarının (SRSW) gövdesi için, kentten yaklaşık 8 km uzaklıkta ve 300 metre daha düşük bir rakımda bulunan Çanaklı Vadisi'ndeki detritik göl tortuları (Görsel 3) tercih edilmiştir (Poblome ve ark., 2002, s. 876; Degryse ve ark., 2003, s. 262). Çanaklı kili, klorit ve smektit açısından zengindir ve yerel ofiyolitik killere göre çok daha az temizleme ve hazırlık işlemi gerektiren yüksek plastisiteye sahip bir malzemedir. Öte yandan, kentin hemen yanındaki yerel ofiyolitik killer, sofra kaplarının astar (slip) hazırlığında ve daha kaba olan mutfak kapları ile mimari seramiklerin (tuğla, kiremit) üretiminde kullanılmıştır (Poblome ve ark., 2002, s. 878; Degryse ve ark., 2003, s. 268).



Görsel 1. Sagalassos Çömlekçiler Mahallesi



Görsel 2. Çömlekçiler Mahallesinden Görünüm

Sagalassos seramik endüstrisinin dikkat çekici bir diğer özelliği, üretim sırasında ortaya çıkan hatalı pişmiş kapların (*misfired pottery*) ya da kırık parçaların öğütülerek yeniden kil harcına katılmasıdır. Jeroen Poblome, M. Schlitz ve P. Degryse tarafından yapılan çalışmalar, bu geri dönüşüm faaliyetinin Sagalassos'ta standart bir uygulama haline geldiğini ortaya koymuştur. Arkeometrik analizler, bu şekilde elde edilen ve literatürde "şamot" (grog) olarak adlandırılan pişmiş toprak parçacıklarının, yeni üretilen kapların ve mimari seramiklerin bünyesine eklenerek malzemenin dayanıklılığını önemli ölçüde artırdığını kanıtlamıştır (Poblome, Schlitz ve Degryse, 1998'den aktaran Ünal, 1999-2000, s. 318).



Görsel 3. Çanaklı Vadisi. Kibritovası Kil Yatakları

Bu geri dönüşüm stratejisi yalnızca ekonomik bir tasarruf değil, aynı zamanda teknik bir zorunluluktur. Pişmiş seramik kırıklarının harca katılması, seramiğin nem tutma özelliğini artırmakta ve özellikle suyla doğrudan temas eden yapı malzemelerinin (su boruları, kiremitler) direncini yükseltmektedir. Ayrıca, bu uygulama "üretimin örgüselliği" kavramıyla da örtüşür; zanaatkâr, üretim sürecindeki bir "başarısızlığı" (hatalı pişirim), malzemenin özelliklerini iyileştiren bir "çözüme" dönüştürerek problem çözme ritmini sürdürmektedir

Hammadde seçimindeki bu ayrım, yalnızca teknik bir tercih değil, aynı zamanda ekonomik bir organizasyonun sonucudur. Çanaklı vadisindeki kilin 8 km mesafeden kente taşınması, ciddi bir işgücü ve nakliye maliyeti gerektirmekte, bu da üretimin bireysel çömlekçilerin ötesinde, yerel toprak sahibi elitlerin yatırımlarıyla desteklenen örgütlü bir endüstri olduğunu göstermektedir (Poblome, 2016, s. 382; Degryse ve ark., 2003, s. 279). Mülkiyet durumları göz önüne alındığında, vadinin farklı kısımlarındaki killerin kullanımının arazi sahipliği ve kira sözleşmeleriyle (usufruct) yönetilmiş olabileceği düşünülmektedir (Poblome, 2016, s. 383). Bu stratejik yönetim, Sagalassos seramiklerinin yüzyıllar boyunca fiziksel ve kimyasal standartlarını korumasını sağlamış ve kenti uluslararası bir ihracat merkezine dönüştürmüştür.

TERRA SIGILLATA GELENEĞİ VE SAGALASSOS RED SLIP WARE (SRSW)

Roma İmparatorluk Dönemi sofra kültürünün en belirgin öğesi olan Terra Sigillata, literatürde genellikle parlak kırmızı astarlı ve mühürlü kapları tanımlamak için kullanılsa da, terimin etimolojik ve işlevsel kökeni çok daha eskiye, farmakoloji alanına dayanmaktadır (Ünal, 2024, s. 159). "Mühürlü toprak" anlamına gelen bu ifade, Batı yazınında öncelikle Limni Adası'ndan çıkarılan ve birçok hastalığa şifa olduğuna inanılan "Tıyn-ı Mahtum" (Terra Lemnia) adlı mühürlenmiş toprak tabletleri/ilaçları tanımlamak için kullanılmıştır (Ünal, 2024, s. 161). MÖ 500 yıllarına kadar uzanan bu gelenek, farmakoloji tarihinin ticari değer taşıyan ilk ilaç markası kabul edilmekte ve şifalı toprakların hazırlanma yöntemiyle seramik astar üretim teknikleri arasındaki çarpıcı benzerlik dikkat çekmektedir (Ünal, 2024, s. 162).

Sagalassos'ta üretilen ve literatürde "Kırmızı Astarlı Sagalassos Seramikleri/Sagalassos Red Slip Ware (SRSW)" (Görsel 4) olarak adlandırılan kırmızı astarlı kaplar, bu köklü mühürlü toprak geleneğinin Doğu Akdeniz'deki (Eastern Sigillata) en güçlü yerel temsilcilerinden biridir (Poblome, 1999, s. 5; Ünal, 2024, s. 159). Her ne kadar "Terra Sigillata" ismi "mühürlü/damgalı" kaplara işaret etse de, Sagalassos ürünlerinin en karakteristik organizasyon özelliği, İtalyan (ITS) veya Galya (GTS) örneklerinin aksine çömlekçi damgalarından yoksun olmalarıdır (Poblome, 2016, s. 388). Damga bulunmamasına rağmen, ürünlerin form standardizasyonu ve astar kalitesi, bu seramikleri uluslararası pazarda aranılan bir marka haline getirmiştir (Poblome ve ark., 2002, s. 873).



Görsel 4. Kırmızı Astarlı Sagalassos Seramikleri
(Sagalassos Red Slip Ware (SRSW)

Sagalassos'un bu üretim başarısı aniden ortaya çıkmamış, kentin Geç Helenistik dönemdeki yerel seramik geleneği üzerine inşa edilmiştir (Poblome ve ark., 2013b, s. 193). Augustus

dönemiyle birlikte seri üretim aşamasına geçen SRSW endüstrisi, MS 7. yüzyılın ortalarına kadar yaklaşık sekiz yüz yıl boyunca kesintisiz devam etmiştir (Degryse ve ark., 2003, s. 257). Seramiklerin gövdesinde kullanılan klorit ve smektit açısından zengin Çanaklı kili ile yüzeydeki parlaklığı sağlayan yerel ofiyolitik astar karışımı, Sagalassos çömlekçilerinin mühür kullanmadan kendi teknolojik imzalarını oluşturmalarını sağlamıştır. Bu bağlamda SRSW, hem farmakolojik kökenli Terra Sigillata geleneğinin teknik bir uzantısı hem de Roma dünyasının küresel ticaret ağına eklemlenmiş özgün bir endüstriyel mirasın simgesidir.

KIRMIZIDAN SİYAHA TEKNİK USTALIK VE PİŞİRİM TEKNOLOJİSİ

Sagalassos seramik üretimini Roma dünyasındaki çağdaşlarından ayıran en temel özellik, fırın atmosferi üzerindeki mutlak kontrol ve bu sayede elde edilen yüzey çeşitliliğidir. Kentin geleneksel üretimi olan Sagalassos Red Slip Ware (SRSW), tipik olarak oksidatif (oksijenli) bir atmosferde pişirilerek karakteristik parlak kırmızı rengini almaktadır. Ancak son yıllarda yapılan araştırmalar, Çömlekçiler Mahallesi'ndeki ustalığın yalnızca bu kırmızı kaplarla sınırlı kalmadığını, fırın içindeki kimyasal süreçlerin (redüksiyon) özelliğiyle "Siyah Seramiklerin" (Görsel 5) üretildiğini kanıtlamıştır (Poblome, 2016, s. 383).



Görsel 5. Sagalassos, 1990 yılı kazılarında çıkarılan Siyah Seramikler (Waelkens vd., 1991:213)

Siyah yüzeyli seramiklerin üretimi, kırmızı kaplara kıyasla çok daha karmaşık ve üç aşamalı bir pişirim yöntemini zorunlu kılmaktadır. İlk aşamada, oksidatif pişirimle tüm gövde kırmızı tonuna ulaşmakta; ikinci aşamada fırın atmosferindeki oksijen bilinçli olarak azaltılarak (redüksiyon) astarın içindeki demir oksitlerin siyaha dönüşmesi sağlanmaktadır. Son aşamada ise kontrollü bir yeniden oksidasyon süreciyle bu siyah yüzeyin parlaklığı sabitlenmektedir. Bu teknik ustalık, Sagalassos'taki çift katlı yukarı çekişli fırınların gelişmiş nitelikleri sayesinde mümkün olmuştur (Murphy ve Poblome, 2017, s. 63). Ayrıca, bu kapların metalik bir parlaklık

kazanması için pişirim öncesinde yüzeyin kemik veya ahşap aletlerle titizlikle perdahlanması (parlatılması), zanaatkârın malzeme üzerindeki dokunsal hâkimiyetini göstermektedir. Bu teknolojik dönüşümün estetik ve sosyal bir hedefi de bulunmaktadır: Siyahın derinliği ve elde edilen metalik parlaklık, değerli gümüş ve bronz kapların görsel etkisini seramik üzerinde taklit etmeyi amaçlamaktadır (Daems ve ark., 2017, s. 24). Arkeometrik analizler, siyah seramiklerin kırmızı kaplarla aynı kil kaynağından (Fabric 1) üretildiğini ancak daha yüksek demir oksit içeren özel astar karışımları ve daha ince cidar yapılarıyla ayrıştığını doğrulamaktadır. Dolayısıyla "Kırmızıdan Siyaha" geçiş, Sagalassoslu çömlekçilerin yalnızca birer seri üretim işçisi değil; kimyasal süreçleri ve estetik beklentileri yönetebilen, Roma sofra hiyerarşisinde statü belirleyici nesneler üreten yüksek nitelikli teknoloji uzmanları olduğunu kanıtlamaktadır.

SERİ ÜRETİM SÜRECİNDE FARKLI ŞEKİLLENDİRMELER

Roma dünyasında kırmızı astarlı sofra kapları, antik Akdeniz'in en yaygın seri üretim ve tüketim nesneleri olarak kabul edilir. Ancak Sagalassos gibi oldukça büyük bir üretim merkezinde dahi, arkeolojik kayıtlarda görülen bu standardizasyon, zanaatkârın üretim anındaki dinamik deneyimlerini ve malzemenin direncine verdiği yanıtları perdelemektedir. Bu noktada Tim Ingold tarafından ortaya konan "üretimin örgüselliği" (*textility of making*) kavramı, seramik yapımını önceden tasarlanmış sabit bir forma ulaşma çabası olarak değil; zanaatkârın somut becerisi ile malzemenin değişken özellikleri arasındaki bir "oluş süreci" olarak tanımlar (Ingold, 2010, s. 92; Murphy, 2017, s. 5).

Sagalassos'taki Çömlekçiler Mahallesi'nde bulunan yoğun atık yığınları, pazarlanabilir standart ürünlerin yanı sıra "başarısızlık" öykülerini de barındırması bakımından bu örgüselliğin en somut kanıtıdır (Murphy, 2017, s. 7-8). Çark üzerindeki şekillendirme süreci, çömlekçinin el hareketleri ile dönen ıslak kil arasındaki dokunsal bir performanstır. Örneğin, kap duvarındaki bir hava kabarcığının veya kalıntının fark edilmesi üzerine yapılan müdahaleler, üretimin doğrusal akışından saparak zanaatkârı anlık bir doğaçlamaya zorlamaktadır. Tabanı çok ince kesilmiş bir sürahinin dış kısmına eklenen kil diskler gibi "onarım" örnekleri, zanaatkârın malzeme ile girdiği problem çözme ritminin birer yansımasıdır.

Standardizasyonun içindeki bu akışkanlık, kentin seramik repertuvarındaki morfolojik "melez" formlarda da kendisini gösterir. Arkeolojik tipolojilere (SRSW 1C140 veya 1B220 gibi) tam olarak uymayan bazı "anormal" kaplar, aslında farklı standart tiplerin özelliklerinin yeni yollarla yeniden birleştirilmesiyle ortaya çıkan deneysel üretimlerdir. Bu hibrit yapılar, Sagalassos atölyelerinde şehirdeki tüketim bağlamlarında temsil edilenden çok daha geniş bir

teknik çeşitlilik ve yenilik arayışı olduğunu kanıtlamaktadır. Dolayısıyla Sagalassos'taki endüstriyel miras, yalnızca mükemmel ve standart kaplardan ibaret değil; malzemenin özelliklerine ve üretim sürecindeki risklere verilen yaratıcı yanıtların toplamıdır.

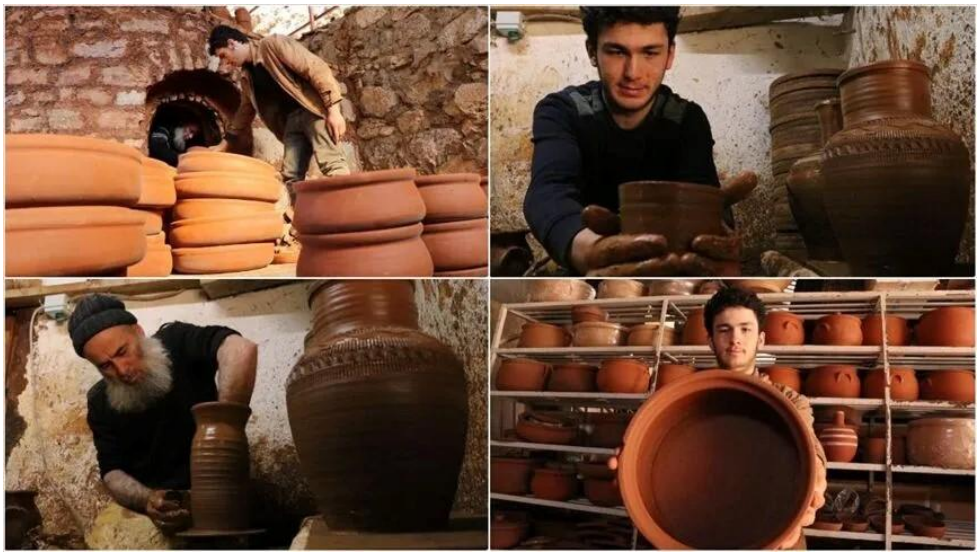
SERAMİK VE SOSYAL YAŞAM

Sagalassos seramikleri yalnızca teknik bir başarının değil, aynı zamanda Roma İmparatorluğu'nun karmaşık sosyo-ekonomik ağlarının bir ürünüdür. Üretim sürecinin en maliyetli kalemlerinden biri olan hammadde tedariği, kentin bu alandaki endüstriyel örgütlenmesine dair önemli ipuçları sunar. Kaliteli sofra kapları için gerekli olan kilin yaklaşık 8 km uzaklıktaki Çanaklı Vadisi'nden getirilmesi, süreklilik arz eden ciddi bir nakliye ve işgücü maliyeti doğurmuştur (Degryse ve ark., 2003, s. 279). Bu durum, üretimin bireysel çömlekçilerin kapasitesini aşarak, yerel toprak sahibi elitlerin sermaye yatırımlarıyla desteklenen örgütlü bir endüstriye dönüştüğünü kanıtlamaktadır (Poblome, 2016, s. 382). Kentteki seramik işliklerinin kentin doğu banliyösünde bir "çekirdekleşmiş endüstri" (nucleated industry) şeklinde kümelenmesi, bu ekonomik yapının mekânsal izdüşümüdür.

Üretimin arkasındaki sosyal örgütlenme, zanaatkâr birlikleri üzerinden şekillenmiştir. Her ne kadar çömlekçilere dair doğrudan bir epigrafik kayıt bulunmasa da, Sagalassos'ta boyacılar birliği (*syntechnia tôn bapheōn*) gibi meslek gruplarının varlığı ve kazılarda tespit edilen olası bir lonca binası (*schola*), zanaatkârların kolektif bir karar alma mekanizması içinde çalıştığına işaret eder (Poblome, 2016, s. 398-400). Bu örgütlü yapı, üretimin standartlaşmasını sağlarken aynı zamanda yüksek kaliteli ürünlerin pazarlanmasında kurumsal bir kimlik oluşturmuştur.

Seramiğin "sosyal yaşamındaki" en dikkat çekici ayrım, kırmızı ve siyah kaplar arasındaki tüketim hiyerarşisinde görülür. Yaygın ve seri üretim olan kırmızı astarlı sofra kaplarının (SRSW) aksine, siyah seramikler kentsel tüketim hiyerarşisinde daha yüksek bir statü sembolü olarak işlev görmüştür. İnce cidarlı yapıları ve gümüş ya da bronz kapları taklit eden metalik parlaklıkları, bu kapların Roma sofra kültüründe "siyahın elit sınıfı" olarak tanımlanabilecek seçkin bir kesime hitap ettiğini gösterir. Nitekim Sagalassos'ta yürütülen kazılar, siyah seramiklerin daha çok kentin refah düzeyi yüksek konutlarında yoğunlaştığını ortaya koymuştur. Sonuç olarak Sagalassos'un endüstriyel mirası, Çanaklı'nın kil yataklarından seçkinlerin sofrasına uzanan, yatırımla şekillenmiş ve sosyal statüyle mühürlenmiş bütünleşik bir ekonomik modeli temsil etmektedir.

ÇANAKLI AÇILIMI: Sagalassos seramik endüstrisinin sosyo-ekonomik dinamiklerini anlamak için yalnızca antik verilerle yetinmeyip, bölgede günümüzde de varlığını sürdüren zanaat geleneklerine bakmak, süreçsel arkeoloji (*processual archaeology*) bağlamında kıymetli bir perspektif sunmaktadır. Süreçsel yaklaşım, insan-doğa etkileşimini, hammadde yönetimini ve üretimin uzun vadeli evrimini açıklamaya odaklanır. Bu noktada, Sagalassos'un hemen güneyinde yer alan Mamak (Çanaklı) beldesindeki çömlekçilik (Görsel 6) faaliyeti, antik üretim stratejilerinin günümüzdeki yaşayan bir laboratuvarı niteliğindedir (Ünal, 1999-2000, s. 317; Ceylan, 2012, s. 231).



Görsel 6. Çanaklı Çömlekçiliği (AA)

Sagalassos'un seramik endüstrisi ile Çanaklı'daki modern üretim arasındaki en somut bağ hammadde seçiminde görülmektedir. Jeroen Poblome ve ekibinin yaptığı arkeometrik analizler, antik Sagalassos Red Slip Ware (SRSW) üretiminde Çanaklı Vadisi'nin kuzeybatısındaki detritik göl tortularının kullanıldığını kanıtlamıştır (Poblome ve ark., 2002, s. 876; Degryse ve ark., 2003, s. 262). Günümüz Çanaklı çömlekçileri, üretimin ana kaynağı olarak Mamak'ın yaklaşık 2 km güneyindeki Kadran Dağı eteklerinde yer alan Kurucain (veya Yumaklı) mevkiindeki (Görsel 7) kil ocaklarını kullanmaktadır (Ceylan, 2012, s. 236). Yapılan incelemeler, antik dönemde Sagalassoslu ustaların tercih ettiği klorit ve smektit açısından zengin kilin, günümüz Çanaklı ustalarının kullandığı hammadde ile jeolojik ve kimyasal açıdan benzer özellikler taşıdığını doğrulamaktadır. Çanaklılı (Mamaklı) ustaların sürdürdüğü bu zanaat, antik çağdaki "stratejik hammadde yönetimi" kavramını süreçsel bir süreklilikle bugüne taşır (Ünal, 1999, s. 319).



Görsel 7. Yumaklı Mevki Kil Yatakları

Antik dönemde Çanaklı kili, yüksek kalitesi ve daha az temizleme gerektirmesi nedeniyle tercih edilmiş; bu durum kilin 8 km mesafeden taşınmasını ekonomik bir rasyonel haline getirmiştir (Degryse ve ark., 2003, s. 277-279; Poblome, 2016, s. 265). Günümüzde de Çanaklı çömlekçiliğinin varlığı, bu özel hammadde yataklarının zanaat bilgisiyle harmanlanmış bir mirasıdır (Ceylan, 2012, s. 241). Dolayısıyla, Poblome ve diğer araştırmacıların işaret ettiği antik kil ocakları ile Adalya dergisinde tasvir edilen modern ocaklar, aynı jeolojik birimin (detritik göl çökelleri) farklı zaman dilimlerindeki kullanımını temsil etmektedir (Poblome ve ark., 2002, s. 876; Ünal, 1999-2000, s. 320).

Bu süreklilik, seramik üretimini yalnızca bir "eşya yapımı" değil, binlerce yıldır çevreye, malzemeye ve toplumsal ihtiyaçlara verilen teknik bir yanıt olarak görmemizi sağlar (Ünal, 1999-2000, s. 317; Poblome, 2016, s. 255). Sagalassos-Çanaklı açılımı, süreçsel arkeolojinin vurguladığı "uzun vadeli tarihsel arka planı" görünür kılarak; antik zanaatkârın hammadde rasyonalitesini günümüz zanaatkârının elinde yaşayan bir gelenek olarak kanıtlamaktadır (Poblome, 2016, s. 260; Ceylan, 2012, s. 241).

SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Antik Pisidia'nın endüstriyel ve ekonomik gücü olan Sagalassos'un seramik üretimi, hammadde yönetiminden teknik uzmanlığa, günümüze ulaşan zanaat mirasının izlerine kadar bütüncül bir perspektifle ele alınmıştır. Bu bağlamda, kentin doğu suburbiumunda yer alan yaklaşık 6 hektarlık Çömlekçiler Mahallesi, sekiz yüzyıl boyunca kesintisiz devam eden faaliyetleriyle yalnızca bir üretim alanı değil, aynı zamanda antik çağın en iyi örgütlenmiş "çekirdekleşmiş endüstri" örneklerinden biridir.

Arkeometrik analizler ve arazi çalışmaları, Sagalassoslu çömlekçilerin başarısının temelinde rasyonel bir hammadde yönetiminin yattığını kanıtlamıştır. Kaliteli sofra kapları (SRSW) için 8 km mesafedeki Çanaklı Vadisi'nden getirilen detritik göl tortuları kullanılırken, yerel ofiyolitik killerin astar ve kaba kap üretimine ayrılması, üretimin bireysel kapasitelerin ötesinde büyük bir yatırım modeliyle desteklendiğini göstermektedir. Bu stratejik kararlar, Sagalassos seramiklerini Roma dünyasının en geniş coğrafyasına yayılan küresel bir marka haline getirmiştir.

"Kırmızıdan Siyaha" geçiş süreci, Sagalassos zanaatkârlığının teknik zirvesini temsil eder. Fırın atmosferinin mutlak kontrolüne (redüksiyon pişirimi) dayanan siyah seramik üretimi, yalnızca bir estetik tercih değil, aynı zamanda metalik parlaklık hedefleyen ve elit bir tüketici grubuna hitap eden yüksek nitelikte bir zanaat becerisidir. Bu üretim süreci, Elizabeth Murphy'nin vurguladığı "üretimin örgüselliği" (*textility of making*) kavramı üzerinden değerlendirildiğinde, seri üretimin katı standardizasyonu içinde bile malzemenin direncine ve üretim anındaki risklere verilen bireysel ve yaratıcı yanıtların varlığı netleşmektedir.

Süreçsel arkeoloji bağlamında ele alınan Sagalassos-Çanaklı açılımı ise bu endüstriyel mirasın binlerce yıllık sürekliliğini gözler önüne sermiştir. Günümüzde Mamak (Çanaklı) beldesinde ustaların kullandığı kil yataklarının, antik Sagalassoslu ustaların tercih ettiği kaynaklarla jeolojik ve kimyasal açıdan örtüşmesi, zanaat bilgisinin çevre ile olan kopmaz bağını kanıtlamaktadır. Sonuç olarak Sagalassos seramikleri, antik dönemin teknik bilgisini, sosyal hiyerarşisini ve hammadde rasyonalitesini günümüze taşıyan yaşayan bir endüstriyel mirastır.

KAYNAKÇA

Ceylan, S. (2012). Mamak (Çanaklı) Beldesinde (Ağlasun-Burdur) Geleneksel Yöntemlerle Sürdürülen Toprak Kap Üretiminin Kırsal Turizm Bağlamında İrdelenmesi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 32, 231-242.

Daems, D., Braekmans, D., & Poblome, J. (2017). Late Achaemenid and Early Hellenistic Pisidian Material Culture from Düzen Tepe (SW Anatolia). *HEROM. Journal on Hellenistic and Roman Material Culture*, 6(1), 11-47.

Degryse, P., Poblome, J., Donners, K., Deckers, J., & Waelkens, M. (2003). Geoarchaeological Investigations of the "Potters' Quarter" at Sagalassos, Southwest Turkey. *Geoarchaeology: An International Journal*, 18(2), 255-281.

Ingold, T. (2010). The textility of making. *Cambridge Journal of Economics*, 34, 91-102.

Murphy, E. A. (2017). *Geç Antik Sagalassos Seramik Üretimi Üzerinden Standardizasyonun Yeniden Düşünülmesi: Gelenek, Doğaçlama ve Akışkanlık* (Bölüm 8 Çeviri Metni).

Murphy, E. A., & Poblome, J. (2012). Technical and Social Considerations of Tools from Roman-period Ceramic Workshops at Sagalassos (Southwest Turkey): Not Just Tools of the Trade?. *Journal of Mediterranean Archaeology*, 25(2), 197-217.

Murphy, E. A., & Poblome, J. (2017). From Formal to Technical Styles: Production Challenges and Economic Implications of Changing Tableware Styles in Roman to Late Antique Sagalassos. *American Journal of Archaeology*, 121(1), 64-83.

Poblome, J. (1999). *Sagalassos Red Slip Ware. Typology and Chronology*. Turnhout: Brepols.

Poblome, J. (2016). The Potters of Ancient Sagalassos Revisited. A. Wilson & M. Flohr (Ed.), *Urban Craftsmen and Traders in the Roman World* içinde (s. 377-404). Oxford: Oxford University Press.

Poblome, J., Braekmans, D., Mušič, B., Van der Enden, M., Neyt, B., De Graeve, B., & Degryse, P. (2013b). A pottery kiln underneath the Odeon of ancient Sagalassos, SW Turkey. N. Fenn & C. Römer-Strehl (Ed.), *Networks in the Hellenistic World* içinde (s. 193-204). Oxford: BAR International Series.

Poblome, J., Degryse, P., Viaene, W., Ottenburgs, R., Waelkens, M., Degeest, R., & Naud, J. (2002). The Concept of a Pottery Production Centre. An Archaeometrical Contribution from Ancient Sagalassos. *Journal of Archaeological Science*, 29, 873-882.

Poblome, J., Schlitz, M., & Degryse, P. (1998). Recycling Misfired Pottery. A Standard Practice of the Potters at Ancient Sagalassos?. *Forum Archaeologiae. Zeitschrift für klassische Archäologie*, 7.

Ünal, S. (1999-2000). Binlerce Yıllık Çömlekçilik Geleneğinde Sagalassos-Çanaklı Açılımı. *Adalya*, IV, 317-334.

Ünal, S. (2005). Sagalassos'da Seramik. *I. Burdur Sempozyumu Bildirileri*, Cilt 1, 748-755. Burdur.

Ünal, S. (2024). Osmanlı'nın Mühürlü Şifa Toprağı: Tıyn-ı Mahtûm (Terra Lemnia). *Akademik Arkeoloji Dergisi*, 1(2), 159-170.

Ünal, S., & Bircan, A. M. (2025). Göller Bölgesi Antik Kenti Sagalassos'un Siyah Seramikleri. *V. Uluslararası Türk Dünyası İletişim ve Sanat Sempozyumu Bildirileri*, 271-284. Almatı.

Waelkens, M. (1993). Sagalassos: History and Archaeology. M. Waelkens (Ed.), *Sagalassos I* içinde (s. 37-82). Leuven: Leuven University Press

AYVALIK'IN SOMUT OLMAYAN KÜLTÜREL MİRASI

Zeynep Naz VURAN
Dokuz Eylül University Graduate School of Natural and Applied Sciences, M.Sc. in Restoration, 35390 Buca, İzmir
ORCID ID: 0009-0009-0010-7995
Prof. Dr., Nezihat KÖŞKLÜK KAYA
Dokuz Eylül University Faculty of Architecture
ORCID ID: 0000-0002-2124-3314

ÖZET

Somut olmayan kültürel miras, toplumların kültürel sürekliliğini, kimliğini, belleğini oluşturan en önemli kavramlardan biridir. Ancak turizm faaliyetleri, çarpık kentleşme, değişen sosyal yaşam pratikleri, ekonomik değişimler gibi etkenler ile somut olmayan kültürel miras yok olmaya başlamıştır. Bu çalışma kapsamında, Ege Bölgesi'nin kuzey kıyısında bulunan Balıkesir ili Ayvalık ilçesinin somut olmayan kültürel mirası ele alınmıştır. Araştırmanın amacı, Ayvalık ilçesinin sahip olduğu somut olmayan kültürel miras değerlerinin belirlenmesi, tarihsel süreç içerisinde yaşamış olduğu değişimlerin günümüzdeki yansımaları ve karşı karşıya kaldığı dönüşümlerin incelenmesidir. Bu bağlamda, bölgenin geleneksel üretimleri, yaşam pratikleri, toplumsal faaliyetlerine ilişkin literatür araştırması ve saha çalışmaları yapılmış, yok olmaya başlamış ya da sürdürülmeye çalışılan değerlerin hangi yöntemlerle sürdürüldüğü, korunabildiği ve aktarılabildiği incelenmiştir. Araştırma sonucunda, bölgenin somut olmayan kültürel mirasının günümüzde varlığını sürdürmesine rağmen, bazı gelenek ve uygulamaların sosyal ve ekonomik sebeplerle yok olmaya başladığı görülmüştür. Bu kapsamda özellikle kuşaklar arası aktarımda azalma, geleneksel üretim biçimlerinin değişimi, turizm odaklı yeni kullanım biçimleri, bu değerlerin korunabilmesi ve sürdürülebilmesi açısından sorunlar oluşturmuştur. Çalışma sonucunda, somut olmayan kültürel mirasın yalnızca belgelenmesi ve korunması değil, bu unsurların üretildiği, yaşatıldığı, aktarıldığı mekansal çevrenin de korunması, toplumsal yaşam içerisinde sürdürülebilirliğinin sağlanması için uygun politikaların geliştirilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Araştırmada, yerel halkın katılımına öncelik veren, mekansal bağlamı gözeten ve yerel kimliğin korunmasını destekleyen bütüncül koruma yaklaşımlarının öneminden bahsedilmiştir. Araştırmanın bu yönüyle, Ayvalık'ın kültürel mirasının sürdürülebilir şekilde korunmasına yönelik koruma ve planlama çalışmalarına katkı sağlaması ve benzer tarihi yerler için yol gösterici bir örnek oluşturması hedeflenmiştir.

Anahtar kelimeler: Ayvalık, somut olmayan kültürel miras, bütüncül koruma.

INTANGIBLE CULTURAL HERITAGE OF AYVALIK

ABSTRACT

Intangible cultural heritage is one of the most important concepts that constitute the cultural continuity, identity, and memory of societies. However, factors such as tourism activities, unplanned urbanization, changing social life practices, and economic changes have begun to cause the disappearance of intangible cultural heritage. This study focuses on the intangible cultural heritage of Ayvalık district in Balıkesir province, located on the northern coast of the Aegean Region. The aim of the research is to identify the intangible cultural heritage values of Ayvalık district, to examine the reflections of the changes it has experienced throughout history, and to investigate the transformations it faces today. In this context, a literature review and field studies were conducted on the region's traditional productions, life practices, and social activities, and the methods by which values that have begun to disappear or are being attempted to be preserved, protected, and transmitted were examined. As a result of the research, it was observed that although the region's intangible cultural heritage continues to exist today, some traditions and practices have begun to disappear due to social and economic reasons. In this context, especially the decrease in intergenerational transmission, the change in traditional production methods, and new tourism-oriented usage patterns have created problems in terms of the preservation and sustainability of these values. The study concludes that intangible cultural heritage requires not only documentation and preservation, but also the protection of the spatial environment in which these elements are produced, maintained, and transmitted, and the development of appropriate policies to ensure their sustainability within social life. The research emphasizes the importance of holistic conservation approaches that prioritize local participation, consider the spatial context, and support the preservation of local identity. This aspect of the research aims to contribute to conservation and planning efforts for the sustainable preservation of Ayvalık's cultural heritage and to serve as a guiding example for similar historical sites.

Keywords: Ayvalık, intangible cultural heritage, holistic conservation.

1. GİRİŞ

Toplumların tarihsel süreç içerisinde oluşturduğu kültürel birikim, yalnızca geçmişe ait izlerin korunmasını değil, aynı zamanda bu birikimin gelecek kuşaklara aktarılmasını da gerekli kılmaktadır. Kültürel miras, toplumların kimliğini, aidiyet duygusunu ve yaşam biçimini yansıtan önemli bir değer olarak değerlendirilmektedir. Günümüzde hızlı kentleşme, küreselleşme, ekonomik dönüşümler ve değişen yaşam alışkanlıkları, kültürel mirasın

korunmasını her zamankinden daha önemli hale getirmiştir. Bu nedenle kültürel mirasın yalnızca fiziksel unsurlar üzerinden değil, toplumsal yaşamı şekillendiren gelenekler, üretim biçimleri, bilgi birikimi ve yaşam pratikleriyle birlikte ele alınması gerekmektedir.

1.1 Kültürel Miras

Kültürel miras, UNESCO (2003) tarafından toplumların geçmişten devraldığı, günümüzde yaşattığı ve gelecek nesillere aktarılmasını gerekli gördüğü maddi ve manevi değerlerin bütünü olarak tanımlanmaktadır. Bu kapsamda kültürel miras yalnızca tarihi yapılar, anıtlar ve taşınabilir kültür varlıkları gibi somut unsurları değil; sözlü anlatımlar, gelenekler, gösteri sanatları, toplumsal uygulamalar, ritüeller, festivaller, doğa ve evrene ilişkin geleneksel bilgi birikimi ile el sanatları gibi somut olmayan kültürel miras ögelerini de kapsamaktadır. Kültürel miras kavramının bu geniş çerçevede ele alınması, koruma anlayışının zaman içerisinde değişmesine ve gelişmesine zemin hazırlamıştır. Özellikle 20. yüzyıldan itibaren koruma kuramlarında yaşanan dönüşümler, yalnızca fiziksel mirasın korunmasına odaklanan yaklaşımların yerini, somut ve somut olmayan değerleri birlikte değerlendiren bütüncül koruma anlayışına bırakmıştır. (Saz, 2025).

1.2 Somut Olmayan Kültürel Miras

Kültürel miras kavramının kapsamının genişlemesini sağlayan önemli adımlardan biri, UNESCO'nun 2003 yılında kabul ettiği Somut Olmayan Kültürel Mirasın Korunması Sözleşmesi'dir. Bu sözleşme ile kültürel miras sadece fiziksel yapıları ya da somut değerleri değil, geleneksel bilgi aktarımı, ritüeller, yaşam pratikleri gibi somut olmayan değerleri de kapsamıştır (Saz, 2025).

1.3 Somut Olmayan Değerlerin Mekanla İlişkisi

UNESCO'nun 2003 tarihli Somut Olmayan Kültürel Mirasın Korunması Sözleşmesi'nin 2. maddesinde, somut olmayan kültürel miras; toplulukların ve bazı durumlarda bireylerin kendi kültürel miraslarının bir parçası olarak gördükleri geleneksel uygulamalar, anlatılar, bilgi ve beceriler ile bunlarla ilişkili araçlar, gereçler ve kültürel mekânlardan oluşan kültürel değerler bütünü olarak ifade edilmektedir (UNESCO, 2003).

1.4 Bütüncül Koruma Yaklaşımları

Bouchenaki (2003, akt. Saz, 2025)**,** somut ve somut olmayan kültürel miras arasında yapay bir ayrım yapılmasının sağlıksız bir koruma anlayışına neden olabileceğini belirtmektedir. Bouchenaki'ye göre mimari yapılar yalnızca fiziksel varlıklarıyla değil, kullanım biçimleri, geleneksel yaşam pratikleri ve toplumsal bellekle anlam kazanmaktadır. Bu nedenle kültürel mirasın bütüncül olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Benzer şekilde, tarihî kent

dokularında fiziksel çevre ile kültürel pratiklerin iç içe geçmiş bir yaşam alanı oluşturduğu ve bu ilişkinin koruma yaklaşımında birlikte ele alınması gerektiği belirtilmektedir (Karakul, 2011a, akt. Saz, 2025).

Bu bağlamda Munjeri (2004, akt. Saz, 2025), kültürel mirasın korunması ilkesinde "farklılık" tanımı yerine "yakınsama" ilkesini önermektedir. Bu bağlamda koruma, somut ve somut olmayan kültürel miras değerlerini birbirinden ayırmamakta ve bütüncül koruma çerçevesinde değerlendirilmesini sağlamaktadır. Munjeri'ye göre, sadece fiziksel unsurların korunmasına önem veren yaklaşımlar, kültürel belleği ve kültürel sürekliliği önemsememe riski taşımaktadır. Bu nedenle günümüzdeki koruma politikalarının kapsamları, fiziksel yapıyı ve yapıya anlam yükleyen unsurları beraberce değerlendirmelidir.

Ruggles ve Silverman (2009, akt. Saz, 2025) da benzer bir bakış açısı ile, somut olmayan kültürel unsurların fiziksel yapılar ile beraberce koruma sürecinde ele alınması gerektiğini düşünmektedir. Onların bakış açısına göre, fiziksel bir mimari yapının tarihsel işlevi, toplumsal bellekteki yeri ve topluluklardaki anlatısı da fiziksel hali kadar korunmaya değerdir.

2. YÖNTEM

Bu araştırmada nitel araştırma yöntemi benimsenmiştir. Çalışmanın ilk aşamasında somut olmayan kültürel miras, kültürel mirasın korunması ve bütüncül koruma yaklaşımına ilişkin ulusal ve uluslararası literatür incelenerek kuramsal çerçeve oluşturulmuştur. Ardından Ayvalık'ın tarihsel gelişimi, kültürel yapısı ve somut olmayan kültürel miras değerlerine ilişkin yazılı kaynaklar değerlendirilmiştir.

Araştırmanın saha çalışması Balıkesir ili Ayvalık ilçesinde gerçekleştirilmiştir. Saha çalışmaları kapsamında somut olmayan kültürel miras unsurları yerinde gözlemlenmiş, bu unsurların tarihsel süreç içerisindeki değişimleri ve günümüzdeki mekânsal yansımaları değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler, somut olmayan kültürel mirasın mekânla kurduğu ilişki çerçevesinde analiz edilmiş ve bütüncül koruma yaklaşımı doğrultusunda yorumlanmıştır.

3. BULGULAR

3.1 Ayvalık'ta Bulunan Somut Olmayan Kültürel Miras Örnekleri

Balıkesir'in Ayvalık ilçesi, 19. yüzyılda zeytinyağı ve sabun üretimine dayalı ekonomik yapısı ile gelişen ticaret ağı sayesinde Batı Anadolu kıyılarının önemli liman kentlerinden biri hâline gelmiştir. Bu dönemde üretim ve ticaret faaliyetlerinin artması, kentin fiziksel gelişimine de yansımış ve kent dokusunda ticari işlevli yapıların sayısı giderek artmıştır. Bu yapı grupları arasında yer alan dükkânlar, ticari yaşamın temel mekânları olarak öne çıkmaktadır. Doğrudan sokağa ya da çarşıya açılan bu yapılar, yalnızca alışverişin gerçekleştirildiği mekânlar olmanın

ötesinde, kentin ekonomik, sosyal ve mekânsal gelişimini yansıtan önemli kültürel miras unsurlarıdır (Akın Akbüber, 2020).

Araştırma kapsamında Ayvalık'ta tespit edilen somut olmayan kültürel miras değerleri, UNESCO'nun Somut Olmayan Kültürel Mirasın Korunması Sözleşmesi'nde tanımlanan miras alanları doğrultusunda değerlendirilmiştir. Çalışma alanında sözlü gelenekler ve anlatımlar, toplumsal uygulamalar, ritüeller ve şölenler, doğa ve evrenle ilgili bilgi ve uygulamalar, geleneksel el sanatları ile gösteri sanatlarına ilişkin çok sayıda somut olmayan kültürel miras unsurunun varlığını sürdürdüğü belirlenmiştir.

Bu unsurların yalnızca kültürel yaşam içerisinde değil, aynı zamanda üretim yapıları, konut dokusu, kamusal alanlar ve kültürel peyzaj üzerinde de mekânsal yansımalar oluşturduğu görülmüştür. Araştırma kapsamında, Ayvalık'ın somut olmayan kültürel mirası; zeytincilik, balıkçılık, festivaller ve geleneksel konut yapısı altında incelenmiştir.

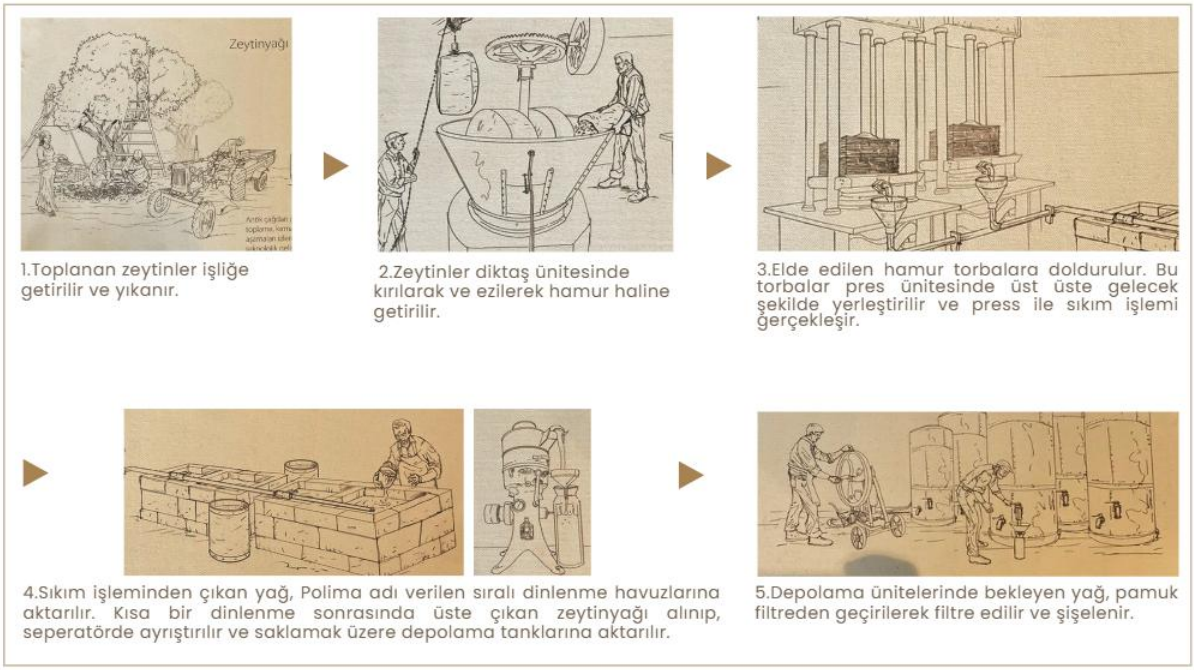
Bu unsurların tarihsel süreç içerisindeki değişimleri değerlendirilmiş ve mekânsal yansımaları üretim yapıları, kıyı alanları, kamusal mekânlar, konut organizasyonu ve kültürel peyzaj üzerinden analiz edilmiştir.

3.1 Zeytincilik

Ayvalık, tarihsel süreci boyunca zeytin ve zeytinyağı üretimi ile öne çıkan bir yerleşim olmuştur. Tarihsel süreçte geleneksel üretimin fabrikalaşmasıyla birlikte bölge, ekonomik ve kültürel bağlamda dönüşmüştür (Şener, Eldek Güner, 2025).

Araştırma bulguları, zeytinciliğin Ayvalık'ın ekonomik ve kültürel kimliğini şekillendiren temel somut olmayan kültürel miras unsurlarından biri olduğunu göstermektedir. Tarihsel süreçte zeytin hasadının imece usulüyle gerçekleştirildiği, zeytinlerin geleneksel olarak mengene adı verilen atölyelerde işlendiği ve zeytinyağının konutların hayataltı olarak adlandırılan serin mekânlarında pitos adı verilen toprak küplerde depolandığı görüşmeler sonucunda elde edilmiştir.

3.1.1 Geleneksel Zeytinyağı Üretimi



Şekil 1. Geleneksel Zeytinyağı Üretimi

Kaynak: Ayvalık Zeytinyağı Endüstri Müzesi, Kürşat, Ziyaret Tarihi:2023

(Görseller ve metinler müze bilgilendirme standından alınmıştır.)

3.1.2 Geçmişten Günümüze Zeytinyağı Üretim Sürecinin Değişimi

Zeytin üretim süreci ve mekanları tarihsel süreç içeriisnde değişimler yaşamıştır. Ayvalık geleneksel mimarisinde zeytinciliğin izleri hala okunabilse de, sanayileşme ile birlikte geleneksel üretim mekanlarının işlevini kaybettiği görülmüştür.

Geçmişte zeytin hasadı, mahalle dayanışması ve mevsimlik işçiler ile yapılmaktaydı. Fabrikalaşma öncesinde, zeytinler mahallelerde bulunan ve halk arasında mengene adı verilen küçük atölyelerde işlenmekteydi. İşlenen zeytinyağı evlerin halk arasında hayataltı olarak adlandırılan zemin katında bulunan serin, kuru ve gölge alanda pitos adı verilen toprak küplerde saklanmaktaydı. Aynı şekilde sabun üretimi de hayataltı ve yapıların avlularında geleneksel yöntemler ile yapılmaktaydı. (Kişisel görüşme, 2023).

19. yüzyıl öncesinde, zeytinyağı ve sabun üretimi yöreye özgü geleneksel atölyelerde gerçekleştirilirken, 19. yüzyılın sonlarına doğru değişen ekonomik ve teknolojik koşullarla atölye üretiminden fabrika üretimine geçiş sağlandı (Akın Akbüber, 2020). Zeytinyağının saklanma koşulları da artık geleneksel toprak küplerden metal lancalara taşındı.

3.1.3 Zeytinciliğin Mekansal Yansımaları

19. yüzyılda sanayi ve deniz ticaretinin gelişmesiyle güçlenen ekonomik yapı, Ayvalık'ın nüfus artışını hızlandırmış; kentin mekânsal organizasyonunu, yapılaşma sürecini ve mimari karakterini doğrudan etkilemiştir (Akın Akbüber, 2020). Zeytin üretim mekanları yalnızca üretim işlevi gören mekanlar değil, aynı zamanda toplumsal kullanım ve mekansal sürdürülebilirlikleriyle de Ayvalık'ın zeytin kültürünü yaşatan ve yansıtan kültürel miras varlıkları arasındadır (Şener, Eldek Güner, 2025).

Zeytinciliğin kültürel değerini hala sürdürmeye çalıştığı görülse de sanayileşme ve benzeri gelişimler sonucunda mekansal dönüşümler de yaşanmıştır.Bu bağlamda, geleneksel mengene adı verilen mahalle atölyeleri ve hayataltı, konut avluları gibi mekanlar yerine zeytin fabrikaları gibi endüstriyel tesislere geçiş yaşanmıştır.

19. yüzyılda endüstri devriminin sonucunda geleneksel üretim mekanlarından makineli üretim sistemlerinin bulunduğu fabrikalaşmaya geçilmiştir. Bu sayede Ayvalık, zeytin kültürü ile anılan bir merkez haline gelmiştir. Bölgeye faydalı gözüken endüstriyel devrimin sonucundaki sanayileşme, geleneksel mekanların işlevsizleşmesine ve geleneksel atölyelerin atıl duruma gelmesine neden olmuştur (Şener, Eldek Güner, 2025). Bu bağlamda, yapıların yeniden işlevlendirilme ve korunma ihtiyacı ortaya çıkmıştır. 1970'li yıllardan beri alınan planlama kararları, bölgenin zeytin peyzajını büyük ölçüde tehdit etmiştir. 1972 yılında onaylanan koruma kararıyla birlikte, geleneksel zeytinyağı atölyelerinin şehir dışına taşınması, atıl durumda kalan yapıların ise turizme katkı sağlayacak şekilde yeniden işlevlendirilmesi önerilmiştir. Ancak bu uygulama sonucunda yeniden işlevlendirilen mekanlar, kültürel bellek ile ilişki kuramayan mekanlara dönüşmüştür (Şener, Eldek Güner, 2025).

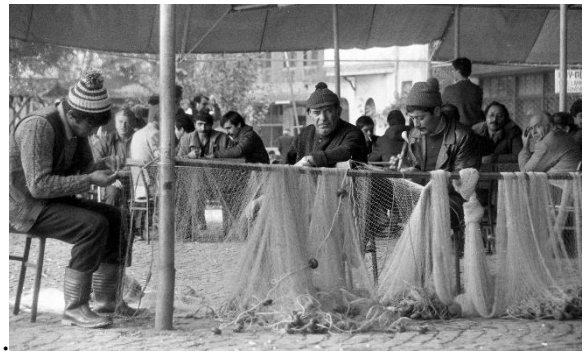
3.2 Balıkçılık

Ayvalık'ın tarihine bakıldığında balıkçılık ile tanışması, Nüfus Mübadelesi'nden sonra Ayvalık'a gelen mübadil ve mühacir Türkler ile başlamıştır (Elçim,1963).

Bu bağlamda yörede en çok Ayvalık merkez ve Cunda Adası kıyı kesimi balıkçılıktan etkilenmiştir. Ayvalık'ta balıkçılık geçmiş zamanlarda geleneksel kıyı balıkçılığı şeklinde yapılmaktaydı. Geleneksel tekneler kullanılmakta ve geçim odaklı üretim yapılmaktaydı. Ancak günümüzde geleneksel kıyı balıkçılığı yerini motorlu tekneler ve modern avcılık yöntemleri almıştır. Bölgenin gelişen turizm kültürü sayesinde balıkçılık artık yalnızca aile geçindirme odaklı değil, restoran gibi turizm tesislerine tedarik sağlama amacıyla gerçekleştirilmektedir.

3.2.1 Balıkçılığın Mekansal Yansımaları

Balıkçılığın Ayvalık'taki mekansal yansımaları kıyı yapıları, üretim alanları ve kıyı peyzajıdır. Üretim balıkçı barınaklarında, limanlarda ve iskelelerde gerçekleşirken, ağ onarımı, tekne bakımı ve balık satış noktaları gibi balıkçılık faaliyetleri de gerçekleşmektedir. Kıyı peyzajını şekillendiren önemli unsurlar ise, balıkçı teknelerinin durduğu Ayvalık ve Cunda kıyı alanlarıdır. Bu sayade deniz ile ilişkili kamusal alanlar ve kıyı kullanımı Ayvalık'ın kültürel mirası haline gelmiştir.





Şekil 2. Ağ onarımı **Şekil 3.** Balıkçı tekneleri ve kıyı

Kaynak: Salt Araştırma Arşivi (Ali Öz, 1983)

3.3 Festivaller

Ayvalık'ta festival ve kutlamalar bölgenin kültürel belleğinin yaşatılmasında büyük rol oynamaktadır. Teferiç Şenlikleri, Zeytin Hasat Günleri, Hıdırellez kutlamaları gibi etkinlikler bölgenin kamusal mekanlarının kültürel etkinlik alanları olarak kullanılmasını sağlayarak mekansal kimliği güçlendirmektedir.

3.3.1 Teferiç Şenliği

Balkan coğrafyasında Hıdırellez'in karşılığı olarak kabul edilen Geleneksel Boşnak Teferiç Şenlikleri, yöre halkının geleneksel kıyafetleri, örf ve adetleri ile yerel ürünlerini yaşattığı önemli kültürel etkinlikler arasında yer almaktadır. Şenlikler, bölgede faaliyet gösteren sanat galerileri ve atölyelerle birlikte Küçükköy'ün kültürel kimliğini yansıtan ve öne çıkaran temel

değerlerden biri olarak değerlendirilmektedir (Kalağan & Şengün, 2021). Teferiç şenliği Ayvalık'a bağlı Küçükköy Mahallesi'ndeki Boşnak kültürünün yaşamasını sağlayan geleneksel etkinliktir. Her yıl mayıs ayında düzenlenen bu şenliğe Balkan ülkelerinden katılım sağlanılarak yöresel tanıtımlar, danslar ve gösteriler yapılmaktadır. Geleneksel kıyafetler, halk oyunları, müzik ve ürün standları sayesinde kültürel mirasın kuşaktan kuşağa aktarımı ve anlaşılmasına katkı sağlanmaktadır.

Yöre halkının planlamalara dahil olması, sürdürülebilirlik hakkında bilgilendirilmesi, paydaşların katkıları, yerel ürün ve hizmetlerin teşvik edilmesi, yerel işletmelere teşvik ve destek sağlanmasıyla yerel ekonominin güçlenmesi sağlanarak yörenin değişim ve dönüşüm göstererek sosyoekonomik ve çevresel kalkınmanın desteklenmesi, şenliğin önemini göstermektedir (Kalağan & Şengün, 2021).



Şekil 3. Teferiç Şenliği. *Kaynak: Yazarın kişisel arşivi.*

3.3.2 Hıdırellez Kutlamaları

Hıdırellez, Türk kültüründe Hızır ve İlyas'ın yeryüzünde buluştuğuna inanılan, farklı etnik ve inanç grupları tarafından baharın gelişi ve doğanın yeniden canlanışını simgeleyen geleneksel bir kutlamadır. Baharın başlangıcını temsil eden bu özel gün, doğanın uyanışını coşkulu etkinliklerle kutlamanın yanı sıra sağlık, bereket, bolluk ve mutluluk dileklerine yönelik çeşitli ritüel ve uygulamaları da içermektedir (Günay, 1993; Olgunsoy, 2007; Güneşçelik, 2019). Türkiye'de yaygın olarak kutlanan, Ayvalık'ta da yıllardır süre gelen kendine özgü geleneksel ritüelleri olan Hıdırellez, her yılın mayıs ayında kutlanır. Bir gün öncesinde halk sahillere inerek dilekler diler ve beraberinde taşları denize atar, dileklerini sahilde kuma çizer. İnanışa göre dalganın en çabuk sildiği çizim o kadar çabuk gerçekleşecektir. Akşamüstü hava kararınca

ise insanlar komşularıyla, mahalleliyle ya da ailesiyle ateş yakarak yine dilekler dileyerek ateş üstünden atlar.



Şekil 4. Hıdırellez kutlaması. *Kaynak: İhlas Haber Ajansı (İHA).*

3.3.3 Zeytin Hasat Şenliği

Ayvalık Zeytin Hasat Günleri Festivali, 2018 yılında on dördüncü kez düzenlenmiş olup Balıkesir Büyükşehir Belediyesi, Ayvalık Belediyesi, Ayvalık Ticaret Odası ve Ayvalık Ziraat Odası'nın ortak organizasyonuyla gerçekleştirilmiştir. Uluslararası nitelik taşıyan festival, yurt içi ve yurt dışından sektör temsilcileri, akademisyenler, ekonomi yazarları, gazeteciler ve şefleri bir araya getirerek zeytin ve zeytinyağı kültürünün tanıtımına katkı sağlamaktadır (İlban & Kömür, 2019). Zeytin hasat şenliği, Ayvalık'ın zeytincilik kültürünü yaşatan geleneksel bir etkinliktir. Etkinlikte hasat gelenekleri, zeytinyağı üretim süreci, yöresel ürünler tanıtılmaktadır. Hasat etkinlikleri zeytinlikler ve üretim alanlarında gerçekleştirilerek kırsal peyzajı, kültürel etkinlik mekânlarına dönüştürmektedir.

Festivaller, destinasyonların tanıtımına katkı sağlayan ve ziyaretçi çekme potansiyelini artıran önemli etkinlikler arasında yer almaktadır. Bu kapsamda düzenlenen Ayvalık Uluslararası Zeytin Hasat Günleri, Türkiye'de zeytinyağı tüketimine yönelik farkındalığın artırılmasının yanı sıra, bölgede üretilen yüksek kaliteli zeytinyağlarının ulusal ve uluslararası düzeyde tanıtılmasını desteklemeyi amaçlamaktadır (İlban & Kömür, 2019).



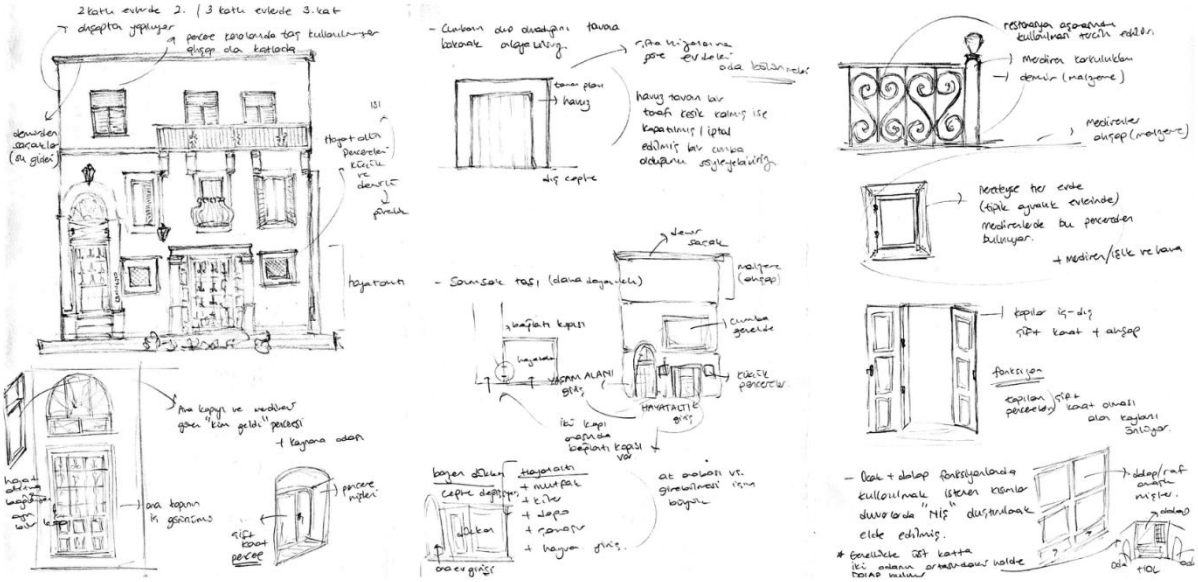
Şekil 5. Zeytin hasat şenliği. *Kaynak: İhlas Haber Ajansı (İHA).*

Ayvalık'ta gerçekleşen festivaller için, Küçükköy Meydanı, Cumhuriyet Meydanı, sahil şeridi, tarihi sokaklar, zeytinlikler gibi alanlar kullanılmaktadır. Bu durum kamusal alanların kullanım biçimini geçici olarak değiştirmektedir. Meydanlar ve sokaklar kültürel etkinlik alanlarına dönüşmektedir. Festival ve etkinlik dönemlerinde mekanlar, üretim, gastronomi, kültürel etkinliklerin sergilendiği odaklara dönüşerek Ayvalık'ın toplumsal belleğini ve mekansal kimliğini güçlendirmektedir.

3.4 Geleneksel Konut Yapısı

Ayvalık'ın 19. yüzyıla tarihlenen geleneksel konutlarının önemli bir kısmı günümüze kadar korunmuş ve özgün işlevini büyük ölçüde sürdürmüştür. Nüfus mübadelesi sonrasında Rum nüfusun bölgeden ayrılmasıyla boşalan bu konutlara, başta Girit ve Midilli Adası olmak üzere farklı bölgelerden gelen mübadiller yerleştirilmiştir. Bu durum, konutların yalnızca tarihi kent dokusunun temel bileşenleri olarak değil, aynı zamanda farklı kültürel toplulukların yaşamına ev sahipliği yapan mekânlar olarak da önem kazanmasını sağlamıştır. Ayvalık'taki geleneksel konutların günümüze ulaşabilmesinde ise kentsel sit alanı ilan edilerek koruma altına alınması belirleyici olmuştur. Nitekim Gayrimenkul Eski Eserler ve Anıtlar Yüksek Kurulu'nun 19.06.1976 tarih ve 160 sayılı kararıyla Ayvalık, korunması gerekli doğal ve tarihî alan olarak tescil edilmiş; hazırlanan ilk imar planı kapsamında yaklaşık 1700 konut koruma altına alınmıştır. Bu sayede geleneksel konutların büyük bölümü tarihî kent dokusu içerisindeki varlığını günümüzde de sürdürmektedir. Osmanlı Devleti'nin 19. yüzyıldaki ekonomik, sosyal, kültürel ve siyasal yapısının etkisiyle şekillenen Ayvalık evleri, kentin tarihsel kimliğini yansıtan en önemli mimari unsurlar arasında yer almaktadır. Geleneksel kent dokusu içerisinde çoğunlukla bitişik nizamda inşa edilen bu konutlar, sokağa yönelen ön cepheleri ve arka

avluları ile dikkat çekmektedir. Genellikle zemin kat üzerine bir veya iki katlı olarak tasarlanan yapılarda, köşe parsellerde yer alan örnekler iki farklı sokağa cephe verebilmektedir. Cephe düzenlemeleri ise simetrik ya da asimetrik plan anlayışına göre şekillenmekte; cumbalı (şahnişli) veya çıkmasız farklı mimari tipolojiler sergilemektedir. Zemin katlar ağırlıklı olarak mutfak, kiler, depo ve bazı yapılarda dükkân gibi hizmet işlevlerine ayrılırken, bu bölümlere bağımsız ikinci bir girişin bulunması yaygın bir uygulamadır. Üst katlarda sofa çevresinde düzenlenen odalar günlük yaşam alanlarını oluşturmaktadır. Konutların iç mekânlarında ise gömme dolaplar, sergenler, ocaklar ve ikona nişleri gibi dönemin yaşam kültürünü yansıtan mimari öğelere yer verilmiştir (Akın, 2016).



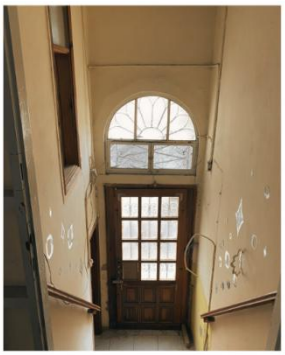
Şekil 6. Geleneksel Ayvalık konut tipolojisi. *Kaynak: Yazarın kişisel arşivi.*

Geçmiş dönemlerde Ayvalık'ta geleneksel aile yapısı kalabalık ailelerden oluşmaktaydı. Konut yaşamları da bu duruma göre şekillenmişti. Yapıların zemin katında bulunan ve halk arasında hayataltı olarak adlandırılan mekan, ortak yaşam alanının olduğu, bazı durumlarda mutfak, depolama, çamaşırhane gibi görevleri üstlenen bir alandı.

Geleneksel Ayvalık konutları incelendiğinde, hayataltı mekanı ile yapının ana girişi arasında ayrıca bir bağlantı kapısı olduğu görülmektedir. Bu durum, dükkan, depo, ahır gibi kullanımları konut kullanımından ayırmak için elverişli bir ortam sağlamaktadır. Geleneksel konut yapılarının hayataltı pencerelerinin küçük ve güvenlik amacıyla demir parmaklıklara sahip olduğu alanda gözlemlenmiştir. Hayataltı kapıları geniş ve çoğunlukla iki kanat kapılardan oluşmaktadır. Yapının birinci katında halk arasında kaynana odası olarak adlandırılan bir bölüm bulunmaktadır. Geçmiş dönemlerde kalabalık aileler ile yaşayan halk bu katı kaynanaya

ayırmış aynı zamanda bu bölümde kişinin kullanabileceği küçük mutfak oluşumları ile konut içerisinde yaşam ayrıştırılmaya çalışılmıştır. Yapının içerisinde ana kapı girişini gören ve "kim geldi penceresi" olarak adlandırılan bir açıklık bulunmaktadır. Bu durumun haneye gelen kişinin kim olduğunun önceden görülebilmesi amaçlanarak oluşturulmuş olduğu düşünülmektedir. "Kim geldi penceresi" geleneksel Ayvalık konutlarındaki mahremiyet algısının okunabilmesi için önemli veriler vermektedir.







Şekil 7. Geleneksel Ayvalık konut tipolojisi. *Kaynak: Yazarın kişisel arşivi.*

Şekil 8. Kim geldi penceresi. *Kaynak: Yazarın kişisel arşivi.*

Ancak günümüzde, ataerkil aile düzeninden çekirdek aile yaşamına geçilmesi, geleneksel konut tipolojisinde değişikliklere neden olmuştur.

3.5 Somut Olmayan Kültürel Mirasa Yönelik Tehtidler

Somut olmayan kültürel mirasa yönelik tehtidler saha çalışmaları sonucunda 4 gruba ayrılmıştır. Bunlar kentleşme, turizm baskısı, sosyal yaşam pratiklerinin değişmesi ve geleneksel üretim kültürünün azalmasıdır.

3.5.1 Kentleşme

Yeni yapılaşmanın ve yeniden işlevlendirmenin geleneksel sokak dokusu ve kültürel kimliğin sürekliliğini olumsuz etkilediği görülmüştür. Plansız müdahaleler geleneksel kentsel yapının zedelenmesine sebebiyet vermektedir.

3.5.2 Turizm Baskısı

Geleneksel konut yapılarının bölgede artan turizm baskısı nedeni ile, restoran, kafe, butik otel gibi ticari kullanımlara dönüşmesi, yerel yaşam pratiklerinin ve özgün kullanım biçimlerinin kaybolmasına neden olmaktadır. Bu bağlamda yeniden işlevlendirme çalışmalarının geleneksel doku ile doğru ilişki kuramaması da kültürel sürekliliğin zedelenmesine yol açmaktadır.

3.5.3 Sosyal Yaşam Pratiklerinin Değişmesi

Geniş ve kalabalık aile yapısından çekirdek aile veya bireysel yaşam yapısına geçiş, konut kullanımı, mahalle ilişkileri ve geleneksel yaşam şekillerinin değişmesine neden olmuştur. Bu bağlamdaki dönüşüm, geleneksel yaşam pratiklerinin ve mahalle kültürünün Ayvalık bölgesinde yok olmayla karşı karşıya kaldığını göstermektedir.

3.5.4 Geleneksel Üretim Kültürünün Azalması

Geleneksel üretim pratikleri, geleneksel üretim yöntemleri ve mekanlarının azalması ile yok olmaya başlamıştır. Bu bağlamda, geleneksel atölyelerin yerini zeytinyağı fabrikalarının alması, geleneksel konutların yanlış müdahaleler ve doğru olmayan işlev değişiklikleriyle karşı karşıya kalması, yapıların atıl hale gelmesi gibi faktörler ile Ayvalık'ta kültürel belleğin mekansal izlerinin zayıfladığı görülmüştür.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, Ayvalık'ta somut olmayan kültürel miras değerlerinin yalnızca kültürel pratikler olarak değil, üretim yapıları, kıyı mekanları, kamusal alanlar ve konut dokusu aracılığıyla mekansal kimliği şekillendiren temel bileşenler olduğunu ortaya koymuştur. Ayvalık'ta UNESCO (2003)'e gore sınıflandırılmış kategorilerden her birine uygun somut olmayan kültürel miras unsurları bulunmaktadır. Ancak çalışma kapsamında bu değerlerin tamamını incelemek yerine, mekan ile en güçlü ilişkiyi kuran ve mekansal izlerinin görece daha fazla olduğu düşünülen dört temel unsur üzerine odaklanılmıştır.

Araştırma sonucunda, zeytincilik kültürünün üretim mekanlarını şekillendirdiği, balıkçılık kültürünün kıyı kimliğini oluşturduğu, festival ve etkinliklerin kamusal mekan kullanımını dönüştürdüğü ve yaşattığı, geleneksel aile yapısının ise konut organizasyonunu belirlediği ortaya konmuştur.

İncelenen somut olmayan değerler kapsamında, turizm baskısı, hızlı kentleşme, işlev değişiklikleri ve sosyal yaşam pratiklerinin dönüşümünün mekanla kurulan ilişkiyi ve bu ilişkinin sürekliliğini tehdit ettiği sonucuna varılmıştır.

Somut olmayan kültürel mirasın sürdürülebilmesi için üretim kültürünün, geleneklerin, yaşam pratiklerinin ve toplumsal belleğin, bu değerleri var eden yapılar ve fiziksel çevre ile birlikte korunması gereklidir. Bu bağlamda yerel hakın sürece katılımı, yerel yönetimlerin desteği, sürdürülebilir turizm anlayışı ve eğitim çalışmaları bütüncül koruma yaklaşımının temel bileşenlerini oluşturmaktadır.

Bu bağlamda, somut ve somut olmayan kültürel mirasın birlikte ele alınarak bütüncül koruma yaklaşımının benimsenmesinin, Ayvalık'ın kültürel kimliğini korunması ve gelecek kuşaklara aktarılmasında önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

Bu çalışma, Zeynep Naz Vuran'ın Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı Restorasyon Programında Prof. Dr. Nezihat Köşklük Kaya danışmanlığında yürütmekte olduğu "Ayvalık ve Çevresinde Somut Olmayan Değerlerin Mekânsal Yansımaları ve Bütüncül Koruma Bağlamında Değerlendirilmesi" başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

KAYNAKLAR

Akın, B. (2016). Ayvalık evlerinin cephe karakterinin oluşumuna etki eden faktörlerin değerlendirilmesi. Sanat Tarihi Dergisi, 24(2), 121–138. https://doi.org/10.29135/std.273892

Akın Akbüber, B. (2020). Ayvalık kent dokusunda 19. yüzyıl ticari faaliyetlerinin mekânsal izleri "Dükkânlar". Sanat Tarihi Dergisi, 29(2), 807–829. https://doi.org/10.29135/std.733911

Ayvalık Belediyesi UNESCO Dünya Mirası ve Alan Yönetimi Birimi. (t.y.). Denizel alan. Ayvalık Miras. https://www.ayvalikmiras.com/ayvalik-miras/denizel-alan/

Elçim, Ş. (1963). Ayvalık balıkçılığı üzerine notlar. Türk Etnografya Dergisi, 57, 18–25. https://izlik.org/JA47RB48FA

İlban, M. O., & Kömür, T. (2019). Destinasyon markalaşmasında festival turizminin rolü: Ayvalık Uluslararası Zeytin Hasat Günleri örneği. Seyahat ve Otel İşletmeciliği Dergisi (Journal of Travel and Hospitality Management), 16(2), 274–295.

Özgürel, G., Çelik Uğuz, S., & Esenkal Çözeli, F. (2023). Hıdırellez. İçinde A. Duymaz (Ed.), Balıkesir somut olmayan kültürel miras alan araştırmaları (ss. 363–378). Balıkesir Valiliği.

Saz, H. (2025). Tarihi çevre korumada somut ve somut olmayan değerler: Diyarbakır Cami-i Kebir Mahallesi örneği (Yüksek lisans tezi, Antalya Bilim Üniversitesi).

Şener, İ. E., & Eldek Güner, H. (2025). Ayvalık örneğinde zeytinyağı endüstrisinin mimari ve kültürel mirası. Kültürel Mirasın Tarihi ve Korunması (KümTak), 1(1), 63–74.

Ulusoylu, S. (2026). Somut olmayan kültürel mirasın korunması bağlamında müze ve müzecilik faaliyetleri: Mersin örneği (Tez No. 994907) [Yüksek lisans tezi, Mersin Üniversitesi]. YÖK Ulusal Tez Merkezi.

UNESCO Türkiye Millî Komisyonu. (t.y.). Somut olmayan kültürel mirasın korunması sözleşmesi. https://www.unesco.org.tr/Pages/181/177/Somut-Olmayan-Kulturel-Mirasin-Korunmasi-Sozlesmesi

EMERGENCY MANAGEMENT. SS_AU SETTLEMENTS SELF-SUFFICIENT AND AUTONOMOUS BASED ON EXPERIMENTAL HOUSING UNITS

Prof. Dr. Celestina FAZIA
Department of Engineering and Architecture, Kore University of Enna, Enna, Italy,
ORCID: 0009-0000-6938-0660
Dr. Arch. Antonia POSTORINO
ORCID:0000-0001-6587-4452

ABSTRACT: This essay presents an excerpt from a broader, ongoing study on behavioral procedures related to emergency management in the event of disasters, weather-related events, and extraordinary situations in which it is necessary to organize the provision (and timely availability) of self-sustaining housing units; other examples of "emergency" architecture and urban settlements include the "flywheel" houses to be planned as part of urban transformation projects, where it is necessary to provide temporary housing for residents of the urban core undergoing redevelopment or demolition followed by reconstruction. These units, which are easy to assemble and combine, allow for the creation of autonomous clusters capable of ensuring normal (urban) functions even over long periods. This type of settlement has been named SS_AU Settlements: they are intelligent, self-sufficient, and autonomous settlement models based on experimental housing units (such as the OXYGEN type).

Keywords: temporary housing; emergency; housing units; emergency management

1. INTRODUZIONE

Through an initial overview of the current state of the art, the proposed method/model at the urban scale, and the experimental housing units, this paper refers to the case study of the city of Reggio Calabria (Italy), which exhibits particular urban and environmental vulnerability due to specific hydrogeological conditions of the soil and seismic risk. The city has a Civil Protection Plan (CPP) for managing safety in the event of natural disasters and an urban planning tool, the Municipal Structural Plan (PSC), with which the CPP must coordinate to define assembly (or shelter) areas for the population.

Starting from the concept of "temporary living"—understood as an expression of the contemporary paradigm of flexible living—this paper traces the evolution of temporary housing models, from historical experiences of mobile living to the most recent adaptive and reconfigurable solutions. Moving beyond the traditional concept of stability and rootedness, these models respond to new forms of mobility linked to work, study, and leisure, addressing groups such as travelers, students, and temporary workers.

In light of the above, the SS_AU Settlements are not intended as dormitory-style housing (or "parking" housing) but as incubators for innovation and social/relational life. Particular attention is given to emergency architecture and urban redevelopment processes, in which temporary housing serves as a tool capable of addressing cyclical, transitory, or precarious needs through flexible and innovative spatial solutions.

The OXYGEN housing units (currently in the prototype development phase) can be integrated within SS_AU Settlements. OXYGEN is a research and development project that transfers advanced technologies developed for space habitats to dual-use applications with high social impact. The same solutions designed to operate in extreme environments enable the creation of smart inflatable infrastructure for civil protection and humanitarian emergencies, ensuring rapid deployment, operational autonomy, continuous monitoring, and greater resilience of field operations.

2. MATERIALS AND METHODS. The "Temporary" City in Reggio Calabria

Reconstruction, the emergency response, and the solidarity-based contributions received after the 1908 earthquake encapsulate the issues that will shape future planning decisions and urban structures and prompt some reflections. To reinterpret the inevitability of modernity, we must start from a perspective in which the spatiality of emergency-driven reconstructions is still discernible. But which sites were chosen for reconstruction after the 1908 earthquake? What is the process of "territorialization" of aid? Managing the initial emergency and related problems was considered a higher priority than managing the reconstruction itself, with the provision of shelter for survivors and the construction of shacks that marked the beginning of "wooden cities" in Reggio Calabria and Messina.

In Reggio Calabria, the various types of temporary housing ranged from the standard "shack" found throughout the country to the elegant chalets donated by the Swiss Red Cross. The various neighborhoods of the "wooden city" extended from the coastline toward the hillsides, forming terraces; each neighborhood had its own distinctive style, but all the buildings were single-story wooden structures—albeit of varying shapes—and formed urban clusters with clearly recognizable features: the Italian government built the foundations and oversaw the assembly, while the materials were supplied by the relief committees, which were "entitled" to recognition in the place names. The shantytowns located between the Annunziata and Caserta streams had been built with lumber sent from the United States; some streets were named after American figures and cities (Via Georgia, Via Virginia, Via Buffalo…), which is why the entire settlement was called "Baraccamento Americano." In Reggio Campi, in the Trabocchetto area,

a distinctive type of housing was built—featuring a ground floor and a mezzanine—donated by the Swiss Red Cross: the "Swiss Cottages." The Napoli shantytown, on the other hand, was built by sailors from the battleship Napoli on the outskirts of the port, in what is now Via Genovese Zerbi.

Finally, the Friuli, San Marco, Veneto-Trentino, and Romano shantytowns, among others, were named either after the owners of the expropriated land (Caridi, Guarna, Giunta) or after the locations where they were situated (Mezzacapo Murorotto, Gabelle, and Scala di Giuda).

In cities affected by the earthquake, the reconstruction efforts during the initial emergency phase established certain settlement patterns and frameworks, which were confirmed by subsequent reconstruction plans.

2.1 The "Planned" Earthquake-Resistant City Without "Emergency" Management

Following the provisional zoning plan drawn up in 1909, the subsequent new General Zoning Plan (PRG) for the construction of the city of Reggio Calabria, drafted by De Nava, resumed the previous 19th-century grid layout, the development guidelines—which had already been followed in the placement of the temporary housing camps and during the initial reconstruction—mirrored those of the previous urban layouts, since growth, limited in height, necessitated horizontal expansion of buildings and a growing demand for buildable land.

The PRG of the 1970s was based primarily on the prospect of growth in the service and residential sectors, with a view to creating the so-called "Metropolis on the Strait" together with Villa San Giovanni and Messina and establishing a permanent link between the two shores. The decisions made in anticipation of a permanent crossing of the Strait called for development toward the north. All of this led to an explosion of "spontaneous" construction that affected many areas designated for different land-use purposes: within a few years, the General Urban Plan would be distorted in both form and content.

Over the course of a few decades, the urban landscape has become one of incremental transformations: it is composed of additional elements, and a broad range of urban landscape morphotypes (or, more accurately, city morphotypes). The process of forming the various city morphotypes in Reggio Calabria is accompanied by a series of urban phenomena that profoundly shape the characteristics of the different "cities" and accentuate the distances between them (not only spatial ones):

- a concentration of administrative functions in the city center, including goods, services, and diverse urban functions—which serve as focal points for the cities but do not interact with the surrounding territory;

- the areas developed during the initial reconstruction phase have not been adapted to meet the demand for services and urban amenities, remaining, in effect, low-cost residential neighborhoods.
- a different typological system resulting from the seismic regulations enacted after the 1908 earthquake, which subsequently led to the construction of replacement buildings with a greater number of stories;
- the fragmentation of agricultural land creates peripheral fringes of public and private residential development that weaken the rural identity of many areas, leading to a loss of functions and making it impossible to create the conditions for competitiveness through the provision of diversified functions and their integration into an overall plan. The aspect of risk management (seismic or related to natural disasters) is neglected, and at the same time, the city becomes increasingly vulnerable (increase in illegal construction, degradation of coastlines and slopes, narrowing and concreting of riverbeds).

2.2 The Origins of the SS_AU Settlements Model

The topic of emergency management through the implementation of preventive safety measures is relatively recent.

The term “temporary housing” refers to public housing units intended for temporary or emergency use. In the social housing context, “temporary housing” consists of public housing units temporarily assigned to households facing housing emergencies (e.g., evictions, uninhabitable living conditions). In the past, these temporary complexes were built as isolated neighborhoods, disconnected from the city’s overall functioning, and in some cases became veritable urban ghettos (ISO 37123; Bosher 2014). In transformation and regeneration projects, urban strategies call for multifunctional, well-equipped areas that integrate seamlessly with the urban fabric and focus on environmental revitalization.

Examples of transformation include the demolition of dilapidated complexes (as occurred in the Tamburi neighborhood of Taranto, adjacent to the industrial area) to replace them with green spaces and urban forests, while simultaneously providing new, widespread, and integrated housing solutions. The goal of regeneration projects is to eliminate socio-spatial degradation, promote inclusion, and redesign buildings to achieve high energy and seismic performance.

2.3 Summary of the SS_AU Settlements Model and Its Urban Planning Impact

The key parameters for EESS interventions are:

-Alignment with the current master plan and the civil protection plan. Areas designated to host SS_AU Settlements must be well-connected, with an adequate urban infrastructure network (for connections to utility networks), and located in safe areas (where there is no environmental or social risk). Any project must comply with the minimum service requirements and urban planning standards, even if the settlements are temporary.

-Environmental impact. Priority must be given to areas already equipped with infrastructure, such as potential civil protection assembly points. If temporary housing units are planned within urban regeneration areas, their location (preferably contiguous with or near the area) must ensure access to services and the operation of the temporary settlement in accordance with sustainable environmental standards.

3. LITERATURE REVIEW. FROM TRANSITORY HOUSING TO THE RESILIENT CITY

3.1 Mobile Housing Units as Urban Infrastructure for Emergency Management in Fragile Territories

In recent decades, cities have undergone profound transformations that have altered the relationship between settlements, the population, and the territory. The increasing frequency of extreme events, the intensification of climate change, the growing vulnerability of infrastructure, and the pressure exerted by urban expansion call for a reevaluation of traditional planning models and emergency management strategies (IPCC, 2022; UNDRR, 2019; OECD, 2018). In this context, urban resilience plays a central role as the capacity of territorial systems to anticipate, absorb, adapt to, and recover from the effects of disasters, ensuring the continuity of essential functions and the safety of communities (Godschalk, 2003; Vale & Campanella, 2005; Meerow et al., 2016; UNDRR, 2015).

In the European context, these issues take on particular significance in areas characterized by high exposure to natural hazards. Italy is one of the most vulnerable countries in the Mediterranean basin, where the combination of seismic risk, hydrogeological instability, wildfires, coastal erosion, and climate change creates widespread conditions of fragility. Added to these factors are the high density of historic buildings, the age of numerous structures, and the complexity of infrastructure networks—elements that make the management of emergencies and reconstruction phases particularly challenging.

Among Italian regions, Calabria stands out as one of the most significant in this regard. Its location along the Calabrian-Peloritan arc places it among the areas with the highest seismic activity in the Mediterranean. The events of 1783, 1905, the 1908 earthquake and tsunami, and more recent emergencies have highlighted the vulnerability of the region’s settlement system

and the need to rethink emergency management not only through Civil Protection procedures but also through the preventive planning of urban spaces (UN-Habitat 2016; Agenda 2030; European Green Deal).

In this context, an emergency cannot be considered an exceptional event, but rather a condition that urban planning must address systematically.

Traditionally, the issue of temporary housing has been addressed as a response following natural disasters, with a focus on the construction of temporary settlements designed to accommodate displaced populations. However, experience gained from major earthquakes in Italy and abroad has highlighted the limitations of an exclusively emergency-based approach, which is often characterized by inadequate response times, makeshift locations, and poor integration with the urban context.

Based on these considerations, this paper proposes a shift in perspective: the Urban Emergency Housing System is no longer conceived as an exceptional response, limited to the post-disaster phase, but as a structural component of urban resilience and territorial adaptation strategies. From this perspective, it is integrated in advance into territorial planning tools and municipal civil protection plans, helping to strengthen the capacity of local communities to address and manage emergencies (ISO 37123; Bosher 2014; Bosher & Dainty 2011).

The objective of this research is to demonstrate how temporary housing can evolve from a stopgap solution to a strategic infrastructure of the contemporary city, capable of ensuring settlement continuity, rapid response, and adaptability in areas exposed to natural hazards.

Through a reexamination of the historical evolution of temporary housing, integrated with the most recent research on urban resilience and emergency planning, this study develops a methodological proposal aimed at the planned integration of mobile housing units into the urban system. The case of Calabria serves as a testing ground for defining design criteria that can be replicated in other contexts characterized by similar conditions of territorial vulnerability.

3.2 Historical Evolution of Temporary Housing

The evolution of temporary housing is neither a recent phenomenon nor a marginal aspect of architectural history. On the contrary, mobility is a fundamental component of human settlement and has accompanied—in various ways—the entire development of societies and cities. The history of housing can therefore be interpreted as the result of a continuous tension between permanence and transience, in which forms of dwelling change in response to

environmental, economic, technological, and cultural shifts (Rykwert, 1972; Frampton, 1982; Rapoport, 1969).

In nomadic societies, dwellings were conceived as adaptive structures, characterized by lightness, reversibility, and ease of transport. Natural shelters, tents, huts, and structures made from locally available materials constituted settlement systems capable of accompanying the movements of communities and adapting quickly to different environmental conditions. With the Neolithic Revolution and the gradual spread of agriculture, the model of permanent dwellings became established; however, sedentarization did not lead to the disappearance of temporary housing. Mobility and permanence continued to coexist, emerging as two complementary modes of organizing inhabited space.

This dual nature of dwelling finds one of its most significant expressions in the Japanese building tradition. The modularity of the house, the flexibility of spaces achieved through shōji and fusuma, and the standardization of dimensions—based on the tatami module—anticipate principles that are now fundamental to contemporary prefabrication (adaptability, reconfigurability, disassembly, and reuse of components).

The home is conceived as a dynamic organism, capable of changing over time in response to evolving functional needs and environmental conditions.

Throughout the 20th century, these principles were reinterpreted in light of the industrialization of construction. The rise of mass production, the use of new materials, and the evolution of construction processes fostered experimentation with lightweight, modular, and easily transportable housing systems. Richard Buckminster Fuller's research, with the Dymaxion House (1927–1929) (fig.1) and the Geodesic Domes (1947–1954) (fig.2), proposed an architecture that was highly efficient in its use of resources, based on industrial prefabrication and the reduction of material consumption (Fuller, 1969).

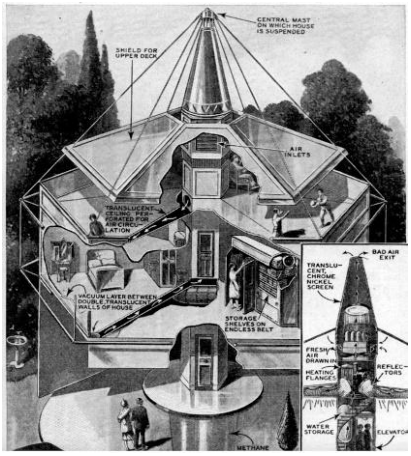


Fig.1 - Dymaxion House
(https://www.minniemuse.com/articles/musings/buckminster-fullers-dymaxion-house)



Fig.2 - Geodesic Domes
(https://www.minniemuse.com/articles/musings/buckminster-fullers-dymaxion-house)

At the same time, Jean Prouvé developed demountable and transportable metal construction systems, while the Japanese Metabolist movement introduced a vision of the city as an evolving organism composed of replaceable modular elements (Prouvé, 2005).

In the Italian context, major earthquakes provided pivotal opportunities for the evolution of temporary housing technologies. From the wooden shantytowns built after the 1908 earthquakes in Reggio Calabria and Messina (fig.3), there was a gradual shift toward prefabricated villages in Belice (1968), Friuli (1976), Irpinia (1980), Umbria-Marche (1997), L'Aquila (2009), and Central Italy (2016).



Fig. 3 – Examples of makeshift housing (after the earthquakes in Reggio Calabria and Messina) (*Agazio Trombetta, "La città di legno", De Franco Editore, Reggio Calabria 1999*)

This evolution highlights a gradual improvement in construction performance and comfort levels, but it also brings to light the critical issues arising from the prolonged use of solutions intended to be temporary, which often lack effective integration with the urban fabric and with land-use planning tools (Alexander, 2002; Johnson, 2007; Quarantelli, 1995; Pezzica et al., 2022).

Since the 1990s, the international debate has shifted toward a broader conception of temporary housing, in which sustainability, resilience, and adaptability play a central role. Shigeru Ban's Paper Log Houses (1995) represent one of the first examples of temporary housing for humanitarian purposes, intended for victims of the Kobe earthquake, successfully combining rapid construction, affordability, the use of recycled materials, and spatial quality (Ban, 2014) (fig.4). The Swedish Better Shelter system (2010), developed in collaboration with the UNHCR, falls within the same category. It introduces prefabricated units that are easy to assemble and offer better environmental performance, solar-powered lighting, and greater durability compared to traditional emergency tents.



Fig.4 - Paper Log Houses structure
(https://shigerubanarchitects.com/works/paper-tubes/paper-log-house-kobe/)

At the same time, contemporary experiments are expanding the scope of modular housing beyond emergency contexts. The Urban Rigger project (2013), developed by BIG in Copenhagen, demonstrates how prefabricated modules can be used for the regeneration of underutilized urban areas through floating platforms created by repurposing shipping containers (fig. 5). Similarly, systems such as WikiHouse (2011), M.A.Di. Home (2017), and the TECLA prototype (2021) reflect the evolution toward housing models characterized by modularity, digital prefabrication, environmental sustainability, the circular economy, and the potential for reuse in various application scenarios (fig.6).



Fig. 5 - Urban Rigger
(https://urbanrigger.com/introducing-bjarke-ingels-floating-student-housing-urban-rigger/)



Fig. 6 – TECLA
(https://www.yellowtrace.com.au/tecla-first-3d-printed-raw-earth-house-sustainable-architecture-techology/)

A historical analysis shows how the concept of temporary housing has gradually expanded in meaning—from a response to the mobility needs of early human communities to a technological tool for emergency management—and has now emerged as a potential component of urban resilience strategies. Innovations in construction, the digitization of production processes, a focus on environmental sustainability, and the growing reliance on preventive planning have, in fact, transformed the mobile housing module from a simple building structure into an adaptive component of the urban system. It is within this evolution that the SS_AU Settlements model is situated, proposed in this study as a methodological tool for the planned integration of emergency housing into the planning of vulnerable territories.

3.3 Methodological Approach to Proactive Planning Using the SS_AU Settlements Model

The evolution of the international framework for disaster risk reduction reflects a gradual shift away from purely reactive approaches toward integrated strategies for prevention, resilience, and territorial adaptation. The Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030 (UNDRR, 2015), the New Urban Agenda (UN-Habitat, 2016), the 2030 Agenda for Sustainable Development (Goal 11), and the European Green Deal all agree that territorial planning is the primary tool for reducing vulnerability and strengthening cities' adaptive capacity. From this perspective, emergency management is no longer a separate field addressed only after a disaster has occurred, but becomes an integral part of routine land-use policies, in line with the principles of urban resilience and adaptation to climate change (Godschalk, 2003; Meerow et al., 2016).

Based on these premises, this study proposes, on a preliminary basis, a methodological approach aimed at the planned integration of mobile housing units into the planning of areas exposed to natural hazards. The objective is not to define a prescriptive model, but rather to develop an operational framework capable of guiding future experimental applications and supporting the integration of urban planning, civil protection, and territorial adaptation strategies.

The central premise of the SS_AU Settlements model is to move beyond the traditional ex post identification of reception areas. Areas designated for temporary settlement should be incorporated into routine urban planning—through the Municipal Structural Plan (PSC) or equivalent strategic planning tools—as multifunctional spaces intended for everyday use but designed for rapid conversion in the event of an emergency. This approach promotes the integration of land-use planning and civil protection planning as required by Legislative Decree 1/2018, anticipating the logistical and infrastructural needs of the response system and significantly reducing the time required to activate emergency measures.

From this perspective, the SS_AU Settlements model finds its natural place within a Strategic Master Plan for Urban Resilience, conceived as a tool for coordinating urban policies capable of integrating land-use planning, climate adaptation, disaster risk reduction, infrastructure development, and the continuity of essential services.

Mobile housing units therefore cease to be viewed as exceptional measures intended exclusively for the post-event phase and are reinterpreted as permanent components of a resilient urban system, planned in tandem with technological infrastructure, public spaces, ecological networks, and urban services.

The methodological approach consists of five closely interconnected phases.

The first phase involves an integrated analysis of territorial vulnerability, obtained through a joint assessment of seismic, hydrogeological, and climatic hazards; the vulnerability of the building stock and infrastructure networks; and the sociodemographic characteristics of local communities. This analytical framework serves as the basis for defining intervention priorities and the required settlement capacity across various risk scenarios.

The second phase involves the preliminary identification of areas suitable for temporary settlement. The selection is based on a multi-criteria approach that considers safety, accessibility, proximity to strategic services, availability of utility networks, urban planning compatibility, and the ability to ensure the functional continuity of urban activities during emergency management.

The third phase involves preparing the infrastructure in the selected areas by first carrying out the work necessary for the immediate activation of the system, including connections to water, power, and digital networks; drainage and wastewater disposal systems; access routes; spaces designated for community services; and logistical support areas. This pre-infrastructure development is the model's key innovative feature, enabling a significant reduction in response times and operational challenges during emergencies.

The fourth phase involves defining the performance characteristics of the mobile housing units, which are designed according to criteria of modularity, reversibility, rapid installation, energy efficiency, layout flexibility, and reusability. The housing solutions are conceived according to principles of functional adaptability, so that they can be deployed in various emergency scenarios and subsequently reintegrated into routine use.

The fifth phase involves managing the entire life cycle of the system, including procedures for activation, performance monitoring, maintenance, gradual dismantling, and reuse of building components in accordance with the principles of the circular economy and environmental sustainability. This approach makes it possible to move beyond the temporary nature of post-disaster assistance, transforming the housing system into a permanent, resilient infrastructure.

Historical analysis shows that the evolution of temporary housing does not follow a linear trajectory, but rather a gradual expansion of its meaning—from a contingent response to human mobility needs to a technological tool for emergency management, and today as adaptive infrastructure for the resilient city. The convergence of construction innovation, environmental sustainability, digitalization, and preventive planning paves the way for a new conception of the Urban Emergency Housing System, in which the housing module ceases to be an autonomous element and becomes an integral part of strategies for territorial adaptation, risk reduction, and the functional continuity of urban systems. It is precisely within this evolution that the SS_AU Settlements model proposed in this work is situated.

3.4 The OXYGEN Prototype as a Technology Demonstrator for the SS_AU Settlements Model

The experimental prototype "Made in Calabria" – OXYGEN is used in this research as a technology demonstrator for the SS_AU Settlements model. Developed as part of research on living in extreme environments, the system was designed to meet the performance requirements of habitats intended for space exploration and, in particular, for future scenarios involving human habitation on the lunar surface. Such contexts require solutions characterized by

modularity, transportability, rapid assembly, functional self-sufficiency, energy efficiency, reduced resource consumption, and adaptability to extreme environmental conditions.

Although conceived for extraterrestrial applications, OXYGEN possesses characteristics that are fully transferable to terrestrial contexts exposed to natural hazards. The performance requirements in hostile environments—rapid deployment, reversibility of interventions, modular construction, operational autonomy, system resilience, and resource optimization—in fact align with the requirements identified in the international literature on disaster risk reduction, urban resilience, and adaptive planning (Alexander, 2013; Bosher, 2014; Meerow et al., 2016; UNDRR, 2015).

The significance of this case study therefore lies in the possibility of applying design principles from spatial architecture to the proactive planning of vulnerable areas. From this perspective, OXYGEN is viewed not merely as a tool for emergency management, but as a component of a resilient settlement system that can be planned in advance and integrated with infrastructure, essential services, and public spaces.

This interpretation is consistent with the international framework. The Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030 identifies prevention and proactive planning as the priority tools for strengthening community resilience; similarly, the 2030 Agenda, through Goal 11, promotes inclusive, safe, resilient, and sustainable cities, while the New Urban Agenda integrates resilience, climate adaptation, and urban planning. At the national level, these guidelines are implemented through Legislative Decree No. 1 of January 2, 2018 (Civil Protection Code) and the Directive of the President of the Council of Ministers of April 30, 2021, which assign a central role to municipal planning in emergency prevention and preparedness activities.

Applying the SS_AU Settlements model to the OXYGEN prototype makes it possible to verify its consistency with the requirements of the methodological framework, with particular reference to the preemptive identification of settlement areas, the provision of supporting infrastructure, the speed of deployment, the reversibility of interventions, the management of the entire life cycle of the structures, and their repurposing after an emergency. The housing unit is thus considered part of a planned territorial infrastructure, capable of ensuring settlement and functional continuity even under crisis conditions.

From this perspective, OXYGEN serves as a demonstrator of the entire methodological framework, highlighting how the effectiveness of mobile housing units depends not only on their technological performance but, above all, on their proactive integration into territorial

planning tools. The transfer of technologies developed for living in extreme environments to the management of vulnerable territories thus helps overcome the traditional separation between routine planning and emergency management, outlining an approach to resilience based on prevention, settlement flexibility, and adaptation to environmental changes.

4. OXYGEN EMERGENCY

* Edited by Gabriele Carrozza (co-founder of iSaisei Corporation)

This chapter analyzes the origins of the OXYGEN Emergency project, developed as an application of the principles of Space Architecture to the design of resilient infrastructure for managing terrestrial emergencies. Through a review of the scientific literature, it highlights how habitats designed for extreme environments and emergency housing infrastructure share numerous design requirements, including modularity, rapid deployment, operational autonomy, resilience, and a focus on human factors.

Building on these premises, the chapter explores the potential methodological transfer of the principles of space architecture to the fields of civil protection and preventive planning, highlighting how these approaches can contribute to the development of a new generation of integrated, plannable, and adaptable infrastructure capable of strengthening contemporary strategies for prevention, preparedness, and territorial resilience.

The chapter also aims to highlight the contribution that space research can make to the evolution of emergency housing models and, more generally, to the definition of new paradigms for resilient urban planning.

4.1 The Origin of OXYGEN: From Research on Space Habitats to Earth-Based Emergencies

The OXYGEN Emergency project originated within the research activities conducted by iSaisei Corporation on the development of habitats for extreme environments, with particular reference to future infrastructure for human habitation on the lunar surface. The project falls within the broader field of dual-use technologies, in which knowledge and solutions developed for space applications are transferred to civilian applications with high social impact, fostering technology transfer between the space exploration sector and the emergency management sector. From the earliest design stages, the goal of the research has not been to create a simple living module, but to define an infrastructure capable of ensuring safety, habitability, operational autonomy, and functional continuity in environments characterized by extreme environmental hostility, scarce resources, and the absence of permanent infrastructure.

The development of a space habitat, in fact, requires addressing complex challenges related to human survival in extreme conditions: rapid deployment, optimization of transportable volumes, energy efficiency, management of available resources, adaptability to different operational scenarios, system reliability, and the centrality of human factors.

For decades, these requirements have formed the foundation of the field of Space Architecture, which views the habitat not merely as a structural shell, but as an integrated life-support system designed to ensure the safety, functionality, and well-being of its occupants even under conditions of prolonged isolation and in the absence of external support. Research conducted by NASA, ESA, and the international scientific community has progressively established these principles as a benchmark for the design of habitats intended for space exploration and other extreme environments.

However, during the design phase of the OXYGEN program, a particularly significant consideration emerged. Many of the critical challenges addressed in the development of space habitats are surprisingly similar to those characterizing terrestrial scenarios affected by natural disasters, humanitarian crises, or extreme events. In such contexts as well, it becomes necessary to rapidly provide safe, transportable, modular, energy-efficient, self-sufficient, and easily adaptable environments capable of ensuring the continuity of essential functions in the absence of traditional terrestrial infrastructure.

At the same time, a review of the international literature on emergency housing and emergency management has highlighted that current solutions still largely fall within the paradigm of temporary shelter, designed to address the immediate needs of the emergency phase. Numerous international studies and documents, however, emphasize that these structures—often designed for short-term stays—are in practice used for much longer periods, highlighting critical issues related to environmental comfort, the quality of living spaces, privacy, energy efficiency, and the continuity of essential services. At the same time, the most recent guidelines on disaster risk reduction, urban resilience, and preventive planning highlight the need to move beyond an exclusively reactive approach, steering design toward resilient, integrated infrastructure that is in place before an emergency occurs.

The OXYGEN Emergency project stems from this convergence between space research and emergency management. The goal is not to replicate a lunar habitat on Earth, nor to propose a simple evolution of traditional emergency structures, but to apply to terrestrial contexts the design principles developed by Space Architecture for the creation of infrastructure capable of operating in extreme environments. From this perspective, the project serves as an application

of the design principles developed by Space Architecture to the field of emergency management, interpreting crises not as purely temporary events, but as scenarios in which it is necessary to ensure operational continuity, safety, dignified living conditions, and adaptability. Within this framework, OXYGEN Emergency serves as a technology demonstrator for the SS_AU Settlements model, representing the intersection between research on living in space and the new demands of resilient planning. More than just a new housing system, it serves as concrete proof of how the established principles of architecture for extreme environments can contribute to the development of a new generation of modular, deployable, and resilient infrastructure, designed to support communities throughout the various phases of emergency management.

4.2 Space Architecture and Emergency Architecture: Common Design Principles in Extreme Environments

The design of habitats for extreme environments is now an interdisciplinary field of research that integrates architecture, engineering, environmental sciences, human factors, and life support systems. Within the field of Space Architecture, this discipline has evolved to meet the demands of human space exploration, where habitats must ensure safety, habitability, and operational continuity in contexts characterized by isolation, resource scarcity, the inability to receive immediate assistance, and environmental conditions incompatible with human life. In this scenario, the habitat is not merely a built space, but an integrated infrastructure designed to support the entire human-environment system throughout all phases of the mission.

An analysis of the scientific literature highlights how the principles guiding the design of space habitats also find application in other terrestrial contexts characterized by extreme operating conditions, such as polar research stations, desert settlements, remote mining facilities, offshore platforms, and infrastructure dedicated to emergency management.

Although these scenarios differ in terms of environmental characteristics and operational objectives, they share a set of common design requirements, stemming from the need to ensure human survival and operational capability under conditions of severely limited available resources.

Among these requirements, the following are particularly important: modularity, which allows the infrastructure to be progressively adapted to different operational needs; rapid deployment, which is essential for reducing the time required to activate facilities; transportability, which allows modules to be moved even to hard-to-reach areas; energy and functional autonomy, which is necessary in contexts where infrastructure networks are compromised or nonexistent;

resource efficiency, aimed at reducing consumption and maximizing performance; system resilience, understood as the ability to maintain operational continuity even under adverse conditions; and finally, a human-centered approach, which considers comfort, safety, privacy, and physical and mental well-being to be essential elements of the design rather than mere ancillary aspects. These principles now represent the common thread in design for extreme environments, regardless of the application context.

The analogy with emergency scenarios is therefore clear. Following an earthquake, a flood, a volcanic eruption, or a humanitarian crisis, the affected area faces operational conditions that, in many respects, are comparable to those of extreme environments: disruption of power and communication networks, limited access to essential resources, logistical challenges, and the need to rapidly provide safe spaces and ensure the continuity of essential services. In such circumstances, the challenge lies not merely in providing temporary shelter, but in establishing infrastructure capable of sustaining the community's vital functions throughout all phases of emergency management.

The most recent international literature on Disaster Risk Reduction, urban resilience, and preventive planning confirms this conceptual evolution. The main reference documents—from the Sendai Framework for Disaster Risk Reduction to the 2030 Agenda, from the New Urban Agenda to the most recent European strategies on preparedness—highlight the need to move beyond an exclusively reactive approach to emergencies by promoting territorial systems capable of ensuring operational continuity, adaptability, and responsiveness even before a disaster strikes.

At the same time, standards developed by international organizations such as UNHCR, Sphere, and IFRC emphasize that the performance requirements for temporary settlements can no longer be limited to mere physical protection but must also include aspects related to the quality of life, health, safety, privacy, accessibility, and dignity of the people receiving assistance.

However, the literature review conducted as part of this research highlights a particularly interesting aspect. Although the transfer of numerous space technologies to civilian applications—such as advanced materials, water purification systems, environmental control technologies, and energy-efficiency solutions—has been extensively documented, there are still few studies analyzing the application of the principles of space architecture to the design of emergency housing systems. In other words, while the technology transfer of individual components is a well-established practice, the application of space architecture as a design

model for creating resilient housing systems intended for vulnerable areas remains largely unexplored.

It is precisely within this context that the OXYGEN Emergency project is situated. The objective is not to reproduce a space habitat on Earth, but rather to apply a set of established design principles—modularity, autonomy, rapid deployment, resource efficiency, resilience, and a human-centered approach—to infrastructure dedicated to civil protection and emergency preparedness.

From this perspective, Space Architecture does not represent the project's field of application, but rather the methodological framework from which the design criteria are derived—criteria that enable a new conception of emergency infrastructure, consistent with the SS_AU Settlements model and the most recent international guidelines on territorial resilience.

4.3 RESULTS. OXYGEN Emergency: A Technology Demonstrator of the SS_AU Settlements Model

In light of the design principles described in the previous section, the OXYGEN Emergency project serves as a technology demonstrator to verify the practical applicability of Space Architecture to systems designed for terrestrial emergency management. The prototype was not conceived as a simple evolution of traditional temporary shelters, but as an experimental application of a different design approach, aimed at creating modular, deployable, and resilient infrastructure capable of ensuring operational continuity throughout the various phases of an emergency.

The system's architecture was developed based on the same methodological principles used in the design of habitats for extreme environments. The structure consists of an inflatable module with high logistical efficiency, designed to reduce volume during transport and enable rapid operational deployment directly in the intervention area. The choice of an inflatable structure stems from the need to maximize the ratio of habitable volume to transport volume, thereby reducing deployment times, logistical footprint, and operational complexity—principles already well-established in the design of space habitats and fully consistent with the requirements of emergency management.

The modular configuration also allows the infrastructure to be adapted to different functional needs,

facilitating the gradual integration of additional units intended for healthcare, logistics, operational, or community support activities.

In line with the SS_AU Settlements model, the prototype was conceived not as an isolated element, but as a component of a broader settlement system, designed to be integrated in to pre-planned areas equipped with the necessary support infrastructure. In this configuration, the module serves as a functional unit capable of contributing to the continuity of essential activities, ensuring safe and rapidly available spaces for assisting the population, coordinating operations, providing healthcare services, carrying out logistical activities, or performing other strategic functions identified by land-use planning tools.

The design of the demonstrator has prioritized performance requirements widely recognized in the international literature as critical to the resilience of emergency infrastructure: speed of installation, modularity, transportability, adaptability to different operational scenarios, efficient use of resources, reduced logistical footprint, and the possibility of reuse in subsequent missions.

The design of the demonstrator has prioritized performance requirements widely recognized in the international literature as critical to the resilience of emergency infrastructure: rapid deployment, modularity, transportability, adaptability to different operational scenarios, efficient use of resources, a reduced logistical footprint, and the ability to be reused in subsequent missions.

These characteristics are complemented by a particular focus on the quality of the living space, taking into account aspects such as environmental comfort, safety, accessibility, and the well-being of occupants—factors now recognized by international standards as fundamental to ensuring the dignity of those receiving assistance, even during prolonged stays.

From this perspective, the housing module is not viewed solely as a temporary shelter, but as an integral part of an infrastructure capable of supporting key operational functions during emergency management. This approach is consistent with the most recent international strategies aimed at strengthening preparedness and territorial resilience, in which the ability to ensure the continuity of essential services represents one of the priority objectives of disaster risk reduction policies.

In this regard, OXYGEN Emergency serves a dual purpose. On the one hand, it acts as an experimental demonstrator through which to verify the operational application of the principles of Space Architecture in the design of infrastructure dedicated to emergency management; on the other hand, it serves as a tool for validating the SS_AU Settlements model, demonstrating how the quality of performance offered by housing units depends not only on the technological

characteristics of individual modules but, above all, on their proactive integration within a planned, flexible territorial system that is adaptable to different types of risk.

The value of the project therefore lies not solely in the technological innovation of the structure, but in the opportunity to experiment with a new design paradigm, in which habitats developed for extreme environments become part of a resilient territorial infrastructure capable of supporting communities throughout the entire emergency management cycle. From this perspective, OXYGEN Emergency serves as the link between research on living in space and future preventive planning strategies for vulnerable territories, helping to transform emergencies from purely reactive events into an integral component of urban and territorial resilience policies.

4.4 Toward a New Generation of Resilient Infrastructure

The analysis presented in this chapter highlights how the technologies and design principles developed in the field of Space Architecture can contribute to the evolution of contemporary emergency management and land-use planning strategies. The transfer of these principles to terrestrial contexts is not merely a matter of technological application, but rather an opportunity to introduce a different design paradigm, in which temporary infrastructure is progressively reinterpreted as resilient, modular, and planable systems capable of ensuring operational continuity throughout all phases of emergency management.

International literature highlights how the effects of climate change, the increased frequency of extreme events, the intensification of seismic and hydrogeological phenomena, and the growing complexity of humanitarian crises require tools increasingly focused on prevention and preparedness. In this context, the traditional concept of temporary shelter—designed primarily to meet immediate protection needs—is showing increasingly evident limitations when it comes to ensuring prolonged stays, the continuity of essential services, and the quality of the built environment.

These same international standards emphasize that emergency settlements must ensure not only physical protection, but also the safety, accessibility, dignity, health, and well-being of the communities involved.

From this perspective, emergency architecture is called upon to play an increasingly strategic role within land-use planning. Mobile housing units are no longer merely a response to the post-event phase, but can become permanent components of urban resilience strategies—planned in advance, integrated with existing infrastructure, and rapidly deployable in response to different types of risk. This evolution is fully consistent with the guidelines set forth by the

Sendai Framework for Disaster Risk Reduction, the 2030 Agenda, the New Urban Agenda, and the most recent European strategies on preparedness, which identify preventive planning, adaptability, and infrastructure resilience as fundamental elements for disaster risk reduction.

The experience gained in the field of space exploration offers, in this regard, a particularly significant body of knowledge. The design of habitats intended for extreme environments has, in fact, consolidated methodologies focused on modularity, operational autonomy, resource efficiency, rapid deployment, and the centrality of human factors—principles that are fully consistent with the emerging needs of crisis management at the local level. However, the literature review conducted as part of this research highlights that, while the use of individual space technologies in the civilian sector is well documented, the adoption of Space Architecture as a methodological framework for the design of emergency housing infrastructure remains limited. This gap identifies an area of research and experimentation of particular interest for future developments.

In this context, OXYGEN Emergency takes on a significance that goes beyond a single prototype. The project serves as a case study through which to test the application of architectural principles for extreme environments to the proactive planning of vulnerable territories, helping to validate the SS_AU Settlements model and fostering a broader discussion on the role that modular infrastructure can play in future resilience policies.

More generally, the research suggests that it is advisable to move beyond the traditional distinction between space architecture and emergency architecture, recognizing the existence of a shared set of design principles common to all environments characterized by high operational hostility. This convergence opens up new avenues for interdisciplinary research, in which the transfer of knowledge between the space sector, civil protection, urban planning, and risk management can contribute to the development of increasingly adaptable, sustainable, and resilient infrastructure.

In conclusion, OXYGEN Emergency is not proposed as a definitive solution to the problems of emergency housing, but rather as a technology demonstrator capable of verifying the transferability of a new design approach. The value of this research therefore lies not only in the development of a specific technology, but in the potential to contribute to the creation of a paradigm in which habitats designed for the most extreme environments become tools that support the safety, resilience, and continuity of communities exposed to natural and human-induced risks (fig.7).

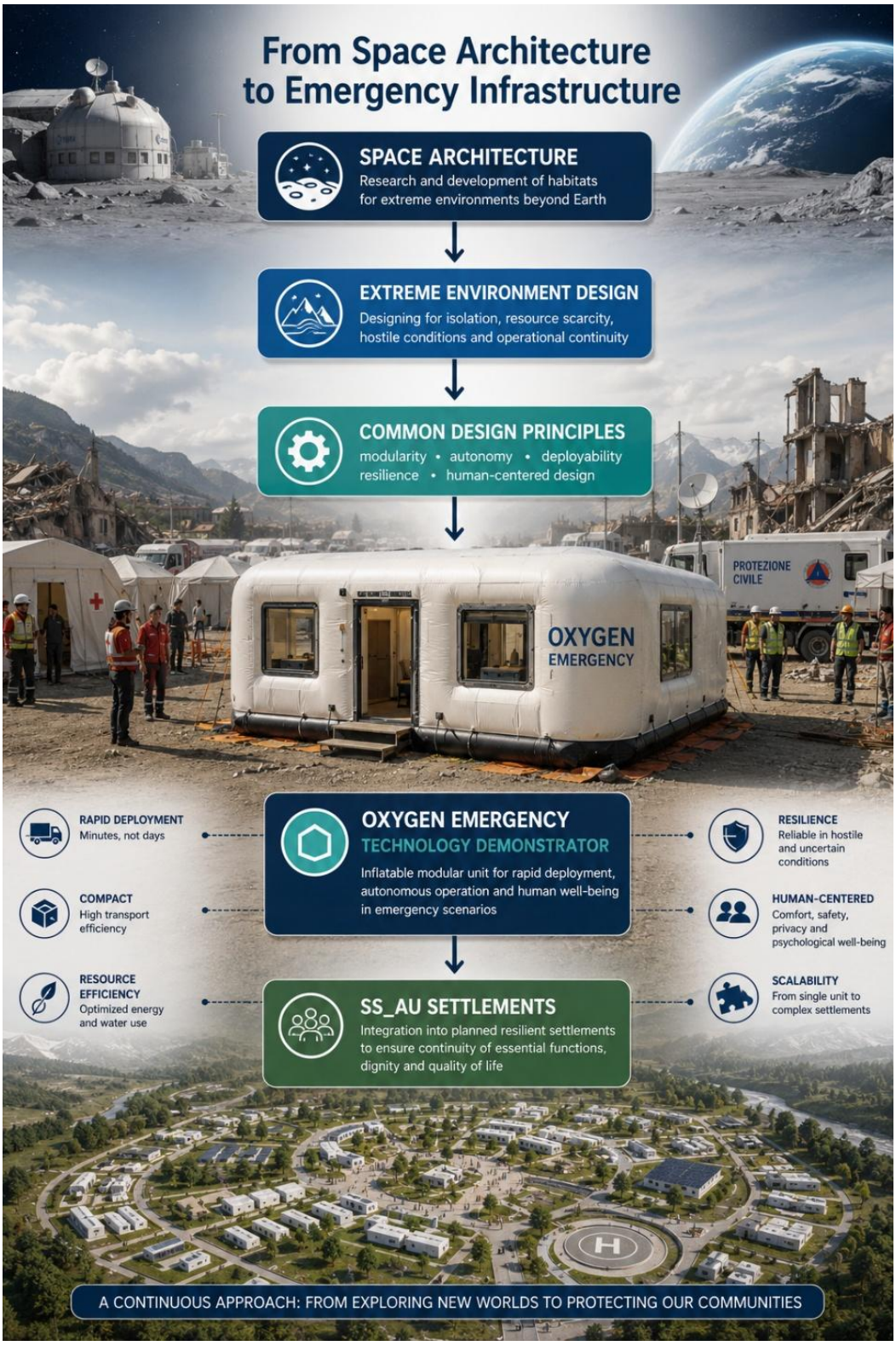


Fig. 7 –SS_AU Settlements
(Graphic design by Gabriele Carrozza)

1) The SS_AU SETTLEMENTS SELF-SUFFICIENT AND AUTONOMOUS module was designed and illustrated by Celestina Fazia and Antonia Postorino. The OXYGEN Emergency module was designed and illustrated by Gabriele Carrozza (co-founder of iSaisei Corporation)

REFERENCES

Agenda 2030 for Sustainable Development. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations.

Alexander, D. (2002). *Principles of emergency planning and management*. Oxford University Press.

Alexander, D. (2013). Resilience and disaster risk reduction: An etymological journey. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 13*, 2707–2716.

Ban, S. (2014). *Shigeru Ban: Complete works 1985–today*. Taschen.

Birkmann, J. (Ed.). (2006). *Measuring vulnerability to natural hazards: Towards disaster resilient societies*. United Nations University Press.

Bosher, L. (Ed.). (2014). *Hazards and the built environment: Attaining built-in resilience*. Routledge.

Bosher, L., & Dainty, A. (2011). *Disaster risk reduction and the built environment*. Wiley-Blackwell.

Campanella, T. J. (2006). Urban resilience and the recovery of New Orleans. *Journal of the American Planning Association, 72*(2), 141–146.

Circolare del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici n. 7 del 21 gennaio 2019. *Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018*.

Cohen, M. M. (2015). *Space architecture: The human dimension*. American Institute of Aeronautics and Astronautics.

Decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380. *Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia*.

Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152. *Norme in materia ambientale*.

Decreto Legislativo 2 gennaio 2018, n. 1. *Codice della Protezione Civile*.

Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018. *Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018)*.

Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri 30 aprile 2021. *Indirizzi per la predisposizione dei Piani comunali di protezione civile*.

European Commission. (2018). Translating the Sendai Framework into action: The EU approach to ecosystem-based disaster risk reduction. *International Journal of Disaster Risk Reduction, 32*, 4–10.

European Commission. (2019). *The European Green Deal*. European Commission.

European Commission. (2021). *New European Bauhaus: Beautiful, sustainable, together*. European Commission.

European Commission. (2025). *Safer together: Strengthening Europe's civil and military preparedness and readiness*. Publications Office of the European Union.

European Commission Joint Research Centre. (2015). *Guidance for recording and sharing disaster damage and loss data*. European Commission.

Frampton, K. (1982). *Modern architecture: A critical history*. Thames & Hudson.

Fuller, R. B. (1969). *Operating manual for Spaceship Earth*. Southern Illinois University Press.

Godschalk, D. R. (2003). Urban hazard mitigation: Creating resilient cities. *Natural Hazards Review, 4*(3), 136–143.

Howe, A. S., & Sherwood, B. (2009). *Out of this world: The new field of space architecture*. American Institute of Aeronautics and Astronautics.

Imperiale, A. J., & Vanclay, F. (2019). Command-and-control, emergency powers, and the failure to observe United Nations disaster management principles following the 2009 L'Aquila earthquake. *International Journal of Disaster Risk Reduction, 36*, 101099.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). *Climate Change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability*. Cambridge University Press.

International Organization for Standardization. (2019). *ISO 37123: Sustainable cities and communities — Indicators for resilient cities*. ISO.

Johnson, C. (2007). Strategic planning for post-disaster temporary housing. *Disasters*, *31*(4), 435–458.
Legge 24 febbraio 1992, n. 225. *Istituzione del Servizio nazionale della protezione civile* (abrogata dal D.Lgs. 2 gennaio 2018, n. 1).
Meerow, S., Newell, J. P., & Stults, M. (2016). Defining urban resilience: A review. *Landscape and Urban Planning*, *147*, 38–49.
Menduni, G., & Bignami, D. F. (2021). Piani comunali di protezione civile: origini, sviluppo e nuove azioni di pianificazione territoriale. *Territorio*, *96*, 137–146.
National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. (2023). *Space technology for humanitarian assistance and disaster response*. The National Academies Press.
NASA. (2014). *Human integration design handbook* (NASA/SP-2010-3407, Rev. 1). National Aeronautics and Space Administration.
NASA. (2022). *NASA Space Flight Human System Standard, Volume 2: Human factors, habitability, and environmental health* (NASA-STD-3001, Vol. 2, Rev. C). National Aeronautics and Space Administration.
OECD. (2018). *Resilient cities: Policy highlights*. OECD Publishing.
Pezzica, C., Cutini, V., Bleil de Souza, C., & Aloini, D. (2022). The making of cities after disasters: Strategic planning and the Central Italy temporary housing process. *Cities*, *131*, 104053.
Prouvé, J. (2005). *Jean Prouvé: Complete works*. Birkhäuser.
Quarantelli, E. L. (1995). *Patterns of sheltering and housing in American disasters*. Disaster Research Center.
Rapoport, A. (1969). *House form and culture*. Prentice Hall.
Rykwert, J. (1972). *On Adam's house in paradise*. MIT Press.
Sphere Association. (2018). *The Sphere handbook: Humanitarian charter and minimum standards in humanitarian response* (4th ed.). Sphere Association.
Trombetta, A (1999). La città di legno, i baraccamenti dopo il sisma del 1908 a Reggio Calabria, De Franco editore, Reggio Calabria.
U.S. Army Natick Laboratories. (1965). *Inflatable structures for military applications*. U.S. Army Natick Laboratories.
UN-Habitat. (2016). *New Urban Agenda*. United Nations.
United Nations High Commissioner for Refugees. (2020). *UNHCR emergency handbook*. UNHCR.
United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2015). *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015–2030*. United Nations.
United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2017). *Words into Action Guidelines: National disaster risk assessment*. United Nations.
United Nations Office for Disaster Risk Reduction. (2019). *Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction 2019*. United Nations.
United Nations Office for Outer Space Affairs. (2024). *Space supporting the Sustainable Development Goals*. United Nations.
United States Air Force, Wright Air Development Division. (1963). *Conference on expandable structures*. Wright Air Development Division.
Vale, L. J., & Campanella, T. J. (Eds.). (2005). *The resilient city: How modern cities recover from disaster*. Oxford University Press.

TÜRKİYE İÇİN İNSAN MERKEZLİ EDİTORYAL YAPAY ZEKÂ HABERCİLİĞİ MODELİ: RİSK TEMELLİ BİR HABER ODASI KARAR ÇERÇEVESİ

Dr. Öğr. Üyesi Mehmet CEYLAN
Zonguldak Bülent Ecevit University, Faculty of Communication, Department of New Media and Communication, 67000 İncivez Merkez, Zonguldak
ORCID ID: 0009-0006-1303-9344

ÖZET

Üretken yapay zekâ teknolojileri, haber toplama, veri işleme, transkripsiyon, çeviri, özetleme, başlık önerisi, haber taslağı oluşturma, görsel/ses/video üretimi ve dağıtım gibi haber odası süreçlerinde giderek daha yaygın biçimde kullanılmaktadır. Ancak bu kullanım yalnızca hız ve verimlilik açısından bir odaklanmadan ziyade; doğruluk, kaynak güvenilirliği, insan denetimi, şeffaflık, mahremiyet, telif, manipülasyon, sentetik medya, okur güveni ve hesap verebilirlik açısından da değerlendirilmesi gerekmektedir. Uluslararası kuruluşların etik belgeleri, haber odası rehberleri ve Türkiye'deki hukuki ya da mesleki çerçeveler önemli bir çerçeve sunmuş olsalar da, haber kuruluşlarının günlük iş akışında kullanabileceği somut risk temelli ve insan merkezli bir editoryal karar modeline sahip değildirler. Bu boşluktan yola çıkarak çalışma, Türkiye'de habercilik alanında yapay zekâ kullanımını kamusal yarar, kaynak doğruluğu, insan denetimi, şeffaflık, risk düzeyi ve hesap verebilirlik eksenlerinde değerlendirebileceği insan merkezli ve risk temelli bir karar çerçevesi geliştirmeyi amaçlamaktadır. Nitel doküman analizi ve kavramsal model geliştirme yaklaşımıyla kurgulanan çalışmada; akademik literatürden yola çıkarak uluslararası yapay zekâ etik/politika belgeleri, haber odası rehberleri ve Türkiye bağlamındaki hukuki/mesleki belgelerden yararlanılmıştır. Çalışmada önerilen İnsan Merkezli Editoryal Yapay Zekâ Haberciliği Modeli (İMEY-HAB Modeli) ile altı eksenden oluşan bir karar çerçevesi sunulmuştur. Ayıca bu modelle birlikte yapay zekâ kullanımını düşük, orta ve yüksek riskli biçimlere ayırarak haber odaları için uygulanabilir bir karar ağacı da önermektedir. Model, yapay zekânın haber odasında editoryal özne olarak değil, insan denetimi altında çalışan; kamusal yarar, doğruluk, şeffaflık ve hesap verebilirlik ilkeleriyle sınırlandırılması gereken yardımcı bir teknoloji olarak konumlandırılmasına katkı sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ haberciliği, insan merkezli yapay zekâ, gazetecilik etiği, risk temelli model, şeffaflık, hesap verebilirlik

A HUMAN-CENTERED EDITORIAL AI JOURNALISM MODEL FOR TÜRKİYE: A RISK-BASED DECISION FRAMEWORK FOR NEWSROOMS

ABSTRACT

Generative artificial intelligence technologies are increasingly being used in newsroom processes such as news gathering, data processing, transcription, translation, summarization, headline suggestions, news draft generation, visual/audio/video production, and distribution. However, rather than focusing solely on speed and efficiency, this usage must also be evaluated in terms of accuracy, source reliability, human oversight, transparency, privacy, copyright, manipulation, synthetic media, audience trust, and accountability. Although ethical documents issued by international organizations, newsroom guidelines, and legal or professional frameworks in Türkiye provide an important frame of reference, news organizations do not possess a concrete, risk-based, and human-centered editorial decision model that can be employed in their daily workflows. Departing from this gap, the study aims to develop a human-centered and risk-based decision framework that can evaluate the use of artificial intelligence in journalism in Türkiye along the axes of public interest, source accuracy, human oversight, transparency, risk level, and accountability. Designed through a qualitative document analysis and conceptual model development approach, the study draws upon academic literature, international AI ethics/policy documents, newsroom guidelines, and legal/professional documents within the Turkish context. The study proposes the Human-Centered Editorial Artificial Intelligence Journalism Model (İMEY-HAB Model), presenting a decision framework composed of six axes. Additionally, this model classifies AI usage into low, medium, and high-risk categories and proposes an applicable decision tree for newsrooms. The model contributes to positioning artificial intelligence not as an editorial agent in the newsroom but as an assistive technology operating under human oversight, which must be constrained by the principles of public interest, accuracy, transparency, and accountability.

Keywords: AI journalism, human-centered artificial intelligence, journalism ethics, risk-based model, transparency, accountability

1. GİRİŞ

İnsanların habere ve bilgiye olan gereksinimi tarih boyunca aynı kalsa da her teknolojik süreçler haber üretim, sunum ve dağıtım süreçlerinde önemli etkiler oluşturmuştur. Yapay zekâ (YZ) teknolojilerinin gelişimi, özellikle üretken yapay zekâ (Generative AI) sistemlerinin habercilik alanına entegrasyonu da meslek üretim süreçlerinde köklü bir dönüşüme neden olmuştur. Otomatik habercilik uygulamalarıyla başlayan ve verilerin algoritmalar aracılığıyla

şablon haberlere dönüşümüyle sınırlı olan bu süreç, şimdileri büyük dil modelleriyle (LLM) yeni bir boyuta taşınmıştır (Diakopoulos, 2019; Graefe, 2016). Artık haber odalarında; fikir bulma, büyük veri setlerini tarama, röportaj transkripsiyonu, metin çevirisi, arşiv özetleme, doğrudan haber taslağı oluşturma, sosyal medya metni hazırlama, kişileştirme ve hatta görsel, ses ile video oluşturma süreçleri insan yüküne eş değer bir hengamenin sonunda değil, yapay zekânın derin sessizliğiyle hazırlanmaktadır (Cools & Diakopoulos, 2024; Nishal & Diakopoulos, 2024). Bu çok boyutlu kullanım alanı, gazetecilik pratiklerinde hız ve verimlik potansiyelini artırmaktadır. Ancak, yapay zekâ kullanımı mesleğin temel değerlerini derinden sarsabilecek yapısal riskleri de beraberinde getirmektedir.

Yapay zekânın habercilik üzerindeki etkileri sadece verimlilik, maliyet düşürme ve hız üzerinden değerlendirilemez. Bu sistemler üzerinde yapılan güncellemeler her ne kadar hızlı bir şekilde ilerlese de barındırdığı zafiyetler, editoryal süreçler üzerinde çok katmanlı sorunlara yol açabilmektedir. Modellerin uydurma içerikler üretmesi (-ki bunlar çok mantıklı gelebilir), toplumsal ön yargıları ısıtması ve yararlandığı kaynakların şeffaf olmaması, gazeteciliğin en temel ilkelerini tehdit etmektedir (Opdahl vd., 2023). Bunun yanında telif hakları, kişisel verilerin kullanılması ve mahremiyet sorunları, deepfake gibi teknolojilerle gerçekliğin manipüle edilmesi, editoryal bağımsızlığın teknolojiyi üreten şirketlere devredilmesi ve tüm bunların sonunda okur güveninin zedelenmesi gibi riskler giderek daha belirgin hale gelmektedir (Toff & Simon, 2024; Wang & Huang, 2024). Bu bağlamda, yapay zekâ araçlarının hangi amaçla, haber üretiminin hangi aşamasında, hangi insan denetimiyle ve hangi şeffaflık mekanizmasıyla kullanılacağı belirlenmediğinde, editoryal sorumluluk ve kamusal güven zarar görebilir.

Yapılan bilimsel çalışmalar, otomatik gazetecilikten yapay zekâyla haber üretimine geçen bu süreçte ortaya çıkan etik riskleri yönetebilmek için etik çerçeveler ve politika önerileri sunmaktadır. Tartışmalar, teknolojinin insan karar alma süreçlerinin yerini almasından ziyade "insan merkezli yapay zekâ" (human-centered AI) yaklaşımı üzerinde durmaktadır. Nihai kararın insanda olması gerektiği, dolayısıyla sorumluluğun da insanda kalması gerektiği odağındaki bu düşünce "human-in-the-loop" (süreçte insan denetimi) ilkesini temel almaktadır (Carlson, 2015; Thäsler-Kordonouri, 2024). Diğer yandan yapay zekâ kullanımının açıklanması ise bir pradoks olarak karşımızda durmaktadır. Nitekim okurlar yapay zekâ ile üretildiği belirtilen haberleri genellikle daha az güvenilir bulmakta, bu durum ise şeffaflığın her zaman güveni artırmadığı ampirik olarak ortaya konulmaktadır (Toff & Simon, 2024; Nanz vd., 2025). Bu durum kullanımın etkilenmesinden ziyade risk temelli bir şeffaflık yaklaşımına

işaret etmektedir. Uluslararası düzeyde UNESCO (2021) ve OECD (2024) gibi kurumların etik tavsiyeleri, Avrupa Birliği Yapay Zekâ Yasası'nın (EU AI Act, 2024) risk temelli yaklaşımı ve Sınır Tanımayan Gazeteciler öncülüğünde hazırlanan Paris Yapay Zekâ ve Gazetecilik Şartı (RSF, 2023) bu alandaki mesleki olarak temel normları belirlemektedir. Bunların yanında Reuters, The Guardian ve Associated Press (AP) gibi küresel medya kuruluşları da kendi üretim ve editoryal süreçleri için oluşturdukları rehberler üzerinden, üretken yapay zekânın kaynak olarak kabul edilebilmesi ve editoryal bağımsızlığın korunması yönünde ilkeler benimsemiştir (CNTI, 2026).

Uluslararası düzeydeki bu gelişmelerin Türkiye bağlamında nasıl yankı bulduğu, yerel dinamikleri anlamak açısından kritik öneme sahiptir. Türkiye'de Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından hazırlanan Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi (2021-2025) ve Yapay Zekâ Eylem Planı (2026-2030), güvenilir ve insan merkezli bir ekosistem inşasını hedeflemektedir. Kişisel Verileri Koruma Kurumu'nun (KVKK, 2021) yapay zekâ alanındaki tavsiyeleri, haber üretiminde veri güvenliği ve mahremiyet noktasında sınırları çizmektedir. Ayrıca Basın Konseyi'nin Basın Meslek İlkeleri ile Türkiye Gazetecileri Hak ve Sorumluluk Bildirgesi, gazeteciliğin etik ilkeler bağlamında yaşanan değişimlerden korunmasını zorunlu kılmaktadır. Medya sektörü özelinde ise Anadolu Ajansı (2024) "Medyada Yapay Zekâ Etik Kullanım Rehberi" ile gerçeğe sadakat, şeffaflık ve insan denetimi ilkelerini vurgulayarak yerel bağlamda önemli bir kurumsal adım atmıştır. Akademik olarak yerel bağlam üzerindeki tartışmalar ise üretken yapay zekâya geçişin getirdiği etik sorunları ve dezenformasyon risklerini tartışmaktadır (Ay, 2023; Böyük, 2023; Gül, 2024; Kayıhan VD., 2021). Ancak, uluslararası belgeler ve haber kuruluşları ile yerel bağlamı temsil eden girişimler temel etik ilkeler sunsa da Türkiye'de haber kuruluşlarının günlük iş akışları içerisinde kullanabilecekleri, risk düzeylerine göre ayrıştırılmış, insan merkezli, şeffaflık ve hesap verebilirlik kararlarını içeren somut bir editoryal model ihtiyacı bulunmaktadır.

Mevcut çalışmalar ve kurumsal rehberler incelendiğinde, genel etik ilkeler ile mesleki somut uygulamalar arasında belirgin bir boşluk bulunmaktadır. Bu çalışmaların çoğu yapay zekânın fırsat ve risklerini kavramsal olarak tartışmakta ya da genel geçer kurumsal niyet beyanları sunmaktadır. Ancak, yapılan bu çalışmalar ve niyet beyanları "bu kullanım düşük, orta veya yüksek riskli midir?", "okura açıklama gerekir mi?", "nihai karar kimde olmalıdır?" ve "hata olduğunda kim sorumludur?" gibi sorulara yanıt vermekte yetersiz kalmaktadır. Özellikle, Türkiye bağlamında, genel etik ilkelerin haber üretim pratiğine çevrilmesini sağlayacak, hukuki ve mesleki gerçeklerle uyumlu operasyonel bir çerçeve eksikliği göze çarpmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Türkiye'de haber odalarının yapay zekâ kullanımını kamusal yarar, kaynak doğruluğu, insan denetimi, şeffaflık, risk düzeyi ve hesap verebilirlik eksenlerinde değerlendirebileceği insan merkezli, risk temelli ve uygulanabilir bir editoryal karar modeli geliştirmektir. "İnsan Merkezli Editoryal Yapay Zekâ Haberciliği Modeli" (İMEY-HAB Modeli) olarak adlandırılan bu yapı, yapay zekâ kullanımlarını düşük (yazım denetimi, transkripsiyon gibi), orta (başlık önerisi, veri tarama gibi) ve yüksek riskli (doğrudan haber üretimi, sentetik görsel gibi) olmak üzere üç kademede sınıflandırarak, her bir risk düzeyi için gerekli insan denetimi ve şeffaflık adımlarını tanımlamaktadır.

Çalışma, uluslararası yapay zekâ etiği ilkelerini, gazetecilik meslek değerlerini, haber odası AI rehberlerini ve Türkiye'deki hukuki/etik bağlamı bir araya getirerek uygulanabilir bir model önerisi geliştirmektedir. Nitel doküman analizi ve kavramsal model geliştirme yaklaşımıyla kurgulanan bu çalışmada; akademik literatür, uluslararası yapay zekâ etik ve politika belgeleri, medya kuruluşu yapay zekâ rehberleri ile Türkiye'deki hukuki, mesleki ve kurumsal belgeler incelenmiştir. Araştırma ve bulgular bölümünde sırasıyla; yapay zekâ haberciliğinin kullanım alanları ve riskleri tartışılacak, insan merkezli yapay zekâ ve gazetecilik etiği ilişkisi kurulacak, uluslararası ve ulusal rehberlerin karşılaştırmalı okuması yapılacak, ardından İMEY-HAB Modeli'nin altı eksenli yapısı, risk düzeyleri ve bir karar ağacı sunulacaktır.

2. İNSAN MERKEZLİ EDİTORYAL YAPAY ZEKÂ HABERCİLİĞİ MODELİ (İMEY-HAB MODELİ)

2.1. YAPAY ZEKÂ HABERCİLİĞİ: KULLANIM ALANLARI VE RİSKLER

Yapay zekâ haberciliği, teknolojinin evrimine bağlı olarak sürekli bir devinim içerisindedir. İlk dönemde, büyük ölçüde veri temelli yapılandırılmış ve rutin haber üretiminin algoritmalar aracılığıyla gerçekleştirildiği "otomatik gazetecilik" uygulamaları öne çıkmıştır (Diakopoulos, 2019; Graefe, 2016). Ancak büyük dil modellerinin (LLM) ve üretken yapay zekâ (Generative AI) sistemlerinin hayatımıza girmesi bu tabloyu kökten değiştirmiştir. Çünkü, üretken yapay zekâ sadece verileri şablonlara yerleştirmekle kalmayıp; metin, görüntü, ses ve video üretebilen, karmaşık çevirileri ve özetlere basitçe yapabilen, içerik öneren ve haber dağıtımını kişiselleştirebilen geniş bir teknolojik kapasite sunmaktadır (Cools & Diakopoulos, 2024). Bu dönüşüm, yapay zekânın gazetecilikte editoryal bir özne olarak değil, insan denetimi altında kullanılması gereken "yardımcı" bir teknoloji olarak konumlandırılmasını zorunlu kılmaktadır. Nitekim "insan merkezli yapay zekâ" yaklaşımı, teknolojinin gazetecilik muhakemesinin

yerini alamayacağını, sadece bu süreci destekleyecek bir araç olduğunu vurgular (Carlson, 2015; Opdahl vd., 2023).

Haberin üretim aşamasından dağıtımına kadar geniş bir yelpazede değerlendirebileceğimiz habercilikteki yapay zekâ kullanımı; sosyal medya izleme, trend analizi ve gündem taraması gibi birçok işlevi üstlenmektedir. Bu kullanım, büyük veriyi işleme esnasında gözden kaçabilecek örüntüleri fark etme noktasında fayda sunarken, tık ekonomisini güçlendirme ve kamusal yararın algoritmik görünürlüğe tercih edilmesi gibi riskler barındırmaktadır (Diakopoulos, 2019). Araştırmacı gazeteciliğe büyük destek sağlayan bu gelişmeler, haber üretiminin farklı aşamalarında doğrulanmamış kaynak kullanımı, "halüsinasyon" durumu ile bağlamın çarpıtılması ve kaynak izlenebilirliğin kaybolması gibi ciddi riskleri beraberinde getirmektedir (Nishal & Diakopoulos, 2024).

Habercilikte yapay zekânın en çok kullanılan alanlardan biri olan çeviri ve özetleme işlemleri, röportaj çözümleme, toplantı notlarının çıkarılması ve yabancı kaynakların analizi olmaktadır. Büyük verimlilik ve zaman kazanımı sağlanan bu işlemler ne var ki, anlam kayması, bağlam kaybı, dilsel ve ideolojik tonlama ile özellikle hassas konularda özel verilerin ihlali ve kaynak gizliliğinin etik bağlam dışına taşmasına neden olabilmektedir (Cools & Diakopoulos, 2024). Benzer şekilde, yapay zekâ kullanımının haber dilinin tekdüzeleşmesi, editoryal üslubun kaybı ve anlamın farkında olmadan değişmesi riskleri de bulunmaktadır (Diakopoulos, 2019). Bu durum, içerik dağıtımını optimize etme fırsatı sunsa da; kamusal değerini salt etkileşim metriklerine indirgeme tehlikesi taşımaktadır. Gazeteciliğin editoryal muhakemesini zayıflatan ve sorumluluk zincirini bulanıklaştıran durumlar göz önüne alındığında (Thäsler-Kordonouri, 2024); deepfake teknolojisiyle manipülasyon yapılması, gerçeklik algısının bozulması, haberin görsel kanıt değerinin zedelenmesi ile telif ve kişilik haklarının ihlali gibi kritik sorunlara yol açmaktadır (Nishal & Diakopoulos, 2024). Nitekim makine yazarlığının okur güvenilirlik algısını olumsuz etkilediği meta-analitik düzeyde kanıtlanmıştır (Wang & Huang, 2024). Aynı zamanda erişim artıran işlemlerde politik kutuplaşmayı derinleştirme riskleri de bulunmaktadır. Son olarak, arşivleme ve sınıflandırma süreçlerinde kurumsal hafıza güçlense de, hatalı sınıflandırma ve geçmiş içeriklerin bağlam dışı yeniden kullanımı editoryal sorunlar yaratabilir.

Yapay zekâ kullanımında risk düzeyi, sadece kullanılan araca göre değil; kullanım amacına ve bunun mesleki ilkeler ve kamusal etki sınırıyla birlikte değerlendirilmelidir. Örneğin; bir röportajın transkripsiyonu genel olarak düşük riskli olarak görülür; ancak gizli bir kaynağa veya hassas kişisel verilere dayanan bir konu ise bulut tabanlı bir AI sistemine yüklenmesi

yüksek riskli bir ihlale dönüşebilir (Opdahl vd., 2023). Benzer şekilde, başlık önerisi teknik olarak düşük riskli bir işlem olarak kabul edilse de; önerilen kelime seçimi ideolojik çerçeveleme ve manipülasyon riski doğurabilir. Diğer yandan gerçekçi bir yapay zekâ görselinin kullanımı ise özellikle afet, savaş, seçim, sağlık veya güvenlik haberlerinde okur güvenini sarsabilir (Reuters Institute, 2025). Bu bağlamda, yapay zekânın haber üretiminde yarattığı etkiyi belirli kategoriler etrafında toplayabiliriz. Bunlar; doğruluk ve halüsinasyon, kaynak güvenirliği ve izlenebilirlik, önyargı ve ayrımcılık, mahremiyet ve kişisel veri, telif ve içerik sahipliği, editoryal bağımsızlık ve gazetecilik emeği, okur güveni ve şeffaflık ile hesap verebilirliktir (Cools & Diakopoulos, 2024; Toff & Simon, 2024; KVKK, 2021; RSF, 2023; UNESCO, 2021).

Türkiye bağlamında ise mesleki kullanım alanları ve riskler, yerel hukuki ve etik dinamiklerle iç içe geçmiştir. Anadolu Ajansı'nın (2024) "Medyada Yapay Zekâ Etik Kullanım Rehberi" gerçeğe sadakat ve insan denetimi ilkeleriyle bu risklere karşı kurumsal bir farkındalık ortaya koymuştur. Ayrıca Kişisel Verileri Koruma Kurumu (KVKK, 2021) yapay zekâ tavsiyeleri, haber odalarında mahremiyet ve kaynak gizliliği konularında hukuki sınırlar ortaya koymuştur. Basın Meslek İlkeleri ile Türkiye Gazetecileri Hak ve Sorumluluk Bildirgesi ise temel değerleri, özellikle seçim, afet, sağlık ve siyaset haberlerinde yapay zekâ kullanımının yaratabileceği tüm risklerden doğabilecek sonuçlardan gazetecilerin sorumlu olduğu savını desteklemektedir. Türkiye'nin Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi (2021-2025) ve Yapay Zekâ Eylem Planı (2026-2030) da daha geniş bir perspektifte konuyu ele alarak; güvenilir ve insan merkezli bir ekosistem hedefinde oluşabilecek risklerin yönetişimine işaret etmektedir. Türkiye'de haber odalarının, özellikle kişisel veri güvenliği ve hassas siyasi konularda sentetik içerik kullanımı gibi konularda çok daha dikkatli ve yapılandırılmış bir denetim mekanizmasına ihtiyacı vardır. Bu geniş kullanım ve risk çeşitliliği, yapay zekâ haberciliğinde tek tip bir kurallar bütününün yetersiz kalacağını; bunun yerine risk temelli bir karar modeline geçişin zorunlu olduğunu göstermektedir (European Union, 2024; CNTI, 2026).

2.2. İNSAN MERKEZLİ YAPAY ZEKÂ VE GAZETECİLİK ETİĞİ

İnsan merkezli yapay zekâ (human-centered AI) yaklaşımı, teknolojinin insan onuru, temel haklar, özerklik, güvenlik, adalet, şeffaflık, açıklanabilirlik ve hesap verebilirlik gibi evrensel değerlere katkı sağlaması esasına dayanan bir paradigma olarak ifade edilmektedir (UNESCO, 2021). Gazetecilik açısından bu yaklaşım, yapay zekânın kullanımının teknolojinin bir özne olarak konumlandırılması değil, yardımcı bir araç olarak görülmesine dayanmaktadır. Özde bu durum, mesleğin temelini oluşturan demokratik işlevlerin etik bir muhakemeye dayanır ve bu

muhakeme algoritmik sistemlere devredilemez (Opdahl vd., 2023). Bu noktada, insan merkezli yapay zekâ ilkeleri ile gazetecilik etiğinin temel değerleri arasında sıkı sıkıya bir ilişki bulunmaktadır. Böylelikle kamusal yarar temelindeki gazetecilik mesleği, yalnızca ticari metriklerin sayısal kullanımı ile değil, toplumu doğru bilgilendirmek amacıyla kullanılmasını gerektirir (Diakopoulos, 2019). Doğruluk ve teyit ilkeleri halüsinasyona karşı editoryal şüpheciliği; kaynak güvenirliği ve bağımsızlık ise "kara kutu" sistemlere eleştirel bir bakış açısını gerektirir. Hakkaniyet ilkesi ile algoritmik önyargıları engellemeyi, mahremiyet ise hassas verilerin yapay zekâ ile işlenmesine katı sınırlar çizer. Şeffaflık ve hesap verilebilirlik ilkeleri uyarında okur bilgilendirilmeli ve editoryal sorumluluk üstlenilmelidir.

Yapay zekâ sistemleri niyet, değer yargısı ve etik muhakeme kapasitesinden yoksunlardır. Her ne kadar makine öğrenmesi ile bu durumda farklı istemler oluşturulsa da editoryal bir özne olmaları kabul edilemez. Bu nedenle haberde nihai karar verici, toplumsal fayda ve etik ilkeleri tartabilen gazetecilerde olması ile yapay zekâ çıktıları gerçek bir ürüne dönüştürülmelidir (Carlson, 2015; Thäsler-Kordonouri, 2024). Ancak literatürde "human-in-the-loop" gibi kavramsallaştırmalarla tartışılan bu durum, biçimsel bir onaylama mekanizmasına dönüşme riski taşımaktadır (Cools & Diakopoulos, 2024). Etkin bir denetim; yapay zekâ çıktısının doğruluğunu, bağlamını, manipülasyon risklerini ve hassas verilere olan etkisini titizlikle değerlendirmeyi gerektirir. Zaman baskısı ve yanlılık gibi engellere rağmen, anlamlı bir denetim süreci işletilmeli ve nihai süreç her koşulda sorumluluk alınarak tamamlanmalıdır.

Yapay zekâ haberciliğinde insan merkezli yaklaşım, beş temel etik gerilim alanını yönetmeyi zorunlu kılmaktadır. Kamusal değerden çok hızın önemsendiği "verimlilik-kamusal yarar"; filtre balonları riski taşıyan "kişiselleştirme-yurttaşlık bilgilenmesi"; yapay zekâ etiketlenmesinin güveni otomatik olarak artırmadığı (Toff & Simon, 2024) "şeffaflık-okur güveni"; haberin kanıt değerini zayıflatan "sentetik medya-gerçeklik algısı" ve muhakemenin araçlara devredilerek teknoloji şirketlerine bağımlı kılındığı (Carlson, 2015) 'haber odası emeği-mesleki özerklik' çatışmalarıdır. Tüm bu etik tartışmalar, gazeteciliğin teknoloji karşısında pasif bir kabullenici olamayacağını göstermektedir. İnsan merkezli yapay zekâ haberciliği, gazetecinin yerini alan bir otomasyon anlayışına değil; gazetecinin editoryal muhakemesini, kamusal sorumluluğunu ve hesap verebilirliğini güçlendiren, riskleri görünür kılan ve yapay zekâ kullanımını kurumsal denetim altına alan bir yönetişim anlayışına dayanmalıdır.

2.3. ULUSLARARASI VE ULUSAL REHBERLERİN KARŞILAŞTIRMALI OKUMASI

Yapay zekâ teknolojilerinin gelişimi ile birlikte gazetecilik alanında ortaya çıkan metinleri üç ana grupta toplanabilir. İlki, UNESCO, OECD ve Avrupa Birliği gibi kurumların hazırladığı, insan hakları temelindeki makro çerçeveler sunan uluslararası politika belgeleridir. İkincisi; Paris Şartı (Paris Charter), Reuters, AP ve CNTI gibi inisiyatiflerin editoryal süreçlere odaklanan kurumsal raporlardır. Üçüncü grup ise Türkiye bağlamındaki Anadolu Ajansı etik rehberi, KVKK tavsiyeleri, Basın Meslek İlkeleri ve Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi (2021-2025) gibi hukuki ve mesleki metinlerdir. Bu girişimlerin tamamı, teknolojinin insan denetimi altında, güvenilir ve şeffaf kullanılmasını amaçlamaktadır.

Uluslararası politika belgeleri (UNESCO, 2021; OECD, 2024; European Union, 2024), teknolojik gelişimin insan onuruna zarar vermemesi gerekliliğini savunur. UNESCO ve OECD ilkeleri şeffaflık, açıklanabilirlik ve hesap verebilirlik temelinde ilerlerken; Avrupa Birliği Yapay Zekâ Yasası (EU AI Act, 2024) risk temelli bir yaklaşımı bir zorunluluk olarak sunar. Gazetecilik rehberleri ise (RSF, 2023; CNTI, 2026) bu makro ilkeler üzerinden hareket eder. Yasa ve önerileri haber odalarının işleyişine yerleştirerek, nihai editoryal sorumluluğun insanda kalmasının gerekliliğine dayanır ve yapay zekâ araçlarının bağımsız gazetecilerin yerini alamayacağını vurgusunda birleşir. Reuters, The Guardian ve AP rehberleri, yapay zekâ çıktılarının doğrulanmamış kaynak kabul edilmesinin altını çizerek teyit mekanizmalarının somut sınırları çizmesinin önemine değinir. Ancak, bu ilkelerin hangi kullanımda ve hangi onay mekanizmasıyla uygulanacağı konusunda kurumlar arasında farklılıklar göze çarpmaktadır.

Türkiye bağlamındaki girişimler de önemlidir ve özellikle yerel dinamikleri anlamak için kritiktir. Ulusal Yapay Zekâ Stratejisi (2021-2025) ve Eylem Planı (2026-2030) güvenilir bir ekosistem üzerinden vizyon sunmaktadır. KVKK (2021) tavsiyeleri mahremiyet ve kaynak gizliliği konularında güçlü bir hukuki zemin sağlamaktadır. Basın Meslek İlkelerinde yapay zekâya özel atıf bulunmasa da; doğruluk ve manipülasyondan kaçınma noktasında etik sınırlar çizmektedir. Anadolu Ajansı'nın (2024) "Medyada Yapay Zekâ Etik Kullanım Rehberi" ise somut bir kurumsal örnek olması bakımından oldukça önemlidir. Ancak bu kurumsal çabalar, Türkiye medyasındaki yapısal sorunları çözmekte tek başına yeterli değildir.

Tüm bu belgelerin karşılaştırmalı sentezi; kamusal yarar, kaynak doğruluğu, insan denetimi, şeffaflık, risk düzeyi ve hesap verebilirlik eksenlerinin öne çıktığını göstermektedir. Ortak payda insan denetimi ve şeffaflık olsa da, mevcut rehberlerin çoğu makro düzeyde kalmakta, haber üretim aşamalarına göre özelleşmiş karar adımları sunmamaktadır. Özellikle Türkiye

haber odalarına uyarlanmış, yerel riskleri gözeten bütünlüklü bir karar ağacı eksikliği literatürdeki temel boşluktur. İMEY-HAB Modeli, bu normatif eksenleri operasyonel bir çerçevede birleştirerek söz konusu boşluğu doldurmayı hedeflemektedir.

2.4. İMEY-HAB MODELİ: ALTI EKSENLİ KARAR ÇERÇEVESİ

Yapay zekâ gazetecilik ekseninde, genel etik ilkeler mesleki uygulama düzeyinde uygulanabilir karar sorularına dönüştürülmediğinde sınırlı kalmaktadır. Gazeteciler ve editörler günlük iş akışları içerisinde; kullanım amacı, kaynak doğrulanabilirliği, insan denetimi, okura açıklama, risk düzeyi ve hata sorumluluğu gibi operasyonel sorularla karşı karşıyadır (CNTI, 2026). Bu çalışmayla önerilen İnsan Merkezli Editoryal Yapay Zekâ Haberciliği Modeli (İMEY-HAB Modeli), bu soruları yasaklayıcı ya da sınırsız teşvik edici bir yaklaşımla değil; kamusal değer, doğruluk, denetim, şeffaflık, risk ve sorumluluk mekanizmaları üzerinden değerlendiren insan merkezli ve risk temelli bir karar çerçevesi olarak geliştirilmiştir.

Model ile ampirik bir reçete sunulmamakta; uluslararası etik/politika belgeleri, küresel haber odası rehberleri ve Türkiye bağlamındaki hukuki/mesleki ilkelerden türetilmiş kavramsal ve uygulanabilir bir çerçeve önerisi sağlanmaktadır. Esnek bir yapı gözetilerek oluşturulan bu model, her haber odasının ölçeğine, yayın politikasına ve hukuki sorumluluklarına göre uyarlanabilir. Esnekliği asgari normatif ilkesini değiştirmez ve nihai editoryal sorumluluk her koşulda insanda ve medya kuruluşunda kalmalıdır.

İMEY-HAB Modeli altı temel eksenden oluşmaktadır. Birbirini besleyen bu eksenler bağımsız kontrol listeleri değil, editoryal süreçleri tamamlayan organik bir sistemdir. **Kamusal yarar ekseni,** "Bu yapay zekâ kullanımı haberin toplumsal değerini artırıyor mu?" sorusuyla kullanımın editoryal meşruluğunu sorgulamaktadır. Böylece, yapay zekâ yalnızca ticari metriklerle değil, haberin doğruluğu ve erişilebilirliğini güçlendirmesiyle gerekçelendirilmelidir (Diakopoulos, 2019). **Kaynak doğruluğu ekseni,** "Kullanılan veri doğrulanabilir mi?" sorusunu merkeze alarak, yapay zekâ çıktısını tek başına kabul etmez. Burada birincil kaynak ve resmî belge teyidi önemlidir (Opdahl vd., 2023). **İnsan denetimi ekseni,** "Nihai karar kimde?" sorusuyla editoryal sorumluluğu yapılandırır. Kısacası, yapay zekâ bir özne değildir (Carlson, 2015) ve denetim biçimsel bir onaylama değil, bilgi doğruluğu, bağlam ve önyargı risklerini kapsayan bir muhakeme süreci olmalıdır (Thäsler-Kordonouri, 2024). **Şeffaflık ekseni,** "Okura yapay zekâ kullanımı açıklanmalı mı?" sorusuna yanıt arar. Açıklama, yapay zekânın hangi aşamada ve hangi amaçla kullanıldığı anlaşılır kılmalıdır. Düşük riskli kullanımlar her zaman açıklama gerektirmeyebilir; ancak haberin anlamını veya görsel gerçekliğini etkileyen kullanımlarda şeffaflık zorunludur (Toff & Simon, 2024). **Risk**

düzeyi ekseni, "Hata, manipülasyon veya mahremiyet riski var mı?" sorusuyla temellendirilir. Risk, kullanım amacı, konu hassasiyeti, çıktı türü ve kamusal etkiyle birlikte belirlenir ve düşük, orta, yüksek olmak üzere üç düzeydedir (European Union, 2024). **Hesap verebilirlik ekseni** ise "Hata olduğunda kim düzeltecek?" sorusuyla; yapay zekâ kullanımının kayıt altına alınmasını, sorumluluğun netleşmesini ve gerektiğinde açıklama yapılarak arşivin güncellenmesini kapsayan kurumsal mekanizmaları tanımlamaktadır (UNESCO, 2021).

İMEY-HAB Modeli'nin özgün katkısı, uluslararası yapay zekâ etiği ilkelerini gazetecilik meslek değerleriyle birleştirerek haber odası düzeyinde somut karar soruları üretmesidir. Model, kullanımı risk düzeylerine göre farklı denetim ve şeffaflık eşiklerine bağlayarak; Türkiye bağlamında kişisel veri, mahremiyet, hassas haberler, sentetik içerik ve editoryal sorumluluk sorunlarını bütüncül bir yaklaşımla ele almaktadır.

2.5. RİSK DÜZEYLERİ: DÜŞÜK, ORTA VE YÜKSEK RİSKLİ AI KULLANIMLARI

Yapay zekâ kullanımının gazetecilik alanında tek tip bir sorun olarak ele alınması, teknolojinin çok boyutlu doğasının göz ardı edildiği indirgemeci bir yaklaşımdır. Yazım denetimi yapmak ile haber metinlerini üretmek ya da röportajları çözümlemek ile sentetik görseller üretmek aynı risk düzeyinde değerlendirilemez. Bu nedenle risk değerlendirmeleri; kullanım amacı, müdahale edilen haber aşaması, çıktının okura görünürlüğü, konunun hassasiyeti ve olası bir hata sonrasında kamusal zararın failine göre değerlendirilmelidir. Haber kuruluşları yapay zekâ kullanımı düşük, orta ve yüksek riskli biçimde ayırmalıdır. Risk arttıkça insan denetimi, kaynak doğrulama, açıklamalar ve hesap verebilirlik yükümlülükleri orantılı olarak sıkılaştırılmalıdır.

Risk düzeyini belirleyen temel ölçütler şunlardır: Kullanım amacı (yardımcı işlem/editoryal öneri/içerik üretimi), haber üretim aşaması, çıktının okura görünürlüğü, konu hassasiyeti (siyaset, seçim, sağlık, hukuk, afet, çocuklar, kişisel veri…), kaynak doğrulanabilirliği, olası zarar büyüklüğü, mahremiyet riski, telif ve içerik sahipliği, sentetiklik düzeyi ve denetim imkânı (yeterli zaman ve uzmanlığın bulunup bulunmadığı).

Düşük riskli kullanımlar; yazım denetimi, transkripsiyon, arşiv düzenleme, çeviri taslağı ve metin özetleme gibi haberin temel iddiasını doğrudan belirlemeyen yardımcı işlemlerdir (Cools & Diakopoulos, 2024). Ancak, unutulmaması gereken bir nokta da düşük riskin, risk olmadığı yanılgısıdır. Transkripsiyonda anlam kayması veya kişisel veri içeren belgelerin yapay zekâ araçlarına yüklenmesi ciddi riskler doğurabilmektedir. KVKK kapsamında değerlendirildiğinde düşük risk, yüksek riske çıkabilir. **Orta riskli** kullanımlar; başlık/SEO önerisi, sosyal medya metni, veri tarama ve kişiselleştirme gibi haberin çerçevesini, görünürlüğünü ve okur algısını etkileyen işlemlerdir (Diakopoulos, 2019). Clickbait ile haberin

sansasyonel hale getirilmesi veya politik çerçeveleme riski taşımaktadır. Bu durumda editör onayı, kaynak doğruluğu ve haberin hassaslığına göre üst editör onayı zorunludur. Türkiye'de siyaset, seçim ve afet gibi haberlerde yapay zekâ destekli başlık kararları önemli editoryal sorumluluk doğurmaktadır. **Yüksek riskli** kullanımlar, doğrudan haber metni üretimi, hassas alanlarda yapay zekâ taslağı, sentetik görsel/video, ses klonlama ve kişisel veri analizleri gibi kamu güvenini ve demokratik bilgi ortamını doğrudan etkileme potansiyeli taşıyan işlemlerdir (Wang & Huang, 2024). Bu düzeyde çok boyutlu bir değerlendirmeyle; üst editör, hukuk birimi ve etik kurul denetimi zorunludur. Yanıltıcı deepfake, gerçek fotoğraf gibi sunulan sentetik görsel, izinsiz ses klonlama ve kişisel verilerin kontrolsüz yapay zekâ aktarımı kesinlikle reddedilmelidir.

Tablo 1. İMEY-HAB Modeli Kapsamında AI Kullanımının Risk Düzeyleri

	Düşük Riskli Kullanım	**Orta Riskli Kullanım**	**Yüksek Riskli Kullanım**
Kullanım Örnekleri	Yazım denetimi, transkripsiyon, arşiv düzenleme, çeviri taslağı	Başlık/SEO önerisi, sosyal medya metni, veri tarama, kişiselleştirme	Haber metni üretimi, sentetik görsel/video, ses klonlama, hassas analizler
Temel Riskler	Bağlam kaybı, çeviri hatası, yanlış etiketleme	Çerçeveleme, clickbait, filtre balonu, veri yanlışlığı	Halüsinasyon, deepfake, mahremiyet, güven kaybı
Gerekli İnsan Denetimi	Muhabir / Editör kontrolü	Editör onayı, kaynak kontrolü	Üst editör onayı, hukuki/etik değerlendirme
Okura Açıklama Gerekliliği	Genellikle zorunlu değil (Çıktıyı etkilemiyorsa)	Bağlama göre değerlendirilir	Açık ve net etiketleme zorunludur
Hesap Verebilirlik Mekanizması	Kurum içi AI kullanım kaydı	Kullanım amacı ve onay kaydı	Sorumlu editör, açıklama ve düzeltme prosedürü kaydı
Dikkat Edilmesi Gereken Noktalar	KVKK kapsamında kişisel veri içeren dosyaların harici YZ araçlarına yüklenmemesi	Haberlerde başlıkların manipülasyon yaratmaması (Basın Meslek İlkeleri)	Yanıltıcı görsel kullanımının kesinlikle yasaklanması ve kaynak gizliliği

Risk düzeyleri sabit ve mekanik değildir; düzeyler arasında güçlü bir geçişkenlik bulunur. Aynı yapay zekâ kullanımı bağlama göre farklı bir risk düzeyine çıkabilir. Gizli kaynak içeren bir transkripsiyon düşükten yükseğe, kriz anında manipülatif çerçeve oluşturan bir başlık ortadan yükseğe, gerçek fotoğraf gibi sunulan yaratıcı görsel ise ortadan yasaklanması gereken bir kullanıma dönüşür. Bu geçişkenlik, haber odalarının esnek ancak kuralları net bir karar ağacı kullanmasını zorunlu kılmaktadır.

2.6. HABER ODALARI İÇİN KARAR AĞACI: AI KULLANIMI ÖNCESİ EDİTORYAL DEĞERLENDİRME SÜRECİ

Genel etik ilkeleri ve uluslararası rehberlerin varlığının gerekliliği sabit olmakla birlikte, gazeteciler üzerindeki zaman baskısı dinamik iş akışında tek başına yeterli olmamaktadır.

Soyut ilkelerin günlük editoryal pratiğe entegre edilebilmesi için somut karar sorularına dönüştürülmesi gerekmektedir (CNTI, 2026). İMEY-HAB Modeli'nin karar ağacı, gazetecinin editoryal muhakemesinin yerine geçmeyi değil, bu muhakemeyi sistematik, kayıtlı ve hesap verebilir hâle getirmeyi; yapay zekâ kullanımını "serbest bırakma/yasaklama" ikiliği dışında bağlama duyarlı bir değerlendirme sürecine kavuşturmayı amaçlamaktadır.

Tablo 2. İMEY-HAB Modeli Haber Odası AI Kullanımı Karar Ağacı

Aşama	Karar Sorusu	Değerlendirme Odağı
1	Yapay zekâ hangi amaçla kullanılacak?	Yardımcı işlem / Editoryal öneri / İçerik üretimi / Görsel-ses-video / Dağıtım
2	Haber üretiminin hangi aşamasında?	Araştırma / Transkrip / Yazım / Görsel / Yayın / Dağıtım
3	Çıktı okura görünecek mi?	Kurum içi arka plan ↔ Okura görünen nihai ürün
4	Haber konusu hassas mı?	Siyaset / Seçim / Sağlık / Hukuk / Afet / Çocuk / Kişisel veri
5	Kaynaklar doğrulanabilir mi?	Birincil kaynak / Resmi belge / Uzman görüşü ile teyit
6	Kişisel veri / mahremiyet / telif / kaynak gizliliği riski var mı?	KVKK, telif hakları, kaynak güvenliği değerlendirmesi
7	Sentetik içerik / deepfake riski var mı?	Gerçekçi görsel / ses / video üretimi → gerçeklik algısı etkisi
	↓ KARAR	
8	Risk düzeyi nedir?	Düşük / Orta / Yüksek / Kabul edilemez
9	Gerekli insan denetimi sağlandı mı?	Muhabir kontrolü / Editör onayı / Üst editör-uzman onayı
10	Okura açıklama gerekiyor mu?	Risk düzeyine ve okur etkisine göre değerlendirme
11	Yayın sonrası düzeltme mekanizması var mı?	Kayıt, sorumlu kişi, düzeltme prosedürü
	↓ NİHAİ KARAR	**Serbest / Editör onaylı / Üst denetimle / Kullanılmamalı**

Bu karar ağacı ile birlikte dört karar kategorisi ortaya çıkmaktadır. **Serbest yardımcı kullanım:** Düşük riskli, okura görünmeyen ve kişisel veri içermeyen işlemler. **Editör onaylı kullanım:** Orta riskli, haberin sunumunu veya dağıtımını etkileyen işlemler. **Üst editör/uzman/hukuk onaylı kullanım:** Yüksek riskli, hassas konu veya okura doğrudan görünen yapay zekâ üretimi. **Kullanılmamalı/yasaklanmalı:** Yanıltıcı deepfake, gerçek fotoğraf gibi sunulan sentetik görsel, kaynaksız hassas haber üretimi ve kişisel verilerin kontrolsüz aktarımı gibi etik/hukuki açıdan kabul edilemez kullanımlar.

Tablo 3. Karar Ağacının Olası Sonuçları ve Editoryal Koşullar

Karar Sonucu	Kullanım Türü	Gerekli Denetim	Okura Açıklama	Kayıt / Hesap Verebilirlik	Örnek Kullanım
Serbest yardımcı kullanım	Düşük riskli, okura görünmeyen, kişisel veri içermeyen	İnsan kontrolü (Muhabir/Editör)	Genellikle gerekmez	Kurum içi genel kayıt	Yazım denetimi, arşiv düzenleme, basit transkripsiyon
Editör onaylı kullanım	Orta riskli, haber sunumunu/dağıtımını etkileyen	Editör onayı, kaynak kontrolü	Bağlama göre değerlendirilir	Kullanım amacı ve onay kaydı	Başlık önerisi, sosyal medya metni, veri tarama
Üst editör / uzman / hukuk	Yüksek riskli, hassas konu, okura doğrudan görünen	Üst editör, uzman veya	Açık ve net biçimde gereklidir	Sorumlu kişi, açıklama ve	Sağlık/hukuk haberi taslağı,

onaylı kullanım		hukuk birimi onayı		düzeltme prosedürü	gerçekçi (temsili) görsel üretimi
Kullanılmamalı / yasaklanmalı kullanım	Etik ve hukuki ihlal yaratan, okuru yanıltan	Yasak (Denetim aşamasına geçilemez)	-	-	Yanıltıcı deepfake, gerçek haber fotoğrafı gibi sunulan YZ görseli, izinsiz ses klonlama

Türkiye'de haber kuruluşlarının kullanımı için bu karar ağacının uygulanabilirliği, yazılı bir yapay zekâ kullanım politikasını zorunlu kılmaktadır. Muhabir, editör, üst editör, uzman ve hukuk sorumlulularının rol ayrımları netleştirilmeli, KVKK kapsamında önlemler alınmalıdır (KVKK, 2021). Seçim, afet, sağlık ve hukuk haberlerinde yüksek denetim ihtiyacı kurumsallaştırılmalı; sentetik içerik kullanımında açık etiketleme standart hâle getirilmelidir (Anadolu Ajansı, 2024). Küçük ölçekli haber odaları, bu karar ağacını sadeleştirilmiş kontrol listeleri olarak günlük iş akışlarına entegre edebilir.

3. SONUÇ

Üretken yapay zekânın haber üretim sürecinde artan kullanımı, gazetecilik meslek pratiklerinde köklü bir dönüşüme işaret etmektedir. Ancak teknolojik hız ve verimlilik, gazetecilik mesleğinde tek başına meşru ölçütler olarak kabul edilemez. Doğruluk, kaynak güvenilirliği, insan denetimi, şeffaflık, mahremiyet, manipülasyon, okur güveni ve hesap verebilirlik, yapay zekâ haberciliğinin merkezinde yer almaya devam etmektedir. Bu bağlamda asıl tartışılması gereken, teknolojinin kullanılıp kullanılmaması değil; hangi kamusal gerekçeyle, hangi kaynak doğrulama süreciyle, hangi insan denetimiyle, hangi şeffaflık düzeyiyle ve hangi hesap verebilirlik mekanizmasıyla yönetileceğidir.

Uluslararası yapay zekâ etik belgeleri (EU AI Act, UNESCO, OECD), küresel haber odası rehberleri (Paris Charter, Reuters, AP, CNTI) ve Türkiye bağlamındaki hukuki/mesleki belgeler (Anadolu Ajansı, KVKK, Basın Meslek İlkeleri); insan denetimi, şeffaflık ve hesap verebilirlik ilkelerinde ortaklaşmaktadır. Ancak bu belgelerin çoğunda, soyut ilkelerin hangi somut kararların verilmesinde kullanılacağı net değildir. Risk düzeylerinin nasıl ayrıştırılacağı ve hangi durumda ne tür bir denetim eşiğinin devreye gireceği konusunda operasyonel model ihtiyacı açıktır. Bu çalışma, söz konusu boşluktan hareketle Türkiye haber odaları için uygulanabilir bir karar çerçevesi önerisi geliştirmiştir.

Sunulan İMEY-HAB Modeli, haber üretim süreçlerinde yapay zekânın kullanımını yasaklama ya da sınırsız bir serbestlik sunma amacının ötesine geçmeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda; editoryal süreçleri kamusal yarar, kaynak doğruluğu, insan denetimi, şeffaflık, risk düzeyi ve

hesap verebilirlik eksenlerinde yapılandıran kavramsal ve operasyonel bir çerçeve önerisidir. Modelin risk sınıflandırması (düşük, orta, yüksek), kullanımın denetim eşiklerini somutlaştırırken; karar ağacı, haber odalarına yapay zekâ kullanımından önce sıralı ve bağlama duyarlı bir editoryal değerlendirme süreci sunmaktadır.

Önerilen modelin gazetecilik açısından ortaya koyduğu çıkarımları özetlemesek gerekirsek; ilk olarak haber kuruluşları yalnızca teknik araç listelerinden ibaret olmayan, etik ve hukuki ölçütleri kapsayan yazılı yapay zekâ politikaları geliştirmelidir. Yapay zekâ kullanımı haber üretim aşamasına göre sınıflandırılmalıdır. Kısacası; yazım denetimi ile doğrudan haber üretimi aynı kefede değerlendirilmemelidir. İnsan denetimi biçimsel bir onaydan çıkarılarak; kaynak kontrolü, bağlam değerlendirmesi ve manipülasyon riskini sistematik biçimde inceleyen anlamlı bir sürece dönüştürülmelidir. Şeffaflık standartlaştırılmalı, yapay zekâ kullanımı haberin görünür çıktısını veya gerçeklik algısını etkiliyorsa okur bilgilendirilmelidir. KVKK süreci ve mahremiyet boyutu meslek pratiklerinin merkezinde yer almalıdır. Yapay zekâ kaynaklı hataların medya kuruluşunun sorumluluğunu ortadan kaldırmadığı kabul edilmeli ve kurumsal hesap verebilirlik mekanizmaları önceden kurulmalıdır.

Çalışmanın özgün katkısı; altı eksenli bir değerlendirme yapısına dayanmaktadır. Bu yapı; yapay zekâ kullanımını risk düzeyinde ayırması, karar ağacıyla iş akışına entegre edilebilir bir araç sağlaması ve Türkiye bağlamına duyarlı kişisel veri, hassas haberler, sentetik haber ve hesap verebilirlik sorunlarını bütüncül bir şekilde ele almaktadır. Bununla birlikte çalışma, ampirik bir saha araştırması değil kavramsal bir model önerisidir, test edilerek sağlam bir düzlem sunulması mümkündür. Farklı ölçeklerdeki medya kuruluşları için uygulanabilirlik değişkenlik gösterebilir ve yapay zekâ ile hukuki çerçeveler hızla değiştiğinden modelin düzenli güncellenmesi gerekmektedir. Gelecek çalışmalarda; modelin haber odalarında pilot uygulamalarla sınanması, gazeteciler ve editörlerle nitel görüşmeler yapılması, okurların yapay zekâ destekli haberlere güven düzeyini ölçen deneysel araştırmalar yürütülmesi ve yerel medya için sadeleştirilmiş kontrol listeleri geliştirilmesi gerekmektedir.

Yapay zekâ haberciliği, gazeteciliğin temel değerlerini ortadan kaldıran bir zorunluluk olarak değil; bu değerlerin daha sistematik ve hesap verebilir biçimde yeniden düşünülmesini gerektiren bir dönüşüm alanı olarak değerlendirilmelidir. İMEY-HAB Modeli, bu dönüşümde insan gazetecinin editoryal muhakemesini, kamusal sorumluluğunu ve hesap verebilirliğini merkeze alan bir karar çerçevesi önermektedir.

KAYNAKÇA

Anadolu Ajansı. (2024). *Medyada yapay zekâ etik kullanım rehberi.* https://www.aa.com.tr/tr/haberakademisi/haberler/medyada-yapay-zeka-etik-kullanim-rehberi/533264
Ay, A. (2023). Gazetecilik 4.0: Yapay zekâ haberciliğinin güncel örneklerine yönelik bir inceleme. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 14(38), 412-435. https://doi.org/10.21076/vizyoner.1141093
Böyük, M. (2023). Dijital çağda haber: İnsan ve yapay zekâ üretimi haber içeriklerinin karşılaştırmalı analizi. *Akdeniz Üniversitesi İletişim,.* (46), 44-72. https://dergipark.org.tr/tr/pub/akil/article/1541214
Carlson, M. (2015). The robotic reporter: Automated journalism and the redefinition of labor, compositional forms, and journalistic authority. *Digital Journalism*, 3(3), 416-431. https://doi.org/10.1080/21670811.2014.976412
CNTI (Center for News, Technology & Innovation). (2026). *Newsroom policies for AI in journalism.* https://centerfornewstech.org/
Cools, H., & Diakopoulos, N. (2024). Uses of generative AI in the newsroom: Mapping journalists' perceptions of perils and possibilities. *Journalism Practice*. https://doi.org/10.1080/17512786.2024.2394558
Diakopoulos, N. (2019). *Automating the news: How algorithms are rewriting the media.* Harvard University Press.
European Union. (2024). *Artificial Intelligence Act (EU AI Act).* https://artificialintelligenceact.eu/
Graefe, A. (2016). *Guide to automated journalism.* Tow Center for Digital Journalism, Columbia University. https://doi.org/10.7916/D80G3XDJ
Gül, K. (2024). Yapay zeka teknolojilerinin gazetecilik alanında kullanımı: Avantajlar ve dezavantajları. *İletişim ve Toplum Araştırmaları Dergisi (JCSS),* 4(2), 306-331. https://dergipark.org.tr/tr/pub/jcss/article/1457410
Kayıhan, B., Narin, B., Fırat, D., Fırat, F. (2021). Algoritmalar, yapay zeka ve makine öğrenimi ekseninde gazetecilik etiği: Uluslararası akademik dergilere yönelik bir inceleme. *TRT Akademi*, 6(12), 296-327. https://dergipark.org.tr/tr/pub/trta/article/900086
Kişisel Verileri Koruma Kurumu (KVKK). (2021). *Yapay zekâ alanında kişisel verilerin korunmasına dair tavsiyeler.* https://www.kvkk.gov.tr/
Nanz, A., Binder, A., & Matthes, J. (2025). AI in the newsroom: Does the public trust automated journalism and will they pay for it?, *Journalism Studies*. 26(14), 1745-1764, https://doi.org/10.1080/1461670X.2025.2547301
Nishal, S., & Diakopoulos, N. (2024). Envisioning the applications and implications of generative AI for news media. *arXiv preprint.* https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.18835
OECD. (2024). *OECD AI principles.* https://oecd.ai/en/ai-principles
Opdahl, A. L., Tessem, B., Dang-Nguyen, D. T., Motta, E., Setty, V., Throndsen, E., Tverberg, A., Trattner, C. (2023). Trustworthy journalism through AI. *Data & Knowledge Engineering*, 146, 102182. https://doi.org/10.1016/j.datak.2023.102182
Reuters Institute. (2025). *Generative AI and news report 2025: How people think about AI's role in journalism and society.* University of Oxford. https://reutersinstitute.politics.ox.ac.uk/
RSF & Partners. (2023). *Paris charter on AI and journalism.* Reporters Without Borders. https://rsf.org/en/paris-charter-ai-and-journalism
T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2021). *Ulusal yapay zekâ stratejisi 2021-2025.* https://cbddo.gov.tr/
T.C. Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. (2026). Türkiye yapay zekâ eylem planı 2026-2030. https://www.sanayi.gov.tr/medya/haber/turkiye-yapay-zekâ-eylem-plani-aciklandi
Thäsler-Kordonouri, S. (2024). What comes after the algorithm? An investigation of journalists' post-editing of automated news text. *Journalism Practice*. https://doi.org/10.1080/17512786.2024.2404692
Toff, B., & Simon, F. M. (2024). "Or they could just not use it?": The dilemma of AI disclosure for audience trust in news. *The International Journal of Press/Politics*, https://doi.org/10.1177/19401612241308697
UNESCO. (2021). *Recommendation on the ethics of artificial intelligence.* https://www.unesco.org/

Wang, S., & Huang, G. (2024). The impact of machine authorship on news audience perceptions: a meta-analysis of experimental studies. *Communication Research.* https://doi.org/10.1177/00936502241229794

BATTLE OF DHAT AL-SALASIL IN SOUTHERN JORDAN: A CRITICAL SITE STUDY IN LIGHT OF ARCHAEOLOGICAL EVIDENCE FROM (BIR MADHKUR) AND THE HISTORICAL LINK TO THE EXPEDITION OF DHAT ATLAH

Prof. Mohammed Waheeb
Professor of Archaeology, Department of Sustainable Tourism, Queen Rania Faculty of Archaeology, Heritage, and Tourism (QRFTH), The Hashemite University

Abstract

This research examines a highly significant dimension in mapping the historical geography of Islamic military expeditions (*Maghazi* and *Saraya*) in the Levant and southern Jordan. While the traditional historical narrative (as recorded by al-Waqidi, Ibn Ishaq, and Ibn Sa'd) places the Battle of Dhat al-Salasil led by Amr ibn al-Aas in Jumada al-Thani, 8 AH in the northern Hejaz, specifically within the territories of the Udhrah, Bali, and Quda'ah tribes near a watering hole called "Al-Salasil" beyond Wadi al-Qura (near present-day AlUla in Saudi Arabia), a re-evaluation of these accounts yields a different conclusion. When subjected to military-geographical analysis and linked to the Byzantine-Roman movements and their Ghassanid allies during that period, the hypothesis placing the battle at Wadi Sulaysil (near Bir Madhkur, west of Petra in Wadi Araba) demonstrates strong scholarly validity. This hypothesis is supported by several key dimensions:

1. Geographical Evidence and the Military Corridor (Wadi Araba)

The Extent of Byzantine Control: Southern Jordan, including Petra and Wadi Araba, fell within the Byzantine province of *Palaestina Tertia* (Third Palestine). Bir Madhkur served as a major Byzantine military station and the site of a fortress (*Castellum*) that monitored trade and military routes between the Negev and southern Jordan.

Military Linkage: If the expedition aimed to discipline pro-Byzantine tribes mobilizing against Medina following the Battle of Mu'tah, then Wadi Araba and its passes leading to the Sharah Mountains (via Wadi Sulaysil toward western Petra) present a highly logical strategic theater for these operations.

Local Toponymy: The preservation of the name "Wadi Sulaysil" to this day near Bir Madhkur serves as a compelling toponymic clue. The term "Dhat al-Salasil" (The Place of Chains/Streams) is likely derived from the nature of the local water sources or the interconnected mountain ranges in the region, particularly the stone terraces characteristic of Nabataean agricultural systems.

2. Historical Correlation with the "Dhat Atlah" Expedition

Geographical Location of Dhat Atlah: Early Islamic sources state that the expedition of Dhat Atlah (led by Ka'b ibn Umayr al-Ghifari in Rabi' al-Awwal, 8 AH) took place on the fringes of the Levant. Recent Jordanian geographical studies suggest that "Dhat Atlah" is located in the Ghor of Tafilah, a region historically dense with tamarisk (*Atlah*) trees.

Chronological and Logical Sequence: The Dhat Atlah expedition preceded Dhat al-Salasil by only a few months and ended with the martyrdom of 14 companions. Consequently, the Prophet's ﷺ subsequent dispatch of Amr ibn al-Aas with a larger army to Dhat al-Salasil was a decisive response to re-establish Islamic authority along the same front. If Dhat Atlah was positioned in southern Jordan within Wadi Araba, it is militarily logical that Dhat al-Salasil took place within the same geographical sphere (Wadi Araba/Petra) rather than deep within the Hejaz.

3. Archaeological Excavations at Bir Madhkur and Wadi Sulaysil

The Byzantine fortress at Bir Madhkur exhibits intense activity during the sixth and seventh centuries CE, aligning precisely with the era of the Prophet's mission.

The presence of archaeological artifacts or evidence of military movements in Wadi Sulaysil reinforces the hypothesis that Muslim forces engaged the Byzantine-Arab alliance (Quda'ah and Judham) in the plains and narrow defiles ascending to the Jordanian plateau (Petra). The Muslim army heavily relied on reliable water sources, such as Bir Madhkur or the springs of Wadi Sulaysil, to sustain its troops.

By synthesizing the geographical proximity (the distance between Medina and southern Jordan), toponymic evidence (the name Wadi Sulaysil), and the military correlation with the Dhat Atlah expedition, this study presents a robust framework that redraws the map of early Islamic expeditions. It shifts the location of Dhat al-Salasil from a mere skirmish on the fringes of the Hejaz to a well-organized, strategic military operation within Byzantine territory (modern-day Jordan), designed to secure the northern Arabian Peninsula in the aftermath of the Battle of Mu'tah.

Furthermore, a comparative geographical analysis of the route taken by Amr ibn al-Aas's army including the reinforcements he requested from the Prophet ﷺ and the arrival of Abu Ubaidah ibn al-Jarrah against the topography of Wadi Araba and the ascent toward Petra demonstrates that the military logistics, deployment speed, and rescue timeline align perfectly with the physical geography of southern Jordan today.

Keywords: History, Archaeology, Byzantine, Early Islamic, Battle.

1940-1944 YILLARI ARASINDA TEK PARTİ YÖNETİMİNDE DİNÎ VE SİYASİ PROPAGANDA

Doç. Dr. Ferit YÜCEBAŞ
Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Edebiyat Fakültesi, Tarih Bölümü, feritycebas@yyu.edu.tr
ORCID ID: 000-0002-4645-1734

ÖZET

II. Dünya Savaşı yılları, Türkiye'de tek parti yönetiminin siyasal, toplumsal ve güvenlik politikalarının daha belirgin hâle geldiği bir dönem olmuştur. Savaşın meydana getirdiği uluslararası belirsizlikler, iç güvenlik kaygıları ve rejimin korunmasına yönelik hassasiyetler, propaganda faaliyetlerinin ve bunlara karşı yürütülen denetim mekanizmalarının önemini artırmıştır. Bu çalışma, 1940-1944 yılları arasında tek parti yönetiminde dinî ve siyasi propaganda faaliyetlerine ilişkin algıyı, propaganda iddialarını ve bunlara karşı geliştirilen idarî ve adlî uygulamaları Cumhuriyet Halk Partisi Genel Sekreterliği yazışmaları çerçevesinde incelemektedir. Araştırmanın temel kaynaklarını, Cumhurbaşkanlığı Devlet Arşivleri Başkanlığı Cumhuriyet Arşivi'nde bulunan CHP Genel Sekreterliği fonuna ait yazışmalar oluşturmaktadır. Çalışmada, Cumhurbaşkanlığı Devlet Arşivleri Başkanlığı Cumhuriyet Arşivi'nde yer alan CHP Genel Sekreterliği belgeleri tarihsel yöntem esas alınarak incelenmiş, belgeler kaynak tenkidi uygulanmak suretiyle değerlendirilmiştir. Arşiv belgelerinde yer alan vatandaş mektupları, ihbar dilekçeleri, parti müfettişi raporları ve idarî yazışmalar birlikte ele alınarak propaganda olgusunun farklı görünümleri analiz edilmiştir. İncelenen belgeler, dinî faaliyetlerin rejim karşıtı propaganda olarak değerlendirilebildiğini, Almanya lehine yürütülen propaganda girişimlerinin güvenlik meselesi olarak ele alındığını, eğitim kurumlarında rejim ve Türklük aleyhine olduğu ileri sürülen söylemlerin soruşturulduğunu ve vatandaşların siyasal söylemleri doğrudan CHP Genel Sekreterliğine ihbar ettiklerini göstermektedir. Ayrıca propaganda iddialarının önemli bir bölümünün parti teşkilatı, mülkî idare, emniyet ve adliye makamlarının koordinasyonuyla soruşturulduğu, ancak bütün iddiaların mahkûmiyetle sonuçlanmadığı anlaşılmaktadır. Sonuç olarak çalışma, tek parti yönetiminde propaganda olgusunun yalnızca siyasal söylemlerle sınırlı kalmadığını, dinî faaliyetlerden eğitim kurumlarına, vatandaş ihbarlarından gündelik kamusal söylemlere kadar uzanan çok katmanlı bir toplumsal denetim mekanizmasının parçası olarak değerlendirildiğini yansıtmaktadır. Bu yönüyle araştırma, II. Dünya Savaşı yıllarında devlet-toplum ilişkilerinin propaganda ve güvenlik ekseninde yeniden değerlendirilmesine katkı sağlamayı amaçlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Tek parti dönemi, II. dünya savaşı, dinî ve siyasi propaganda, toplumsal denetim, siyasal muhalefet

RELIGIOUS AND POLITICAL PROPAGANDA UNDER ONE-PARTY RULE BETWEEN 1940-1944

ABSTRACT

The years of World War II were a period in Turkey when the political, social, and security policies of the one-party rule became more pronounced. The international uncertainties created by the war, internal security concerns, and sensitivities regarding the preservation of the regime have increased the importance of propaganda activities and the control mechanisms implemented against them. This study examines the perception of religious and political propaganda activities, the allegations of propaganda, and the administrative and judicial measures taken against them during the one-party rule between 1940 and 1944, within the framework of the correspondence of the General Secretariat of the Republican People's Party. The primary sources for this research are correspondences belonging to the CHP General Secretariat fund, located in the Republic Archive of the Presidency of the Republic. In this study, the documents of the CHP General Secretariat located in the Republic Archive of the Presidency of the Republic were examined using historical methods, and the documents were evaluated by applying source criticism. By examining citizen letters, complaint petitions, party inspector reports, and administrative correspondence found in archive documents, the different facets of the propaganda phenomenon have been analyzed. The examined documents show that religious activities could be considered anti-regime propaganda, that propaganda efforts in favor of Germany were treated as a security issue, that statements alleged to be against the regime and Turkish identity in educational institutions were investigated, and that citizens reported political statements directly to the CHP General Secretariat. It also appears that a significant portion of the propaganda allegations were investigated through coordination between the party organization, the civil administration, the police, and the judiciary, but not all allegations resulted in convictions. In conclusion, the study reflects that under one-party rule, the phenomenon of propaganda was not limited solely to political discourse, but was considered part of a multi-layered social control mechanism extending from religious activities and educational institutions to citizen denunciations and everyday public discourse. In this respect, the research aims to contribute to the re-evaluation of state-society relations during the Second World War years, focusing on propaganda and security.

Keywords: Single party period, II. world war, religious and political propaganda, social control, political opposition

GİRİŞ

II. Dünya Savaşı yılları, Türkiye'nin savaşa fiilen katılmamasına rağmen siyasal, ekonomik ve toplumsal hayatın olağanüstü şartlardan önemli ölçüde etkilendiği bir dönem olmuştur. Savaşın meydana getirdiği uluslararası belirsizlik, güvenlik kaygıları ve ekonomik güçlükler, tek parti yönetiminin iç güvenlik ve kamu düzenine ilişkin hassasiyetini artırmıştır. Bu süreçte devlet, yalnızca dış tehditlere karşı değil, kamuoyunu etkileyebilecek dinî, siyasî ve ideolojik nitelikteki söylem ve faaliyetlere karşı da kapsamlı bir denetim mekanizması oluşturmuştur. Vatandaşların mektupları, din görevlilerinin faaliyetleri, eğitim kurumlarında dile getirilen görüşler, kamusal alanda dolaşıma giren bildiriler ve çeşitli ihbarlar, rejimin güvenliği bakımından değerlendirilerek Cumhuriyet Halk Partisi Genel Sekreterliği, parti teşkilatları, mülkî idare, emniyet ve adliye makamlarının koordinasyonu içerisinde idarî ve adlî soruşturmalara konu edilmiştir.

Propaganda kavramı, köken itibarıyla Latince *propagare* fiiline dayanmakta olup yaymak, yaygınlaştırmak ve benimsetmek anlamlarını taşımaktadır. Siyasal ve toplumsal yaşamda propaganda, belirli bir düşünce veya politikanın benimsenmesini sağlamak amacıyla planlı biçimde yürütülen ikna ve yönlendirme faaliyetlerini ifade etmektedir. Bu yönüyle propaganda, yalnızca kamuoyunu etkilemeye yönelik bir iletişim faaliyeti değil, aynı zamanda devletlerin siyasal hedeflerine ulaşmada başvurdukları stratejik araçlardan biridir. Tek parti döneminde propaganda olgusuna ilişkin çalışmalar, daha çok devletin propaganda politikaları, basın-yayın faaliyetleri, sansür uygulamaları ve dış propaganda faaliyetleri üzerinde yoğunlaşmıştır. Buna karşılık propaganda iddialarının CHP Genel Sekreterliği yazışmaları çerçevesinde ele alınarak ihbar mekanizmaları, idarî soruşturmalar ve parti-devlet koordinasyonu bağlamında incelendiği çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Özellikle araştırmacıların erişimine yakın dönemde açılan CHP Genel Sekreterliği belgeleri, propaganda olgusunun yalnızca devlet tarafından yürütülen faaliyetler açısından değil, propaganda iddialarının nasıl değerlendirildiği ve bu iddialara karşı geliştirilen idarî uygulamaların anlaşılması bakımından da yeni değerlendirme imkânları sunmaktadır. Cumhuriyet'in ilk yıllarında propaganda, gerçekleştirilen inkılapların toplumsal düzeyde benimsetilmesi ve yeni siyasal düzenin güçlendirilmesinde başvurulan araçlardan biri olmuştur. Ancak II. Dünya Savaşı'nın meydana getirdiği olağanüstü şartlar, propaganda kavramına yeni bir anlam yüklemiştir. Bu dönemde propaganda, yalnızca belirli düşüncelerin yaygınlaştırılmasıyla sınırlı görülmemiştir. Özellikle

devletin güvenliğini, kamu düzenini ve dış politika dengesini etkileyebilecek dinî, siyasî ve ideolojik söylemleri de kapsayan geniş bir güvenlik meselesi olarak değerlendirilmiştir. Artan güvenlik kaygılarıyla birlikte dinî faaliyetler, eğitim kurumlarında dile getirilen görüşler ve kamusal alandaki çeşitli söylemler propaganda iddiaları çerçevesinde yakından izlenmiş, CHP Genel Sekreterliği koordinasyonunda idarî ve adlî soruşturma mekanizmaları işletilmiştir (Nal, 2005, s. 138; Geçikli, 2012, s. 266; Berber Babalık, 2025, s. 306).

Türkiye'nin savaş boyunca savaşa girmeme, tarafsız ve savaş dışı kalmayı esas alan dış politika anlayışı da bu yaklaşımın şekillenmesinde etkili olmuştur. Savaş ekonomisinin yol açtığı üretim ve iaşe sorunları, geniş çaplı askerî seferberlik uygulamaları ve savunma harcamalarındaki artış, güvenlik politikalarının toplum üzerindeki etkisini daha belirgin hâle getirmiştir (Unat, 2015, s. 215; İlyas & Turan, 2016, s. 319; Sarıçoban, 2020, s. 1757). Bu ortamda propaganda, yalnızca yabancı devletlerin yürüttüğü faaliyetlerle sınırlı kalmamıştır. Bunun yanında kamu düzenini ve rejimin güvenliğini etkileyebileceği düşünülen her türlü söylem ve girişim resmî makamların inceleme alanına dâhil edilmiştir.

Bu çalışma, propaganda kavramını kuramsal açıdan tartışmak yerine, 1940-1944 yılları arasında CHP Genel Sekreterliği yazışmalarında propaganda kapsamında değerlendirilen olaylara ve bu olaylar karşısında yürütülen idarî ve adlî süreçlere odaklanmaktadır. Araştırmanın temel kaynaklarını, 8 Ocak 2024 tarihinde araştırmacıların erişimine açılan Cumhurbaşkanlığı Devlet Arşivleri Başkanlığı Cumhuriyet Arşivi'nde yer alan CHP Genel Sekreterliği belgeleri oluşturmaktadır. Vatandaş mektupları, parti müfettişi raporları, ihbar dilekçeleri ve resmî yazışmalar tarihsel yöntem ile kaynak tenkidi doğrultusunda incelenmiştir. Bu belgeler çerçevesinde tek parti yönetiminin propaganda anlayışı, propaganda iddialarının hangi süreçlerden geçirilerek değerlendirildiği ve bu amaçla oluşturulan idarî denetim mekanizmasının işleyişi analiz edilmiştir.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Araştırmanın temel veri kaynağını, Cumhurbaşkanlığı Devlet Arşivleri Başkanlığı Cumhuriyet Arşivi'nde yer alan ve 8 Ocak 2024 tarihinde araştırmacıların erişimine açılan CHP Genel Sekreterliği belgeleri oluşturmaktadır. Çalışmada, 1940-1944 yılları arasında propaganda iddialarıyla ilgili parti teşkilatları, mülkî idare, emniyet, adliye ve diğer kamu kurumları arasında yürütülen resmî yazışmalar incelenmiştir. Belgeler tarihsel yöntem ve kaynak tenkidi doğrultusunda değerlendirilmiş, her olay kendi tarihî şartları içinde ele alınmış ve aynı olaya ilişkin farklı kurumların yazışmaları birlikte okunmuştur. Böylece iddiaların ortaya çıkışı, soruşturma süreci ve merkezî idarenin konuya yaklaşımı bir bütün olarak değerlendirilmiştir.

Arşiv belgeleri, propaganda kavramının dönemin idarî uygulamalarında oldukça geniş bir anlam taşıdığını göstermektedir. Propaganda yalnızca yabancı devletler lehine yürütülen faaliyetlerle ilişkilendirilmemiş, dinî söylemler, vatandaş mektupları, eğitim kurumlarında dile getirilen görüşler, kamu görevlileri hakkında yapılan ihbarlar, üst düzey devlet yöneticilerine yönelik eleştiriler ve kamusal alanda kullanılan çeşitli ifadeler de bu kapsamda ele alınmıştır. Bu yaklaşım, savaş yıllarında propaganda kavramının güvenlik anlayışıyla birlikte değerlendirildiğini ve farklı toplumsal alanlara yayılan bir denetim mekanizmasının parçası olarak görüldüğünü düşündürmektedir.

Belgeler, tek parti yönetiminin propaganda faaliyetlerinden çok propaganda olarak değerlendirdiği söylem ve davranışlar üzerinde durduğunu göstermektedir. Yazışmalar sayesinde hangi olayların soruşturmaya konu edildiği, sürece hangi kurumların katıldığı ve kararların nasıl şekillendiği izlenebilmektedir. Bu nedenle araştırma, propaganda faaliyetlerini belirlemekten çok tek parti yönetiminin propaganda algısını ve bu algının idarî uygulamalara nasıl yansıdığını açıklamaya yönelmiştir.

Bu kapsamda vatandaş mektupları, dinî propaganda iddiaları, Almanya lehine propaganda girişimleri, eğitim kurumlarında rejim karşıtı ve etnik propaganda iddiaları, vatandaş ihbarları, üst düzey devlet yöneticilerine yönelik eleştiriler ve kamusal alanda kullanılan sembolik ifadeler ayrı başlıklar altında incelenmiştir. Bu örnekler birlikte değerlendirildiğinde, II. Dünya Savaşı yıllarında propaganda iddialarının yalnızca güvenlik meselesi olarak ele alınmadığı, aynı zamanda parti-devlet mekanizmasının işleyişini ve idarî denetim anlayışını yansıtan uygulamalar arasında yer aldığı görülmektedir.

DİNÎ VE SİYASAL TALEPLER İÇEREN BİR VATANDAŞ MEKTUBU

II. Dünya Savaşı yıllarında vatandaşlar tarafından kaleme alınan mektuplar, yalnızca bireysel talep ve şikâyetlerin iletildiği yazışmalar olarak değerlendirilmemiş, kamu düzeni ve rejimin güvenliği bakımından da incelenmiştir. Bu yaklaşımın dikkat çekici örneklerinden biri, CHP Umumi Kâtibi Kemal Gedeleç'in 10 Haziran 1943 tarihinde CHP Genel Sekreteri Mahmut Şevket Esendal'a gönderdiği yazıda görülmektedir. Yazıda, "Samsunlu Suat Berki" imzasını taşıyan ve müstear (takma) isimle kaleme alınmış olabileceği değerlendirilen bir mektubun Cumhurbaşkanlığına ulaştığı bildirilmiş, mektup sahibinin kimliğinin belirlenerek gerekli tahkikatın yapılması istenmiştir. Böylece Cumhurbaşkanına gönderilen bireysel bir başvuru, doğrudan CHP Genel Sekreterliğinin inceleme alanına dâhil edilmiş ve idarî soruşturma süreci başlatılmıştır (BCA, 490.1.0.0/587.26.1, s. 1).

Mektupta yer alan talepler yalnızca dinî konularla sınırlı değildir. Yazar, okullarda din derslerinin yeniden okutulmasını, imam-hatip okullarının açılmasını ve din görevlilerinin özlük haklarının iyileştirilmesini talep ederken; bunun yanında CHP teşkilatının yeniden düzenlenmesi, kamu yönetiminde dinî değerlere saygılı kişilere görev verilmesi, Ankara Radyosu yayınlarının değiştirilmesi, milletvekili seçimlerinin serbest oy esasına göre yapılması ve üniversite gençliğinin İslami değerler doğrultusunda yetiştirilmesi yönünde önerilerde de bulunmuştur. Mektup, dinî talepler ile siyasal ve idarî reform beklentilerinin aynı metin içerisinde birlikte dile getirilmesi bakımından dikkat çekicidir. Belgede dile getirilen hususlardan biri de mektup sahibinin kullandığı söylemdir. Yazar kendisini Cumhuriyet idaresine ve Millî Mücadele ruhuna bağlı bir vatandaş olarak tanıtmakta, dile getirdiği görüşlerin yalnızca şahsî kanaatlerinden ibaret olmadığını, çeşitli şehirlerde yaptığı seyahatler sırasında toplumun farklı kesimlerinden edindiği gözlemlere dayandığını ileri sürmektedir. Böylece önerilerini rejim karşıtı bir metin olarak değil, devletin ve milletin yararını gözeten bir vatandaşlık görevinin gereği olarak sunmaya çalışmaktadır (BCA, 490.1.0.0/587.26.1, s. 1-2). Bununla birlikte CHP Genel Sekreterliğinin mektuba yaklaşımı farklı olmuştur. Yazının içeriğinden, mektupta dile getirilen görüşlerin doğruluğundan ziyade, propaganda niteliği taşıyıp taşımadığının ve mektup sahibinin kim olduğunun araştırılmasına öncelik verildiği anlaşılmaktadır. Bu durum, tek parti yönetiminde vatandaşların Cumhurbaşkanına doğrudan ilettikleri bireysel başvuruların dahi yalnızca dilekçe kapsamında değerlendirilmediğini, gerekli görüldüğünde güvenlik ve istihbarat perspektifiyle soruşturma konusu yapıldığını göstermektedir. Belge aynı zamanda propaganda kavramının uygulamadaki kapsamına ilişkin önemli ipuçları vermektedir. Mektupta yer alan din eğitimi, imam-hatip okulları veya seçim sistemi gibi taleplerin herhangi bir örgütlü propaganda faaliyetine ilişkin somut delil oluşturduğu söylenemez. Buna rağmen CHP Genel Sekreterliğinin mektubu idarî tahkikata konu etmesi, propaganda kavramının yalnızca örgütlü siyasal faaliyetleri değil, kamuoyunu etkileyebileceği düşünülen bireysel görüş ve önerileri de kapsayacak şekilde yorumlandığını göstermektedir.

DİNÎ PROPAGANDA İDDİALARI VE SORUŞTURMALAR

Cumhuriyet'in ilk yıllarında din-devlet ilişkilerinin yeniden düzenlenmesi, yeni rejimin temel politika alanlarından birini oluşturmuştur. Din hizmetleri Diyanet İşleri Reisliği aracılığıyla devlet denetimi altında yürütülürken, dinî faaliyetlerin Cumhuriyet rejiminin temel ilkeleriyle uyumlu biçimde sürdürülmesine önem verilmiştir. II. Dünya Savaşı'nın meydana getirdiği güvenlik ortamı ise bu denetimi daha da genişletmiş, dinî içerikli söylem ve faaliyetler yalnızca

inanç alanına ilişkin meseleler olarak değil, kamu düzeni ve rejimin güvenliği bakımından da değerlendirilmiştir. Bu süreçte CHP Genel Sekreterliği, parti teşkilatı, mülkî idare, emniyet ve adlî makamlar arasında kurulan koordinasyon sayesinde dinî propaganda iddiaları sistemli biçimde soruşturulmuştur (Kara, 2017, s. 126; Turan, 2013, s. 102; Turan, 2019, s. 271).

Bu yaklaşımın ilk örneklerinden biri, CHP Sivas Vilayet İdare Heyeti Başkanı Şakir Uma'nın 19 Haziran 1942 tarihli yazısında görülmektedir. Yazıda, Medine'de "Şeyh Ahmet" adına hazırlandığı belirtilen bir vasiyetnamenin elden ele dolaştırılarak dinî propaganda yoluyla devletin emniyetini ihlal etmeye yönelik faaliyet yürütüldüğü ileri sürülmüş, Kangal'ın Havuz köyü imamı Mehmet Mustafa Dikçalı ile altı kişinin tutuklanarak Sivas Ağır Ceza Mahkemesine sevk edildiği bildirilmiştir. Ayrıca soruşturmanın ve yargılama sürecinin CHP Genel Sekreterliğine düzenli olarak bildirileceği belirtilmiştir (BCA, 490.1.0.0/587.26.1, s. 46). Sivas örneğinde dikkat çeken husus, parti teşkilatının yalnızca olay hakkında bilgi almakla yetinmemesi, soruşturma ve yargılama sürecini de yakından izlemesidir. Bu durum, propaganda iddialarının yalnızca adlî makamların konusu olarak görülmediğini, parti örgütünün de sürecin önemli bir parçası hâline geldiğini göstermektedir.

Benzer bir yaklaşım, 8 Şubat 1942 tarihli Acıpayam dilekçesinde de görülmektedir. Kahveci Ali İlhan, Ahmet Batmaz, Ahmet Demirci, Ekmekçi Mehmet ve bazı vatandaşlar tarafından CHP Genel Sekreterliğine gönderilen dilekçede, Acıpayam Müftüsü Mehmet Arif Akşit'in köyleri dolaşarak şeyhliğin faziletlerini anlattığı ve bu yolla dinî propaganda yaptığı ileri sürülmüştür. Dilekçede, müftünün bazı evlerde bulunan resimleri kaldırdığı belirtilmiş ve bu davranışın Cumhuriyet rejimiyle bağdaşmadığı ileri sürülerek hakkında tahkikat açılması talep edilmiştir. Belgede ayrıca kaymakamlığın, müftünün izin almadan köyleri dolaşmasını yasakladığı bilgisine de yer verilmiştir (BCA, 490.1.0.0/587.26.1, s. 47).

Bu olayda propaganda iddiası doğrudan vatandaşların şikâyeti üzerine gündeme gelmiştir. Dolayısıyla soruşturmayı başlatan unsur, resmî makamların tespiti değil, yerel düzeyde yapılan ihbardır. Bu durum, tek parti döneminde propaganda denetiminin yalnızca yukarıdan aşağıya işleyen bir mekanizma olmadığını, vatandaşlardan gelen ihbarların da soruşturma sürecini harekete geçiren önemli bilgi kaynaklarından biri olduğunu göstermektedir.

Dinî propaganda iddialarına ilişkin benzer bir değerlendirme, CHP Vilayet Başkanı Durmuş Erginsoy'un 22 Şubat 1944 tarihli yazısında da görülmektedir. Yazıda, önceki Ramazan ayında İstanbul Müftülüğünden aldığı belgeyle Papatya Köyü'ne vaaz vermeye giden Halim isimli kişinin Millî Şef İsmet İnönü aleyhinde propaganda yaptığı ileri sürülmüş, kaymakamlığa yapılan bildirimin ardından Cumhuriyet Müddeiumumiliği tarafından soruşturma başlatıldığı

ve söz konusu kişinin tutuklanarak dosyasının Bursa Ağır Ceza Mahkemesine gönderildiği belirtilmiştir. Aynı yazıda Yalova'da benzer olayların yaşandığı ifade edilmiş, müftülüklerden belge alarak köylere giden kişilerin daha sıkı denetlenmesi ve Cumhuriyet inkılaplarını benimsemediği düşünülen kişilerin dinî faaliyet yürütmelerinin engellenmesi önerilmiştir (BCA, 490.1.0.0/587.26.1, s. 32).

Raporda esas kaygı, dinî hizmetlerin yürütülmesi değil, bu faaliyetlerin rejim karşıtı söylemler için kullanılabileceği ihtimalidir. Bu nedenle önerilen tedbirler, din görevlilerinin yalnızca dinî yeterliliklerinin değil, Cumhuriyet rejimine bağlılıklarının da denetlenmesini hedeflemektedir. Bu üç belge birlikte değerlendirildiğinde, tek parti yönetiminin dinî propaganda iddialarını tek tip olaylar olarak ele almadığı görülmektedir. Sivas örneğinde dinî metinlerin dolaşıma sokulması, Acıpayam'da yerel ihbarlar, Bursa örneğinde ise resmî yetki belgesiyle yürütülen vaaz faaliyetleri soruşturma konusu yapılmıştır. Buna karşılık belgeler, bu iddiaların tamamının doğrulandığını göstermemektedir. İncelenen yazışmalar daha çok propaganda şüphesi üzerine başlatılan idarî ve adlî süreçleri yansıtmaktadır. Bu yönüyle arşiv belgeleri, dinî propaganda faaliyetlerinin varlığını kesin biçimde kanıtlamaktan ziyade, tek parti yönetiminin hangi dinî söylem ve faaliyetleri propaganda kapsamında değerlendirdiğini ve bunlara karşı nasıl bir denetim mekanizması oluşturduğunu göstermesi bakımından önem taşımaktadır.

ALMANYA LEHİNE PROPAGANDA GİRİŞİMİ VE YÜRÜTÜLEN SORUŞTURMA

II. Dünya Savaşı sırasında Türkiye, tarafsızlık politikasını sürdürmeye çalışırken hem Müttefik Devletler hem de Almanya ile ilişkilerinde hassas bir diplomatik denge gözetmek durumunda kalmıştır. Bu nedenle propaganda faaliyetleri yalnızca kamuoyunu etkilemeye yönelik girişimler olarak değerlendirilmemiş, aynı zamanda dış politika dengelerini bozabilecek ve ülkenin güvenliğini etkileyebilecek faaliyetler olarak ele alınmıştır. Özellikle Türk-İngiliz ilişkilerini zedeleyebilecek propaganda girişimleri, merkezî idarenin güvenlik politikaları kapsamında yakından izlenmiştir. Bu yaklaşımın somut örneklerinden biri, Alman Büyükelçisi Franz von Papen'in Mart 1943'te Mersin'i ziyareti sırasında meydana gelen propaganda olayıdır (Çelik, 2018, s. 324; Doğaner, 2012, s. 70; Teke, 2022, s. 252).

CHP İçel Bölgesi Müfettişi Halit Onaran ile CHP İçel İdare Heyeti Başkanı Mitat Toroğlu tarafından hazırlanan raporlar, aynı olaya ilişkin farklı aşamalardaki idarî değerlendirmeleri yansıtmaktadır. Her iki raporda da Franz von Papen'in Mersin'de bulunduğu sırada şehrin çeşitli noktalarına hükümetin iaşe politikalarını eleştiren, Türkiye'nin İngiltere ile kurduğu ittifakı hedef alan ve Adolf Hitler'in siyasetini öven propaganda bildirilerinin asıldığı

belirtilmektedir. Bildirilerde savaş yıllarında yaşanan ekonomik sıkıntıların mevcut hükümet politikalarından kaynaklandığı ileri sürülmüş, çözümün ise Hitler'in takip ettiği siyasetin benimsenmesinde olduğu iddia edilmiştir (BCA, 490.1.0.0/587.26.1, s. 3, 12)[1]. Olayın öğrenilmesi üzerine emniyet teşkilatı kısa sürede geniş kapsamlı bir soruşturma başlatmıştır. Bildirilerin hazırlandığı daktilonun belirlenebilmesi amacıyla şehirdeki daktiloların yazı karakterleri karşılaştırılmış, yapıştırmada kullanılan malzemelerin temin edildiği yerler araştırılmış ve olayın failleri teknik deliller üzerinden tespit edilmeye çalışılmıştır. Soruşturma sonucunda şüpheler komisyonculuk yapan Ahmet Tezel üzerinde yoğunlaşmış, Tezel gözaltına alınarak hakkında adlî işlem başlatılmıştır (BCA, 490.1.0.0/587.26.1, s. 3-4). Bu yönüyle belgeler, propaganda iddialarının yalnızca ihbarlara dayanılarak değerlendirilmediğini, maddi delillerle desteklenmeye çalışıldığını göstermektedir.

Soruşturmanın dikkat çekici yönlerinden biri de CHP teşkilatının sürece doğrudan dâhil edilmesidir. Bildirilerden birinin CHP Mahmudiye Ocak Başkanı Ziya Ok'un iş yerinin duvarına asılması üzerine Ziya Ok da soruşturma kapsamına alınmıştır. Ziya Ok'un bildiriyi fark eder etmez emniyete haber vermesi ve delillerin korunmasını istemesi soruşturmanın önemli unsurlarından biri olarak raporlara yansımıştır. Soruşturma sürecinde Ahmet Tezel'in verdiği ifadeler ise dosyanın seyrini doğrudan etkilemiştir. İlk ifadesinde bildirileri Ziya Ok'un teşvikiyle hazırladığını ileri süren Tezel, daha sonra bu beyanını değiştirerek eylemi tek başına gerçekleştirdiğini açıklamıştır. Aynı kişi tarafından verilen çelişkili ifadeler, soruşturmanın temel dayanaklarından biri olan tanık ve şüpheli beyanlarının güvenilirliğini tartışmalı hâle getirmiştir (BCA, 490.1.0.0/587.26.1, s. 5-6, 12).

Yargılama sürecinde de bu ayrım açık biçimde görülmektedir. Emniyet makamlarının başlangıçta şüpheli gördüğü Ziya Ok hakkında mahkeme, mevcut delilleri yeterli bulmayarak kefaletle serbest bırakılmasına karar vermiş, Ahmet Tezel hakkındaki yargılamanın ise Askerî Ceza Mahkemesinde devam etmesini uygun görmüştür. Daha sonra hazırlanan Mitat Toroğlu raporunda da Ahmet Tezel'in herhangi bir yabancı devlet, ajan veya konsoloslukla bağlantısını ortaya koyan somut bir delile ulaşılamadığı belirtilmiştir. Ziya Ok'un yalnızca ilk ifade nedeniyle soruşturmaya dâhil edildiği, bunun dışında suçlamaları destekleyen herhangi bir bulgu elde edilemediği özellikle vurgulanmıştır (BCA, 490.1.0.0/587.26.1, s. 6-8, 12-13).

[1] Bildirilerde şu ifadelere yer verilmiştir: "Hitler'in yolunu takip et.", "Muhakkak muvaffak olur ve daima birlik içinde yaşarsın.", "Fırında iki kapı vardır. Birinde ekmek 45, diğerinde 16,5 kuruştur.", "Şekeri biri 516, diğeri 150 kuruşa alıyor.", "Giyeceği sen bulamazken, başkası parasız temin ediyor.", "Bu ikilik ortadan kalkmalıdır.", "Tuttuğumuz yolun sonu uçurumdur.", "Seni bu uçurumdan ancak Hitler, Hitler, Hitler kurtaracaktır." (BCA, 490.1.0.0/587.26.1, s. 23).

Her iki rapor birlikte değerlendirildiğinde, tek parti yönetiminin Almanya lehine propaganda iddialarını dış politika ve iç güvenlik bakımından ciddiyetle ele aldığı anlaşılmaktadır. Bununla birlikte belgeler, propaganda iddiasının tek başına mahkûmiyet için yeterli görülmediğini, idarî soruşturma ile yargısal değerlendirme arasında belirgin bir ayrım bulunduğunu göstermektedir. Parti teşkilatı, emniyet ve adliye makamları koordinasyon içerisinde hareket etmiş, ancak somut delillerle desteklenemeyen iddialar mahkûmiyetle sonuçlanmamıştır. Bu durum, soruşturma sürecinin her zaman cezaî yaptırımla sonuçlanmadığını göstermesi bakımından dikkat çekicidir.

OKULLARDA REJİM KARŞITI VE ETNİK PROPAGANDA İDDİASI

II. Dünya Savaşı yıllarında eğitim kurumları, yalnızca öğretim faaliyetlerinin yürütüldüğü mekânlar olarak değil, Cumhuriyet rejiminin temel ilkelerinin yeni kuşaklara aktarılmasında stratejik kurumlar olarak değerlendirilmiştir. Bu nedenle öğretmenlerin sınıf içindeki söylemleri pedagojik faaliyetlerin ötesinde siyasal sadakat ve millî kimlik bakımından da denetime tabi tutulmuştur. CHP Genel Sekreterliği yazışmaları, okullarda propaganda niteliği taşıdığı ileri sürülen ifadelerin parti teşkilatı, mülkî idare ve Millî Eğitim Bakanlığı arasında yürütülen koordinasyon içerisinde soruşturulduğunu göstermektedir.

Bu yaklaşımın dikkat çekici örneklerinden biri, Kayseri Develi Ortaokulu öğretmeni Ali Ersin hakkında yürütülen soruşturmadır. CHP Genel Sekreterliği adına Kırklareli Milletvekili N. Kansu tarafından 17 Şubat 1944 tarihinde Millî Eğitim Bakanı Hasan Âli Yücel'e gönderilen yazıda, Ali Ersin'in derslerinde Cumhuriyet rejimi, CHP ve Türklük aleyhine, Kürtlük lehine telkinlerde bulunduğu yönündeki ihbarlar Bakanlığın bilgisine sunulmuştur (BCA, 490.1.0.0/587.26.1, s. 33). Yazışmalar, söz konusu propaganda iddiasının yalnızca yerel makamlarca ele alınmadığını, Millî Eğitim Bakanlığının da sürece katılımıyla merkezî idare tarafından değerlendirildiğini göstermektedir.

Soruşturmaya ilişkin ayrıntılar, CHP Kayseri Vilayet İdare Heyeti Başkanı Hayrullah Ürkün ile CHP Develi Kaza İdare Heyeti Başkan Vekili İsmail Mavi tarafından hazırlanan raporlarda yer almaktadır. Belgelere göre Develi Kaymakamlığınca yürütülen tahkikat sonucunda okul müdürlüğünün hazırladığı rapor Millî Eğitim Bakanlığına gönderilmiş, öğretmen hakkında adlî işlem başlatılabilmesi için Millî Eğitim Bakanlığı ile Adalet Bakanlığının değerlendirmesi beklenmiştir. Aynı süreçte Ali Ersin'in Zile Ortaokuluna nakledildiği bildirilmiş, hazırlanan raporlarda öğretmenin tarih ve yurt bilgisi derslerinde rejim, parti ve Türklük aleyhine propaganda yaptığı ileri sürülmüştür. Ayrıca kişiliği ve etnik kökeni hakkında dönemin resmî söylemini yansıtan değerlendirmelere de yer verilmiştir (BCA, 490.1.0.0/587.26.1, s. 35-36).

Belgeler birlikte değerlendirildiğinde, propaganda iddiası üzerine yalnızca okul yönetiminin değil, kaymakamlığın, CHP teşkilatının, Millî Eğitim Bakanlığının ve Adalet Bakanlığının da sürece dâhil olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, söz konusu belgelerin eleştirel bir yaklaşımla değerlendirilmesi önem taşımaktadır. Raporlarda öğretmenin etnik kökeni, karakteri ve kişiliğine ilişkin yer verilen ifadeler, soruşturmayı yürüten görevlilerin değerlendirmelerini yansıtmakta olup, bu nitelendirmelerin belgeyi hazırlayanların bakış açısından bağımsız düşünülmemesi gerekmektedir. Benzer şekilde suçlamalar büyük ölçüde idarî raporlar ve ihbarlara dayandırılmış, öğretmenin savunmasına veya yargı sürecinin sonucuna ilişkin herhangi bir bilgiye yer verilmemiştir. Bu nedenle belgeler, Ali Ersin'in isnat edilen fiilleri kesin olarak işlediğini kanıtlamaktan ziyade, tek parti yönetiminin eğitim kurumlarında dile getirilen hangi söylemleri rejim karşıtı ve propaganda niteliğinde değerlendirdiğini göstermesi bakımından önem taşımaktadır.

Ali Ersin soruşturması, eğitim kurumlarında dile getirildiği iddia edilen söylemlerin propaganda kapsamında değerlendirilmesine ilişkin dikkat çekici bir örnek oluştururken, CHP Genel Sekreterliği yazışmaları rejim karşıtı olduğu ileri sürülen ifadelerin yalnızca eğitim kurumlarıyla sınırlı kalmadığını göstermektedir. Vatandaşlar tarafından kamu görevlileri ve toplum içerisinde etkili konumda bulunan kişiler hakkında yapılan ihbarlar da propaganda iddialarına ilişkin denetim mekanizmasının önemli unsurlarından birini oluşturmuştur. Bu kapsamda Giresun'un Alucra ilçesinden İbrahim Ünsal tarafından CHP Genel Sekreterliğine gönderilen 12 Haziran 1941 tarihli mektupta, Alucra Kaymakamı Kerim Tursay'ın çeşitli ortamlarda dile getirdiği ileri sürülen ifadeler ihbar konusu yapılmıştır. Ankara Hukuk Fakültesi son sınıf öğrencisi olduğunu belirten Ünsal, Cumhuriyet rejimine bağlılığını vurgulayarak başvurusunu bir vatandaşlık görevinin gereği olarak kaleme aldığını ifade etmiştir. Mektupta, kaymakamın II. Dünya Savaşı'nın meydana getirdiği belirsizlik ortamında Atatürk hayatta olsaydı halkın bu ölçüde endişe duymayacağını söylediği, ayrıca Şükrü Kaya'nın Atatürk dönemindeki konumunu İsmet İnönü dönemindeki başbakanlıktan daha itibarlı gördüğünü dile getirdiği ileri sürülmüştür. Başvuru sahibi, bu iddiaların değerlendirilmesini CHP Genel Sekreterliğinin takdirine bırakmıştır (BCA, 490.1.0.0/587.26.1, s. 60).

Benzer nitelikteki bir başka ihbar, Hatip Süleyman Taşkın tarafından 21 Kasım 1940 tarihinde CHP Genel Sekreterliğine gönderilen yazıda yer almaktadır. Taşkın, II. Dünya Savaşı'nın oluşturduğu şartlarda parti üyelerinin devlet aleyhine faaliyetlerde bulunabilecek kişileri yetkili makamlara bildirmekle yükümlü olduklarını ifade etmiştir. Kandıra'da bir kahvede Alman

bombardımanlarına ilişkin haberler dinlenirken avukat Bekir Sami'nin Alman ordusunu öven ifadeler kullandığını ileri sürmüştür. Bu nedenle durumu önce parti teşkilatına, ardından kaymakamlığa bildirerek gerekli tahkikatın yapılmasını talep etmiş, ayrıca söz konusu kişinin çevresinde güvenilir biri olarak tanınmadığı yönündeki duyumlarını da yazısına eklemiştir (BCA, 490.1.0.0/587.26.1, s. 68).

Her iki belge birlikte değerlendirildiğinde, propaganda iddialarının ortaya çıkarılmasında vatandaş ihbarlarının belirleyici bir rol üstlendiği görülmektedir. Parti teşkilatı ve mülkî idare, bu tür başvuruları yalnızca bireysel şikâyet olarak değerlendirmemiş, kamu görevlilerinin ve toplumda etkili kişilerin siyasal sadakatini incelemeye yönelik bilgi kaynakları olarak ele almıştır. Bununla birlikte belgeler, ihbar edilen kişilerin isnat edilen ifadeleri gerçekten kullanıp kullanmadığını ortaya koymamaktadır. Yalnızca vatandaşlar tarafından resmî makamlara ulaştırılan iddiaları yansıtmaktadır. Bu yönüyle arşiv belgeleri, rejim karşıtı faaliyetlerin kesin kanıtlarını sunmaktan ziyade, tek parti yönetiminde vatandaş ihbarlarının siyasal denetim mekanizmasının işleyişindeki yerini göstermektedir.

Rejim karşıtı propaganda iddiaları yalnızca sözlü beyanlarla sınırlı kalmamış, kamusal alanda kullanılan sembolik ifadeler de aynı kapsamda değerlendirilmiştir. CHP İzmir Vilâyet İdare Heyeti Başkanı M. Münir Birsel tarafından 30 Eylül 1942 tarihinde CHP Genel Sekreterliğine gönderilen yazıda, İzmir'de Salepçioğlu Hanı'nın arka cephesindeki bir duvara "Atam; yaşamalıydın, bugünü görmeliydin." ifadesini taşıyan bir levhanın asıldığı bildirilmiştir. Birsel, olayın kendisine ulaşmasının ardından durumu derhâl İzmir Valisi ile görüştüğünü, valinin ise levhanın polis tarafından yerinde tespit edilerek fotoğraflandığını, daha sonra kaldırıldığını ve olayın İçişleri Bakanlığına şifre telgrafla bildirildiğini aktarmıştır. Ayrıca levhayı hazırlayan kişi veya kişilerin belirlenmesi amacıyla emniyet teşkilatı tarafından soruşturma başlatıldığı ve gelişmelerin CHP Genel Sekreterliğine düzenli olarak bildirileceği ifade edilmiştir (BCA, 490.1.0.0/587.26.1, s. 40).

Bu olay, ilk bakışta Atatürk'e duyulan özlemi dile getiren sembolik bir ifade niteliği taşıyan levha, dönemin siyasal şartları içerisinde mevcut yönetime dolaylı bir eleştiri olarak değerlendirilmiş ve propaganda ihtimali çerçevesinde incelemeye alınmıştır. Burada dikkat çeken husus, soruşturmayı başlatan unsurun propaganda faaliyetinin kesin olarak ortaya konulması değil, kamusal alanda kullanılan ifadenin kamuoyunu etkileyebilecek bir anlam taşıdığı yönündeki değerlendirmedir.

BAŞBAKAN ŞÜKRÜ SARAÇOĞLU'NA YÖNELİK MUHALİF SÖYLEM

Üst düzey devlet yöneticilerine yönelik eleştirel içerikli mektuplar da II. Dünya Savaşı yıllarında merkezî idarenin yakından takip ettiği başvurular arasında yer almıştır. Kamuoyunu etkileyebileceği düşünülen bu tür yazışmalar, yalnızca bireysel görüş açıklamaları olarak değerlendirilmemiş, propaganda veya rejim aleyhine faaliyet niteliği taşıyıp taşımadıklarının belirlenmesi amacıyla ilgili makamlarca incelenmiştir. Bu yaklaşımın örneklerinden biri, "Vatanperver Büyük Bir Grup" imzasıyla 25 Temmuz 1942 tarihinde Başbakan Şükrü Saraçoğlu'na gönderilen mektupta görülmektedir (BCA, 490.1.0.0/587.26.1, s. 42).

Mektupta, Şükrü Saraçoğlu'nun kamuoyunda oluşturulan halkçı kimliği eleştirilmiş ve İstanbul basınında yer alan haberlerden hareketle kısa sürede önemli bir servet edindiği ileri sürülerek bunun kişisel çıkar ilişkileriyle bağlantılı olduğu iddia edilmiştir. Ayrıca devlet yönetimindeki yükselişinin liyakatten ziyade siyasî yakınlık ve kişisel ilişkiler sayesinde gerçekleştiği öne sürülmüş, yönetim kadrolarında ehliyet ve dürüstlük ilkelerinin yeterince gözetilmediği ifade edilmiştir. Yazının devamında halkçılık söyleminin gerçeği yansıtmadığı, kamuoyunun bu yöndeki propaganda faaliyetlerine itibar etmediği belirtilmiştir. Millî Şef'in çevresindeki yöneticileri belirlerken daha dikkatli davranması gerektiği ileri sürülerek mevcut uygulamaların devlet yönetimine duyulan güveni zayıflattığı iddia edilmiştir (BCA, 490.1.0.0/587.26.1, s. 42-43).

Belge, savaş yıllarında üst düzey devlet yöneticilerine yönelik eleştirilerin yalnızca idarî uygulamalarla sınırlı kalmadığını, kamuoyunda oluşturulduğu düşünülen siyasal imajın da sorgulandığını göstermektedir. Bununla birlikte mektupta dile getirilen iddiaların doğruluğunu teyit edecek herhangi bir bilgi veya belgeye yer verilmemiştir. Dolayısıyla metin, Başbakan Şükrü Saraçoğlu hakkında ileri sürülen suçlamaların doğruluğunu kanıtlamaktan ziyade, dönemin siyasal atmosferinde yöneticilere yönelik eleştirel söylemlerin hangi içerik üzerinden şekillendiğini yansıtmaktadır. Bu belgenin dikkat çekici yönü, eleştirilerin doğrudan Cumhuriyet rejiminin temel ilkelerine değil, yönetici kadroların liyakati, halkçılık anlayışı ve kamuoyuna yönelik propaganda faaliyetleri üzerinde yoğunlaşmasıdır. Aynı zamanda isimsiz bir grup adına kaleme alınan bu tür mektupların da merkezî idarenin inceleme konusu yapılması, tek parti yönetiminde üst düzey devlet yöneticilerine yönelik eleştirel söylemlerin kamuoyu üzerindeki muhtemel etkisi nedeniyle yakından takip edildiğini düşündürmektedir.

SONUÇ

CHP Genel Sekreterliği yazışmaları çerçevesinde incelenen belgeler, II. Dünya Savaşı yıllarında propaganda kavramının idarî uygulamalarda oldukça geniş bir anlam çerçevesinde

yorumlandığını göstermektedir. Propaganda, yalnızca yabancı devletler lehine yürütülen faaliyetleri ifade eden bir kavram olarak ele alınmamıştır. Bunun yanında dinî söylemler, eğitim kurumlarında dile getirildiği ileri sürülen görüşler, kamu görevlilerinin açıklamaları, vatandaş mektupları, ihbarlar ve kamusal alanda dolaşıma giren sembolik ifadeler de aynı kapsam içerisinde değerlendirilmiştir. Böylece propaganda, savaş yıllarında güvenlik politikalarının önemli araçlarından biri hâline gelirken, devletin farklı toplumsal alanlara yönelik denetim anlayışının da temel unsurlarından biri olmuştur.

Araştırmada ulaşılan önemli bulgulardan biri, propaganda iddialarının değerlendirilmesinde CHP Genel Sekreterliğinin üstlendiği merkezî koordinasyon görevidir. Parti teşkilatları, mülkî idare, emniyet, Millî Eğitim Bakanlığı, adlî makamlar ve diğer kamu kurumları arasında yürütülen yazışmalar Genel Sekreterlikte toplanmış, farklı şehirlerde meydana gelen olaylar aynı idarî ağ içerisinde izlenmiştir. Bu süreç, propaganda iddialarının yalnızca güvenlik birimlerinin sorumluluğunda ele alınmadığını, parti teşkilatının da karar alma ve denetim mekanizmasının ayrılmaz bir parçası olarak hareket ettiğini göstermektedir.

Belgeler, vatandaş ihbarlarının bu sistemin işleyişinde önemli bir yer tuttuğunu da ortaya çıkarmaktadır. Vatandaşlar tarafından gönderilen mektuplar ve dilekçeler aracılığıyla öğretmenler, din görevlileri, kamu görevlileri ve üst düzey devlet yöneticileri hakkında çeşitli iddialar resmî makamlara ulaştırılmıştır. Bu yönüyle vatandaşlar yalnızca devletin denetimine tabi bireyler olarak kalmamış, aynı zamanda denetim mekanizmasını besleyen bilgi kaynaklarından biri hâline gelmiştir.

Araştırmanın ulaştırdığı bir diğer sonuç, propaganda iddialarının her zaman mahkûmiyetle sonuçlanmamış olmasıdır. Özellikle Almanya lehine propaganda iddiasıyla yürütülen soruşturmalarda bazı şüpheliler hakkında yeterli delile ulaşılamamış, bazı dosyalar ise idarî değerlendirme aşamasında kalmıştır. Benzer durum eğitim kurumları, dinî faaliyetler ve vatandaş ihbarlarına ilişkin belgelerde de görülmüştür. İddiaların önemli bir bölümü ihbarlar ve idarî raporlar üzerine kurulmuş, buna karşılık her olay yargı kararıyla kesinlik kazanmamıştır. Bu tablo, tek parti dönemindeki propaganda soruşturmalarının tamamının cezai yaptırımla sonuçlandığı yönündeki genel kabulün arşiv belgeleriyle bütünüyle örtüşmediğini göstermiştir.

Araştırmanın ayırt edici yönü, propaganda faaliyetlerinden çok propaganda algısına odaklanmış olmasıdır. İncelenen belgeler, devletin hangi söylem ve davranışları propaganda kapsamında değerlendirdiğini, propaganda şüphesinin hangi durumlarda soruşturma sürecini başlattığını ve bu süreçte hangi kurumların devreye girdiğini ayrıntılı biçimde izleme imkânı

vermiştir. Bu çerçevede propaganda, yalnızca kamuoyunu yönlendirmeye yönelik faaliyetleri tanımlayan bir kavram olmaktan çıkmış ve güvenlik anlayışı, idarî denetim ve parti-devlet ilişkilerinin kesiştiği bir uygulama alanına dönüşmüştür.

Sonuç olarak bu çalışma, CHP Genel Sekreterliği yazışmalarından hareketle II. Dünya Savaşı yıllarında propaganda iddialarının nasıl ele alındığını ve soruşturma süreçlerinin nasıl işlediğini açıklığa kavuşturmaktadır. Çalışmanın temel katkısı, propaganda faaliyetlerini tespit etmeye çalışmaktan ziyade, tek parti yönetiminin propaganda kavramını nasıl yorumladığını, hangi söylem ve davranışları propaganda olarak değerlendirdiğini ve bu yaklaşımın idarî uygulamalara nasıl yansıdığını ortaya koymasıdır.

KAYNAKLAR

Arşiv Kaynağı

Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Devlet Arşivleri Başkanlığı Cumhuriyet Arşivi [BCA], 490.1.0.0/587.26.1.

Araştırma Eserleri

Berber Babalık, B. (2025). Türkiye'de Alman propagandası hakkında bir kitap: *Türkishe Post*. *Yakın Dönem Türkiye Araştırmaları*, (47), 305-311.

Çelik, A. (2018). İkinci Dünya Savaşı'nda hükümet-basın ilişkileri ve gazeteci mebuslar. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 28*(2), 315-331.

Doğaner, Y. (2012). İkinci Dünya Savaşı yıllarında Türkiye'de Nazi propagandası (Emniyet Genel Müdürlüğü raporlarına göre). *Hacettepe Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları Dergisi*, (17), 65-81.

Duman, M. (2018a). 1945-1950 döneminde Türk dış politikasının propagandası üzerine bir girişim: New York Haberler Bürosu. *Türkiye İletişim Araştırmaları Dergisi*, (31), 204-221.

Duman, M. (2018b). SSCB tehlikesi karşısında CHP hükümetlerinin karşı propaganda aracı olarak sansür faaliyetleri (1945-1950). *Bitlis Eren Üniversitesi Akademik İzdüşüm Dergisi, 3*(1), 99-118.

Geçikli, F. (2012). Geçmişten günümüze propaganda kavramı. *İstanbul Üniversitesi İletişim Fakültesi Dergisi*, (9), 265-276.

İlyas, A., & Turan, O. (2016). İnönü dönemi Türk dış politikası. *Atatürk Dergisi, 1*(1), 319-341.

Kara, H. (2017). Tek Parti dönemi din politikası (1923-1946). *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 9*(19), 111-136.

Nal, S. (2005). Demokrat Partinin 1950-1954 dönemi din siyaseti. *Ankara Üniversitesi SBF Dergisi, 60*(3), 137-171.

Sakal, F. (2017). Tek Parti dönemindeki CHP propaganda anlayışından Propaganda ve Yayın Bürosu'nun kuruluşuna. *Studies of the Ottoman Domain, 7*(12), 1-23.

Sarıçoban, G. (2020). İkinci Dünya Savaşı döneminde (1939-1945) Türk dış politikası. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 24*(4), 1755-1777.

Teke, C. (2022). II. Dünya Savaşı'nda Türkiye'nin savaş dışı kalma çabalarında Türk basını. *Akademik Tarih ve Düşünce Dergisi, 9*(1), 248-273.

Turan, İ. (2019). Cumhuriyet Türkiyesinde din eğitimi politikaları. *Din Bilimleri Akademik Araştırma Dergisi, 19*(2), 269-292.

Turan, M. (2013). Tek Parti döneminin iktidar literatüründe Osmanlı mirası. *Tarih Okulu Dergisi, 6*(16), 79-116.

Unat, K. (2015). Tek Parti döneminin son genel seçimi: 1943 seçimleri ve Cumhuriyet Halk Partisi'nin seçim propagandaları. *Ankara Üniversitesi Türk İnkılâp Tarihi Enstitüsü Atatürk Yolu Dergisi*, (56), 209-248.

MUSİQİ YARADICILIĞI VƏ SÜNİ İNTELLEKT
MUSICAL CREATIVITY AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Əliyeva Maralxanım Tofiq qızı.
Pedaqogika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
"İncəsənət və fiziki tərbiyə" fakültəsi
"Musiqi və onun tədrisi texnologiyası" kafedrası
Azərbaycan, Bakı şəhəri, Üzeyir Hacıbəyli küçəsi, 68
ORCİD İD: 0000-0002-2005-6090

XÜLASƏ

Məqalədə musiqi bəstəkarlıq yaradıcılığı və süni intellektin toqquşmasında yaranan problemlər təhlil olunur. Burada qeyd olunur ki, müasir zamanda elmin və txnologiyaların inkişafı ilə süni intellekt artıq məlumatları təhlil və sistemləşdirməklə yanaşı, həm də musiqi əsərləri də daxil olmaqla yeni bədii formalar yaratmaq qabiliyyətinə malikdir. Bu halda yaradıcılıq, müəlliflik və bədii dəyər kimi ənənəvi anlayışları yenidən nəzərdən keçirilmək lazım olunur. Məqalənin sonunda belə nəticəyə gəlinir ki, süni intellekt insanların əvəzedicisi deyil, tərəfdaşıdır. Ənənə və innovasiyanın kəsişməsində yerləşən musiqi sənəti yeni şəraitə uyğunlaşaraq inkişaf etməyə davam edir. Bu prosesdə insanın davam edən dəyişiklikləri anlamaq və texnoloji tərəqqi ilə humanist dəyərlərin qorunması arasında tarazlıq tapmaq qabiliyyəti mühüm rol oynayır.

Açar sözlər: yaradıcılıq, musiqi, texnoloji inkişaf, süni intellekt

ABSTRACT:

The article analyzes the problems arising in the collision of musical compositional creativity and artificial intelligence. It is noted that in modern times, with the development of science and technology, artificial intelligence is now capable of analyzing and systematizing information, as well as creating new artistic forms, including musical works. In this case, it is necessary to reconsider traditional concepts such as creativity, authorship and artistic value. At the end of the article, it is concluded that artificial intelligence is not a substitute for people, but a partner. The art of music, located at the intersection of tradition and innovation, continues to develop, adapting to new conditions. In this process, a person's ability to understand ongoing changes and find a balance between technological progress and the preservation of human values plays an important role.

Key words: creativity, music, technological development, artificial intelligence

GİRİŞ

Bəşər tarixi boyunca musiqi sənəti təkcə estetik ifadə forması deyil, həm də dünyanı anlamaq, mənəvi təcrübəni və mədəni yaddaşı əks etdirmək üçün bir yol kimi xidmət etmişdir. Bu kontekstdə musiqi yaradıcılığı ənənəvi olaraq intuisiya, emosional həssaslıq, intellektual

fəaliyyət və bədii təxəyyülün birləşməsinə əsaslanan unikal insan qabiliyyəti kimi qəbul edilmişdir. Lakin rəqəmsal texnologiyaların, xüsusən də süni intellektin sürətli inkişafı insan yaradıcılığının müstəsna təbiətinə meydan oxumuş və musiqi sənətinin mahiyyətini anlamaq üçün yeni üfüqlər açmışdır.

Elmi və texnoloji inkişafın hazırkı mərhələsi əvvəllər yalnız humanitar elmlər hesab edilən sahələrdə alqoritmik sistemlərin aktiv tətbiqi ilə xarakterizə olunur. Süni intellekt artıq təkcə məlumatları təhlil və sistemləşdirməklə yanaşı, həm də musiqi əsərləri də daxil olmaqla yeni bədii formalar yaratmaq qabiliyyətinə malikdir. Belə olan halda yaradıcılıq, müəlliflik və bədii dəyər kimi ənənəvi anlayışların yenidən nəzərdən keçirilməsi tələb olunur.

ARAŞDIRMA

Musiqi yaradıcılığı bir proses kimi ideyanın yaranmasını, inkişafını, strukturlaşdırılmasını və səs formasında təcəssümünü əhatə edən mürəkkəb bir sistemdir. Bu proses mücərrəd (abstrakt) düşüncə, emosional təcrübə və reallığın simvolik təsviri qabiliyyətinə əsaslanır. Klassik anlayışda yaradıcılıq şüur və əks olunma qabiliyyətinə malik bir subyektin mövcudluğunu nəzərdə tutur. Lakin müasir süni intellekt sistemləri böyük məlumat dəstlərinin təhlili əsasında yaradıcı prosesi modelləşdirmək qabiliyyətini nümayiş etdirir.

Maşın öyrənməsinin və neyron şəbəkə texnologiyalarının inkişafı süni intellektdən istifadə edərək musiqi yaratmağa imkan verən əsas amilə çevrilmişdir. İnsan beyninin quruluşunu təqlid edən neyron şəbəkələri, harmonik irəliləyişlər, ritmik strukturlar və melodik xətlər daxil olmaqla, musiqi əsərlərindəki mürəkkəb nümunələri müəyyən etməyə qadirdir. Kütləvi məlumat dəstləri üzərində təlim keçən bu cür sistemlər musiqi dilinin statistik modellərini yaradır və daha sonra yeni əsərlər yaratmaq üçün istifadə olunur.

Təkrarlanan (rekurrent) neyron şəbəkələri, transformerlər və variasiyalı avtoenkoderlər kimi generativ modellər xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Bu arxitekturalar daxili məntiq və stilistik bütövlüyə malik musiqi ardıcıllıqlarının yaradılmasına imkan verir. Məsələn, müasir sistemlər səs parametrlərini verilən şərtlərə uyğunlaşdıraraq müxtəlif dövrlərin və bəstəkarların üslublarında əsərlər yaratmağa qadirdir. Bəzi hallarda bu cür əsərlər film, oyun və rəqəmsal media sənayesində istifadə olunur ki, bu da bu texnologiyaların praktik əhəmiyyətini nümayiş etdirir.

Musiqi generasiyasında istifadə edilən ən məşhur sistemlər arasında AIVA (Artificial Intelligence Virtual Artist – yəni Süni İntellekt Virtual Sənətçi), OpenAI Jukebox, MuseNet, Amper Music və bir sıra digər platformalar var. Bu sistemlər məlumatların emalı və səs generasiyası üçün fərqli yanaşmalardan istifadə edir, lakin müəyyən stilistik və janr

xüsusiyyətlərinə uyğun musiqi materialı yaratmaq qabiliyyətini bölüşürlər. Qeyd etmək vacibdir ki, bu sistemlərin bir çoxu bəstəkarın imkanlarını tamamilə əvəz etmək əvəzinə, onları genişləndirən alətlər kimi fəaliyyət göstərir.

Texnoloji inkişafın yüksək səviyyəsinə baxmayaraq, maşın yaradıcılığının təbiəti mübahisəli olaraq qalır. Əsas aspektlərdən biri kreativlik məsələsidir. Ənənəvi olaraq, kreativlik prinsipcə yeni bir şey, mövcud nümunələrdən kənara çıxan bir şey yaratmaq qabiliyyətini nəzərdə tutur. Digər tərəfdən, süni intellekt mövcud məlumatların təhlilinə əsaslanır ki, bu da onun həqiqi yenilik qabiliyyətini şübhə altına alır. Buna baxmayaraq, bəzi hallarda süni intellekt nəticələri gözlənilməz və orijinal həllər nümayiş etdirir və alqoritmik yaradıcılığın spesifik bir formasını təklif edir.

Eyni dərəcədə vacib olan məsələ emosional ifadəlikdir. Musiqi ənənəvi olaraq emosiyalarla birbaşa əlaqəli bir sənət növü kimi qəbul edilir. Hesab edilir ki, bəstəkarın öz daxili dünyasını bir əsərə daxil edir ki, sonra bu dinləyici tərəfindən qavranılır. Süni intellekt subyektiv təcrübədən məhrumdur və insani mənada emosiyaları yaşamır. Lakin, o, müəyyən hisslərlə əlaqəli musiqi nümunələrinin təhlilinə əsaslanaraq emosional vəziyyətləri modelləşdirməyə qadirdir. Beləliklə, bir paradoks yaranır: maşın tərəfindən yaradılan musiqi, emosional mənbənin olmamasına baxmayaraq, dinləyicidə güclü emosiyalar oyada bilər.

Müəllifin rolunun anlaşılmasında da əhəmiyyətli dəyişikliklər baş verir. Süni intellektin istifadəsi ilə müəlliflik paylanır. Əsərin yaradılması alqoritm tərtibatçılarını, parametrləri təyin edən istifadəçiləri və musiqi materialını yaradan sistemin özünü əhatə edir. Bu, əqli mülkiyyətlə bağlı hüquqi və etik normaların yenidən nəzərdən keçirilməsini zəruri edir. Hazırda müxtəlif ölkələr bu sahəni tənzimləməyə çalışırlar, lakin hələlik vahid yanaşma müəyyən edilməyib.

Süni intellektin istifadəsi bəstəkarların peşəkar işinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Bir tərəfdən, daha sürətli musiqi yaratmağa, ifadəli palitraları genişləndirməyə və yeni formalarla təcrübə aparmağa imkan verən yeni alətlər ortaya çıxır. Digər tərəfdən, bəzi yaradıcı tapşırıqları yerinə yetirə bilən avtomatlaşdırılmış sistemlər tərəfindən rəqabət yaranır. Bu, bəstəkarlardan rəqəmsal texnologiyalarla işləmək bacarıqları və alqoritmik prinsipləri anlamaq da daxil olmaqla yeni səriştələrə yiyələnməni tələb edir.

Süni intellekt ifaçılıq təcrübəsində də geniş tətbiq tapır. O, ifa keyfiyyətini təhlil etmək, intonasiya və ritmi avtomatik tənzimləmək, virtual ansambllar yaratmaq və hətta müəyyən musiqiçilərin ifalarını simulyasiya etmək üçün istifadə olunur. Müasir texnologiyalar studiya yazılarında və canlı ifalarda istifadə edilə bilən səslərin və alətlərin rəqəmsal modellərini

yaratmağa imkan verir. Bu, yeni imkanlar açır, eyni zamanda ifaçılığın orijinallığı və autentikliyi ilə bağlı suallar doğurur.

Musiqi təhsili sahəsində süni intellekt öyrənmənin effektivliyini artırmaq üçün vacib bir vasitəyə çevrilir. Bu, öyrəncilərin fərdi xüsusiyyətlərini nəzərə alan adaptiv təhsil sistemlərinin yaradılmasına imkan verir. Bu cür sistemlər səhvləri təhlil etməyə, fərdi tapşırıqlar təklif etməyə və irəliləyişi real vaxt rejimində izləməyə qadirdir. Bu, xüsusilə fərdi yanaşmaların çox vaxt çətin olduğu kütləvi təhsil şəraitində vacibdir.

Problemin fəlsəfi tərəfi yaradıcılığın təbiətini yenidən düşünməkdədir. Süni intellektin bədii əsərlər yaratmağa qadir olduğunu qəbul etsək, sual yaranır: yaradıcılıq yalnız insanın səlahiyyətidirmi? Bəzi tədqiqatçılar yaradıcılığın şüur və özünüdərklə əlaqəli olduğunu və buna görə də maşınlar üçün əlçatmaz olduğunu iddia edirlər. Digərləri isə yaradıcılığın elementlərin yeni kombinasiyalarının yaradılması prosesi kimi qəbul edilə biləcəyinə və bunun potensial olaraq alqoritmik formada tətbiq oluna biləcəyinə inanırlar.

Süni intellekt tərəfindən yaradılan musiqinin estetik qiymətləndirilməsi də mübahisəlidir. Tənqidçilər dərinliyin və orijinallığın olmamasına işarə edir, tərəfdarlar isə bu cür əsərlərin yeniliyini və texnoloji mürəkkəbliyini vurğulayırlar. Qeyd etmək vacibdir ki, incəsənətin qavranılması əsasən mədəni kontekst və dinləyicinin fərdi xüsusiyyətləri ilə müəyyən edilir. Bu mənada əsərin mənşəyi onun təsirindən ikinci dərəcəli rol oynaya bilər.

Süni intellektin musiqi mədəniyyətinə təsiri yeni incəsənət formalarının yaranmasında da özünü göstərir. Belə sahələrdən biri istifadəçinin hərəkətlərindən asılı olaraq dəyişən interaktiv musiqidir. Digər bir nümunə isə real vaxt rejimində mövcud olan və sabit bir quruluşa malik olmayan generativ səs mühitləridir. Bu formalar musiqi əsərinin tam bir obyekt kimi ənənəvi anlayışlarını genişləndirir.

Süni intellektin yayılması kontekstində musiqi yaradıcılığının inkişaf perspektivləri insanlar və maşınlar arasında dərinləşən qarşılıqlı təsirlə əlaqələndirilir. Ən məhsuldar əməkdaşlıq modeli texnologiyanın yaradıcı imkanları genişləndirmək üçün bir vasitə kimi istifadə edildiyi model kimi görünür. Bu halda, süni intellekt insanların əvəzedicisi deyil, tərəfdaşıdır.

Gələcəkdə incəsənət və texnologiyanın daha da yaxınlaşacağı və yeni bədii təcrübələrin ortaya çıxacağı düşünülə bilər. Musiqiçilər işlərində alqoritmlərdən fəal şəkildə istifadə edəcəklər və tərtibatçılar proqram məhsulları yaradarkən estetik aspektləri nəzərə alacaqlar. Bu qarşılıqlı təsir insan və maşın yaradıcılığının elementlərini birləşdirən prinsipial olaraq yeni incəsənət formalarının yaranmasına səbəb ola bilər.

NƏTİCƏ

Beləliklə, süni intellekt musiqi yaradıcılığına dərin təsir göstərir, onun formalarını, metodlarını və məzmununu dəyişir. Bu, yeni imkanlar açır, eyni zamanda fənlərarası yanaşma tələb edən mürəkkəb suallar doğurur. Aydındır ki, bu sahənin gələcək inkişafı təkcə texniki irəliləyişlərlə deyil, həm də fəlsəfi, mədəni və etik amillərlə müəyyən ediləcək.

Ənənə və innovasiyanın kəsişməsində yerləşən musiqi sənəti yeni şəraitə uyğunlaşaraq inkişaf etməyə davam edir. Bu prosesdə insanın davam edən dəyişiklikləri anlamaq və texnoloji tərəqqi ilə humanist dəyərlərin qorunması arasında tarazlıq tapmaq qabiliyyəti mühüm rol oynayır. Güclü bir vasitə olan süni intellekt həm mədəniyyəti zənginləşdirə, həm də diqqətli və məsuliyyətli idarəetmə tələb edən yeni çətinliklər yarada bilər.

ƏDƏBİYYAT:

1. Briot J.-P., Hadjeres G., Pachet F. Deep Learning Techniques for Music Generation. A survey, September, 2017, 310 p.
2. Boden M. Creativity and Artificial Intelligence. Oxford University Press, 1998
3. Cope D. Computer Models of Musical Creativity. Santa-Crus Un-ty, MIT Press, 2005 https://dl.acm.org/doi/10.5555/1213294
4. Collins N. Introduction to Computer Music. 2009, 362 p. https://composerprogrammer.com/introductiontocomputermusic.pdf
5. Herremans D., Chuan C.-H., Chew E. A Functional Taxonomy of Music Generation Systems. / Article. ACM Computing Surveys, Vol. 50, No. 5, Article 69, Publication date: September 2017, p. 69-101 https://dorienherremans.com/sites/default/files/music_generation_survey_dh_preprint.pdf
6. Миронов В.В. Цифровая пещера как возможный вектор развития культуры. / Пленарное заседание. Мировое развитие: проблемы предсказуемости и управляемости. Стр.183-186 (Mironov V.V. The Digital Cave as a Possible Vector of Cultural Development. / Plenary Session. Global Development: Problems of Predictability and Controllability. pp. 183-186.) https://www.lihachev.ru/pic/site/files/lihcht/2019/dokladi/MironovVV_plen_rus_izd.pdf
7. Süni intellektin musiqi yaradıcılığı. / Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyinin İnformasiya Texnologiyaları İnstitutunun böyük elmi işçisi Könül Daşdəmirova ilə müsahibə. "Xalq qəzeti", 10.05.2025.
(Musical creativity of artificial intelligence. / Interview with Konul Dashdemirova, senior research fellow at the Institute of Information Technologies of the Ministry of Science and Education of the Republic of Azerbaijan. "Xalq qazeti", 10.05.2025.)
https://xalqqazeti.az/az/musahibe/239885-suni-intellektin-musiqi-yaradiciligi

MÜASİR TƏHSİL MƏKANINDA MUSİQİ TƏHSİLİNİN YERİ
THE PLACE OF MUSICAL EDUCATION IN THE MODERN EDUCATIONAL SPACE

Əliyeva Maralxanım Tofiq qızı.
Pedaqogika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
"İncəsənət və fiziki tərbiyə" fakültəsi
"Musiqi və onun tədrisi texnologiyası" kafedrası
Azərbaycan, Bakı şəhəri, Üzeyir Hacıbəyli küçəsi, 68
ORCİD İD: 0000-0002-2005-6090

XÜLASƏ

Bu məqalədə müasir təhsil mənzərəsinin transformasiyası kontekstində musiqi təhsilinin rolu araşdırılır. Məqalənin məqsədi müasir təhsil məkanında musiqi təhsilinin yerini müəyyən etmək və 21-ci əsr şəxsiyyətinin formalaşmasındakı potensialını müəyyən etməkdir. Burada müasir təhsilin inkişafındakı əsas tendensiyalar, incəsənət və musiqinin ahəngdar inkişaf etmiş bir şəxsiyyətin formalaşmasında yeri və musiqi təhsilinin tələbələrin intellektual, emosional, mənəvi və yaradıcı inkişafına təsiri təhlil edilir. Musiqi təhsilində səriştəyə əsaslanan və fənlərarası əməkdaşlıq konsepsiyalarına inteqrasiyasına xüsusi diqqət yetirilir. Məqalədə həmçinin müasir təhsil islahatları kontekstində musiqi təhsilinin inkişafının çətinlikləri və perspektivləri araşdırılır.

Açar sözlər: incəsənət, səriştəyə əsaslanan yanaşma, rəqəmsallaşdırma, estetik tərbiyə

ABSTRACT:

This article examines the role of music education in the context of the transformation of the modern educational landscape. The purpose of the article is to determine the place of music education in the modern educational space and to identify its potential in the formation of the personality of the 21st century. It analyzes the key trends in the development of modern education, the place of art and music in the formation of a harmoniously developed individual, and the impact of music education on the intellectual, emotional, moral, and creative development of students. Particular attention is paid to the integration of music education into the concepts of a competency-based approach and interdisciplinary collaboration. The article also explores the challenges and prospects for the development of music education in the context of contemporary educational reforms.

Key words: contemporary music education, art, competency-based approach, digitalization, aesthetic education

GİRİŞ

Müasir təhsil məkanı qloballaşma, rəqəmsallaşma və təhsil məzmununun yenilənməsi ilə bağlı dərin dəyişikliklərə məruz qalır. Pedaqogika elminin diqqət mərkəzində yaradıcı özünüdərk,

tənqidi düşüncə, effektiv ünsiyyət və ömür boyu öyrənmə qabiliyyətinə malik fərdlərin inkişafı problemləri daha geniş yer almağa başlayır.

Bu cür şəraitdə musiqi təhsili xüsusi əhəmiyyət kəsb etməyə başlayır və təkcə sənətə yiyələnmə vasitəsi kimi deyil, həm də şəxsiyyətin hərtərəfli inkişafında həlledici amil kimi xidmət edir. Musiqi insanın emosional sahəsinə təsir göstərir, intellektual inkişafa kömək edir, estetik zövqü, mənəvi keyfiyyətləri və yaradıcılıq qabiliyyətlərini inkişaf etdirir.

Texnologiyaların sürətli inkişafına və təbiət elmlərinə artan diqqətə baxmayaraq, musiqi təhsilinin rolu nəinki dəyişməz olaraq qalır, hətta yeni məna kəsb etməyə başlayır. Müasir tədqiqatlar musiqi dərslərinin şagirdlərin idrak inkişafına, akademik göstəricilərinə, sosial adaptasiyasına və emosional rifahına müsbət təsir göstərdiyini təsdiqləyir.

ARAŞDIRMA

Musiqi təhsili musiqi mədəniyyətinin mənimsənilməsi, musiqi qabiliyyətlərinin inkişaf etdirilməsi və sənətə dəyər əsaslı münasibətin formalaşdırılmasına yönəlmiş məqsədyönlü pedaqoji prosesdir.

Təbii ki, mədəniyyətin ümumi vəziyyəti həyatın demək olar ki, bütün sahələrində özünü göstərir. Təhsil də istisna deyil. Pedaqoji düşüncə və təcrübə müasir sosial-iqtisadi tələblərə cavab verən yeni təhsil məzmunu və bilik ötürülməsinin müvafiq formalarından istifadə etməyə və bu gün tələb olunan şəxsi keyfiyyətlərin inkişaf etdirilməsinə imkan verən yeni metodologiya tapmaq çətinliyi ilə üzləşir.

Müasir pedaqogika musiqi təhsilinə aşağıdakıları əhatə edən bir sistem kimi baxır:

- musiqi təhsili;
- musiqi təlimi;
- musiqi inkişafı;
- musiqi yaradıcılığı;
- fərdin musiqi mədəniyyətinin inkişafı.

Musiqi təhsili intellektual, emosional və bədii komponentlərin sintezi vasitəsilə fərdlərə təsir göstərmək üçün unikal potensiala malikdir.

Musiqi təhsilinin ən vacib funksiyalarından biri şagirdin şəxsiyyətinin inkişafıdır. Musiqi fəaliyyəti aşağıdakılara kömək edir:

• emosional zəkanın inkişafına;
• empatiyanın formalaşmasına;
• mənəvi keyfiyyətlərin yetişdirilməsinə;
• təxəyyülün inkişafına;

• yaddaşın və diqqətin yaxşılaşdırılmasına;

• estetik dünyagörüşünün formalaşmasına.

Neyropsixoloq-alimlərin apardığı tədqiqatlar göstərir ki, müntəzəm musiqi məşğələləri beynin hər iki yarımkürəsini aktivləşdirir, neyron əlaqələrinin inkişafını təşviq edir və idrak proseslərinə müsbət təsir göstərir. Musiqi insanların öz emosiyalarını tanımasına və başqalarının emosional vəziyyətlərini anlamasına kömək edir. Bu, musiqi təhsilini sosiallaşma üçün vacib bir vasitəyə çevirir. Musiqi təhsili, dəyərlərin və dünyagörüşlərinin aktiv şəkildə inkişaf etdiyi uşaqlıq və yeniyetməlik dövründə xüsusilə əhəmiyyətli rol oynayır.

Müasir təhsil mühiti müxtəlif bilik sahələrinin inteqrasiyası, fənlərarası yanaşmanın inkişafı və əsas səriştələrin inkişafına diqqət yetirilməsi ilə xarakterizə olunur. Bu kontekstdə musiqi təhsili bir neçə funksiyanı yerinə yetirir:

1. Kulturoloji (mədəni) funksiya. Musiqi təhsili öyrənciləri milli və dünya mədəniyyətləri ilə tanış edir. Müxtəlif dövrlərin və xalqların musiqi irsi ilə tanışlıq yolu ilə öyrənənlər bəşəriyyətin tarixi təcrübəsi üzərində düşünmək, müxtəlif mədəniyyətlərin xüsusiyyətlərini anlamaq və mədəni müxtəlifliyə hörmətlə yanaşmaq imkanı qazanırlar.

2. Tərbiyəvi funksiya. Musiqi mənəvi və əxlaqi dəyərlərin inkişafını təşviq edir. Bədii obrazlar vasitəsilə şagirdlər yaxşılıq, ədalət, humanizm, gözəllik, vətənpərvərlik və s. anlayışlarını mənimsəyirlər.

3. İnkişafedici funksiya. Musiqi fəaliyyətləri fərdin intellektual və yaradıcı qabiliyyətlərini inkişaf etdirir. Xüsusilə aşağıdakıların inkişafı vacibdir: yaradıcılıq qabiliyyətləri; təxəyyüllü düşüncə; ünsiyyət bacarıqları; özünüifadə qabiliyyəti.

4. Sosioloji funksiya. Qrupla musiqisi yaratmaq əməkdaşlıq və ünsiyyət bacarıqlarını inkişaf etdirir. Xorlarda, ansambllarda və orkestrlərdə iştirak məsuliyyət, intizam və komanda işini inkişaf etdirir.

Müasir təhsilin əsas xüsusiyyətlərindən biri səriştəyə əsaslanan təlim modelinə keçiddir. Musiqi təhsili aşağıdakı səriştələrin inkişafına fəal şəkildə töhfə verir:

- mədəni;
- kommunikativ (ünsiyyətcil);
- sosial;
- informativ;
- yaradıcı;
- vətəndaşlıq.

Musiqi fəaliyyəti prosesində öyrəncilər müstəqil şəkildə məlumat axtarmaq, sənət əsərlərini təhlil etmək, əməkdaşlıq etmək və yaradıcı problemləri həll etmək təcrübəsi qazanırlar.

Xüsusilə müasir cəmiyyətdə tələb olunan "soft skills" adlanan yumşaq bacarıqların inkişafı vacibdir. Bunlara aşağıdakılar daxildir:

• tənqidi düşüncə;

• emosional zəka;

• əməkdaşlıq;

• liderlik bacarıqları;

• təqdimat bacarıqları.

Rəqəmsal texnologiyaların inkişafı musiqi təhsilinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Müasir texnologiyalar aşağıdakılara imkan verir:

- rəqəmsal musiqi alətlərindən istifadə;
- virtual musiqi laboratoriyalarının yaradılması;
- interaktiv təhsil platformalarından istifadə;
- distant təhsilin təşkili;
- musiqi yaradıcılığında süni intellektin istifadəsi.

Rəqəmsal mühit musiqi təhsili üçün yeni imkanlar açır, lakin texnoloji innovasiya ilə canlı bədii ünsiyyət arasında tarazlığın qorunmasını tələb edir. Musiqi təhsili rəqəmsal transformasiya qarşısında belə öz humanist mahiyyətini qoruyub saxlamalıdır.

Son illərdə elm, texnologiya, mühəndislik, incəsənət və riyaziyyatı özündə birləşdirən STEAM təhsil konsepsiyası xüsusilə populyarlıq qazanmışdır. İncəsənətin təhsil prosesinə daxil edilməsi, yaradıcı düşüncə olmadan innovativ inkişafın mümkün olmadığını anlamaqdan irəli gəlir. STEAM çərçivəsində musiqi aşağıdakı məqsədləri yerinə yetirir:

• yaradıcılığı inkişaf etdirmək;

• fənlərarası düşüncəni inkişaf etdirmək;

• bədii və elmi bilikləri inteqrasiya etmək;

• layihə əsaslı fəaliyyətlərin inkişaf etdirilməsi.

Musiqi təhsilinin əhəmiyyətinin tanınmasına baxmayaraq, onun inkişafında müəyyən çətinliklər qalmaqdadır. Bunlara aşağıdakılar daxildir:

- incəsənət fənləri üzrə tədris vaxtının azaldılması;
- maddi-texniki resursların qeyri-kafiliyi;
- ixtisaslı kadrların çatışmazlığı;
- müasir texnologiyaların qeyri-kafi inteqrasiyası;
- bəzi tələbələr arasında akademik musiqiyə marağın azalması.

Musiqi təhsilinin gələcək perspektivləri onun təhsilin modernləşdirilməsi proseslərinə daha dərin inteqrasiyasındadır. Musiqi təhsili texniki bilikləri peşəkar problemlərin həllinə yaradıcı yanaşma ilə birləşdirə bilən gələcək mütəxəssislərin hazırlanmasında mühüm komponentə çevrilir.

Əsas inkişaf istiqamətləri bunlardır:
- innovativ pedaqoji texnologiyaların tətbiqi;
- fənlərarası əlaqələrin genişləndirilməsi;
- rəqəmsal musiqi mühitinin inkişafı;
- STEAM layihələrinə inteqrasiya;
- müəllim heyətinin təliminin təkmilləşdirilməsi;
- musiqi təhsili ilə milli mədəniyyət arasında əlaqənin gücləndirilməsi.

Süni intellekt, rəqəmsal platformalar və interaktiv təlim vasitələrindən istifadə xüsusilə vacibdir. Eyni zamanda, musiqi təhsilinin mədəni və humanist yönümünü və onun tərbiyəvi potensialını qorumaq vacibdir.

NƏTİCƏ

Musiqi təhsili müasir təhsil mühitində mühüm yer tutur. O, harmonik (ahəngdar) inkişaf etmiş şəxsiyyətin inkişafını təşviq edir, öyrəncilərin yaradıcı potensialını, emosional zəkalarını və mədəni səriştələrini inkişaf etdirir.

Təhsilin rəqəmsallaşdırılması və modernləşdirilməsi ilə musiqi təhsilinin rolu azalmır, əksinə yeni formalar və məzmun qazanır. Musiqi biliklərin inteqrasiyası, yaradıcılığın inkişafı və fərdlərin mürəkkəb və sürətlə dəyişən dünyada həyata hazırlanması üçün vacib bir vasitəyə çevrilir.

Müasir təhsil sisteminin effektiv inkişafı musiqi təhsilinin cəmiyyətin mənəvi, mədəni və intellektual inkişafında əsas amil kimi mövqeyini qorumadan və gücləndirmədən mümkün deyil.

ƏDƏBİYYAT:

1. Абдуллин Э.Б. Теория музыкального образования. / Москва: «Академия», 2013, 336 с.
2. Алиев Р.М. Музыкальная культура Азербайджана. / Баку: «Элм», 2014, 284 с.
3. Алекперов О.М. Современные тенденции музыкального образования. / Баку: «Элм», 2020, 256 с.
4. Богоявленская Д.Б. Психология творческих способностей. / Москва: «Академия», 2018, 320 с.
5. Bowman W. Philosophical Perspectives on Music Education. / Oxford University Press, 2012, 528 p.
6. Давыдов В.В. Теория развивающего обучения. / Москва: «Интор», 1996, 544 с
7. Hargreaves D. Musical Development and Learning. / London: Routledge, 2012, 286 p.
8. Зимняя И.А. Ключевые компетенции как результат образования. / Москва: Исследовательский центр проблем качества подготовки специалистов, 2004, 42 с.
9. Назирова Г.М. Основы музыкальной педагогики. / Баку: «Мутарджим», 2015, 240 с.
10. Хуторской А.В. Компетентностный подход в образовании. /Москва: «Эйдос», 2017, 320 с.

ET-TUHFETÜ'Z-ZEKİYYE Fİ LUGÂTİ'T-TÜRKİYYE'DE YER ALAN KELİMELERİN AZERBAYCAN TÜRKÇESİNDEKİ İZLERİ

Öğretim Görevlisi. Zülfiye AĞAYEVA
Azerbaycan Mimarlık ve İnşaat Üniversitesi, Yabancı Öğrencilerin Hazırlığı Fakültesi, Azerbaycan dili ve Pedaqoji bölümü, 11 Ayna Sultanova, Bakü
ORCID ID: 0000-0002-7008-9958

ÖZET

Sözbilimsel araştırmalar, Türkoloji tarihinde önemli bir rol oynamıştır. Sözcük dağarcığı, modern Türk dillerinin değerli varlıklarından biridir. Nitekim bu değerli varlık, Türk halklarının tarihini ve etno-kültürel değerlerini korur ve muhafaza eder. Sözcük dağarcığı, bir halkın tarihini, yaşam koşullarını, gelişmişlik düzeyini ve mesleklerini yansıtır. Bir halkın ekonomik, sosyal, kamusal ve kültürel yaşamı ile yaşam tarzı değiştikçe ve geliştikçe, sözcük dağarcığı da daha karmaşık ve zengin hale gelir. Azerbaycan dilinin kelime hazinesi, çeşitli özelliklere ve farklı anlamlara sahip kelimelerden oluşmaktadır. Dilin sözcüksel-anlamsal sisteminin incelenmesi, Azerbaycanlı akademisyenler için her zaman ilgi odağı olmuştur. Bu bağlamda, "Et-Tuhfetü'z-Zekiyye Fi Lugâti't-Türkiyye'de" adlı eserdeki kelimelerin Azerbaycan dilinin kelime dağarcığıyla karşılaştırmalı bir incelemesi, her ikisinde de ortak olan kelimeleri ve dolayısıyla dilimizde bulunan Kıpçak unsurlarını ortaya koymaktadır; bu da dilimizin eski tarihinin incelenmesi açısından önemlidir. Sonuçta, bir dilin sözcüksel yapısının incelenmesinde bu konu, hem dilin tarihini hem de konuşanlarının tarihini, yaşam tarzlarını, kültürlerini, etnografilerini vb. anlamak açısından büyük önem taşımaktadır.

"Et-Tuhfe"de geçen bazı kelimelerin Azerbaycan Türkçesinde aynı şekilde kullanılması dikkat çekmektedir. Bu sebepten, biz aynı zamanda "Et-Tuhfetü'z-Zekiyye Fi Lugâti't-Türkiyye'de"nin yazıldığı Kıpçak Türkçesinden ve dolayısıyla Kıpçakların Azerbaycan tarihi ve milletimizin oluşumu üzerindeki etkisinden bahsedeceğiz.

Anahtar kelimeler: Azerbaycan Türkçesi**,** Et-Tuhfe, Memlük Kıpçakçası, sözlük, karışlaştırma.

TRACES OF WORDS FOUND IN "ET-TUHFETÜ'Z-ZEKİYYE Fİ LUGÂTİ'T-TÜRKİYYE" IN AZERBAIJANI TURKISH

ABSTRACT

Lexicological research has played a significant role in the history of Turkology. Vocabulary is one of the valuable assets of modern Turkic languages. Indeed, this valuable asset preserves and safeguards the history and ethno-cultural values of Turkic peoples. Vocabulary reflects a people's history, living conditions, level of development, and occupations. As a people's

economic, social, public, and cultural life—as well as their lifestyle—changes and evolves, their vocabulary also becomes more complex and rich. The vocabulary of the Azerbaijani language consists of words with various characteristics and different meanings. The study of the language's lexical-semantic system has always been a focus of interest for Azerbaijani scholars. In this context, a comparative analysis of the words in the work titled "Et-Tuhfetü'z-Zekiyye Fi Lugâti't-Türkiyye" with the vocabulary of the Azerbaijani language reveals the words common to both and, consequently, the Kipchak elements present in our language; this is significant for the study of our language's ancient history. Ultimately, when examining the lexical structure of a language, this topic is of great importance for understanding both the history of the language and the history, lifestyles, cultures, and ethnography of its speakers, among other aspects.

It is noteworthy that some words appearing in "Et-Tuhfe" are used in the same way in Azerbaijani Turkish. For this reason, we will also discuss the Kipchak Turkish in which "Et-Tuhfetü'z-Zekiyye Fi Lugâti't-Türkiyye" was written and, consequently, the influence of the Kipchaks on Azerbaijani history and the formation of our nation.

Keywords: Azerbaijani Turkish, Et-Tuhfe, Mamluk Kipchak Turkic, lexicography, comparative analysis.

ANTİK ÇAĞLARDAN GÜNÜMÜZE KADINLARIN SESİ: *BEN, ANADOLU* ESERİNDE ÇOKSESLİLİK VE DİYALOJİZM

Öğr. Gör. Gözde CAMKIRAN DÜZ
16940 Mudanya, Bursa.
ORCID ID:0009-0001-1266-5929
gozdecamkiran1183@gmail.com
Öğr. Gör. Nuray Tuğçe OĞUZ
Mudanya University, Department of Foreign Languages, 16940 Mudanya, Bursa.
ORCID ID: 0000-0002-2267-6154
nuraytugce.oguz@mudanya.edu.tr

ÖZET

Anadolu toprakları çağlar boyunca farklı medeniyetlere ev sahipliği yapmış, bu medeniyetlerin kültürleri ve sesleriyle harmanlanmış zengin bir coğrafyadır. Bu coğrafyada üretilen ve odağına Anadolu'yu koyan eserlerin çoğunda sanatçılar ve alımlayıcılar farklı kültürlerle katmanlaşan tarihin koridorlarında gezinebilmektedir. Güngör Dilmen de bu katmanlar arasında gezinen, eserlerinde mitolojiye, Türk destanlarına ve farklı söylencelere yer veren, modern Türk tiyatrosunun önde gelen oyun yazarları arasında yer almaktadır. Dilmen'in *Ben, Anadolu* adlı eseri de Anadolu tarihinin alışılageldik anlatılarının dışına çıkarak bu coğrafyada farklı zamanlarda ve mekânlarda yaşamış Kibele, Şair Nigâr, Mina Urgan gibi kadınların özgün seslerini tek bir senfonide buluşturmaktadır. Eserde Eski Çağ'dan Osmanlı'ya ve Cumhuriyet'e kadar uzanan bir tarihsel çizgide yer alan kadın karakterlerin hayatları, arzuları, değişen ve dönüşen benlikleri tüm açıklığıyla ortaya konmuştur. Bu bağlamda okur, antik çağlarda başlayan mitolojik bir zaman tüneline girerek Osmanlı'dan günümüze kadarki Anadolu'nun ve Anadolulu kadının özgün tarihine tanıklık etmektedir. Tek kişilik bir oyun olarak kaleme alınan bu eserde Dilmen eşsiz sesleri buluşturmakta; *Ben, Anadolu* eseri Mihail Bahtin'in çokseslilik kuramına kusursuz bir örnek teşkil etmektedir. Bahtin gibi Dilmen de androsentrik ve egemen otoritenin inşa ettiği duvarları yıkmakta; toplumun her tabakasından farklı seslere alan açarak kültürel ve dilsel katmanlaşmayı gözler önüne sermektedir. Bu çalışmanın amacı, *Ben, Anadolu* eserine Bahtin'in seçilen kuramları ile yaklaşarak yeni bir okuma deneyimi sunmak ve tiyatro eserlerinin de bu kuramsal zemin üzerinden çözümlenebileceğini ortaya koymaktır. Böylelikle, bu çalışma Bahtin'in kuramının farklı türlere uygulanabilirliğini tartışmaya açmakta ve eserin tarihsel bir anlatı olmaktan çıkıp çağlar boyunca bastırılmış seslerin zamansal ve mekânsal sınırları aşarak birbirleriyle olan diyaloguna ışık tutmaktadır.

Anahtar Kelimeler: *Ben, Anadolu,* Bahtin, Çokseslilik, Kadın, Tiyatro

THE VOICE OF WOMEN FROM ANCIENT TIMES TO THE PRESENT: POLYPHONY AND DIALOGISM IN THE WORK *I, ANATOLIA*

ABSTRACT

The Anatolia constitutes a rich geography that has hosted different civilizations throughout ages. It has been blended with the cultures and voices of these civilizations. In most of the works produced in and focused on Anatolia, artists and receivers can wander through the corridors of history layered with different cultures. Güngör Dilmen is among the leading playwrights of modern Turkish theatre wandering among these layers and he makes use of mythology, Turkish epics, and various legends in his works. Dilmen's work titled *I, Anatolia* goes beyond the conventional narratives of Anatolian history by bringing together the unique voices of women such as Cybele, Poet Nigâr, and Mina Urgan, who lived in this geography at different times and places, into a single symphony. In the play, the lives, desires, and changing selves of female characters taking part in a historical line extending from the Ancient Age to the Ottoman Empire and the Republic Era are distinctly revealed. In this context, the reader enters a mythological time tunnel starting in ancient times and witnesses the unique history of Anatolia and the Anatolian women from the Ottoman Empire to the present day. Dilmen's one-person play brings together unique voices; the work *I, Anatolia* represents a flawless example of Mikhail Bakhtin's theory of polyphony. Like Bakhtin, Dilmen demolishes the walls built by the androcentric and dominant authority; by opening up a space for different voices from all strata of society, revealing cultural and linguistic stratification. The aim of this study is to provide a new reading experience by approaching *I, Anatolia* from selected Bakhtinian concepts and to demonstrate that theatrical works can also be analyzed through his theoretical framework. Thus, this study brings into question the applicability of Bakhtin's theory beyond novel genre to theatre and sheds light on the dialogue of voices that have been suppressed throughout the ages, transcending temporal and spatial boundaries rather than the play being merely a historical narrative.

Keywords: *I, Anatolia*, Bakhtin, Polyphony, Women, Theatre

KENDİNİ İFŞADAN İLETİŞİM PRATİĞİNE: TÜRKİYE'DE TIKTOK'TA AŞIRI PAYLAŞIM

Dr. Ayça BAKINER
Bilecik Şeyh Edebali University, School of Foreign Languages, Bilecik, TÜRKİYE
ORCID ID: 0000-0003-4441-9703

ÖZET

Aşırı paylaşım çoğunlukla kendini ifşa etme ya da mahremiyetin aşınması çerçevesinde ele alınmaktadır. Bu çalışma aşırı paylaşımı bir mahremiyet sorunu olarak değil, dijital platform kültürü içinde şekillenen bir iletişim pratiği olarak kavramsallaştırmaktadır. Araştırmanın amacı, TikTok'ta Türkiye bağlamında aşırı paylaşımın nasıl inşa edildiğini, içerik üreticilerinin takipçileriyle nasıl bir iletişim ilişkisi kurduğunu ve bu süreçte hangi iletişim normlarının ortaya çıktığını incelemektir. Araştırma nitel araştırma deseninde yürütülmüştür. Araştırmanın veri setini, Ocak–Haziran 2026 tarihleri arasında TikTok'ta paylaşılan Türkçe videolar arasından amaçlı örnekleme yöntemiyle seçilen 100 kamuya açık video oluşturmaktadır. Videolar, #storytime, #dertleşme, #itiraf, #hayatım, #ayrılık, #ilişkiler ve #içimidöktüm gibi kişisel anlatılarla ilişkilendirilen etiketler aracılığıyla belirlenmiştir. Örnekleme yalnızca birinci tekil kişi anlatımı içeren, kişisel veya duygusal deneyimleri konu alan ve izleyiciyle doğrudan etkileşim kurmayı amaçlayan videolar dâhil edilmiştir. Ticari içerikler, yeniden yüklenen videolar ve kurumsal hesaplara ait paylaşımlar örneklem dışında bırakılmıştır. Veriler refleksif tematik analiz yöntemiyle çözümlenmiştir. Bulgular, aşırı paylaşımın gerçek zamanlı duygusal ifşa, ilişki anlatıları, gündelik yaşamın görünür kılınması, otantiklik olarak anlaşılan savunmasızlık ve itiraf anlatıları etrafında şekillendiğini göstermektedir. Ayrıca içerik üreticilerinin takipçilerini sırdaş, danışman ve tanık olarak konumlandırdığı; görünürlüğün katılımın ön koşulu, duygusal şeffaflığın ise otantikliğin göstergesi hâline geldiği yeni iletişim normlarının ortaya çıktığı belirlenmiştir. Çalışma, aşırı paylaşımı mahremiyetin aşınmasının bir sonucu olarak değil, platform kültürü tarafından şekillenen bir iletişim pratiği olarak yeniden ele almakta ve bu yönüyle dijital kültür ile sosyal medya iletişimi literatürüne katkı sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Aşırı paylaşım, TikTok, dijital iletişim, iletişim normları, dijital platform kültürü

FROM SELF-DISCLOSURE TO COMMUNICATIVE PRACTICE: OVERSHARING ON TIKTOK IN TÜRKIYE

ABSTRACT

Oversharing has mostly been examined through the lenses of self-disclosure and privacy erosion. This study conceptualises oversharing not as a privacy issue but as a communicative practice shaped by digital platform culture. It aims to investigate how oversharing is constructed on TikTok in the Turkish context, how content creators establish relationships with their audiences, and what communication norms emerge through this process. The study adopts a qualitative research design. The dataset consists of 100 publicly available Turkish-language TikTok videos shared between January and June 2026, selected through purposive sampling. The videos were identified using hashtags associated with personal storytelling, including #storytime, #dertleşme, #itiraf, #hayatım, #ayrılık, #ilişkiler, and #içimidöktüm. Only videos featuring first-person narratives, focusing on personal or emotional experiences, and intended to engage directly with audiences were included in the sample. Commercial content, reposted videos, and posts published by institutional accounts were excluded. The data were analysed using reflexive thematic analysis. The findings indicate that oversharing is primarily constructed through real-time emotional disclosure, relationship narratives, the public visibility of everyday life, vulnerability as authenticity, and confessional storytelling. Furthermore, content creators position their followers as confidants, advisors, and witnesses, giving rise to new communication norms in which visibility becomes a prerequisite for participation and emotional transparency serves as a marker of authenticity. By reconceptualising oversharing as a communicative practice shaped by platform culture rather than as a consequence of privacy erosion, this study contributes to the literature on digital culture and social media communication.

Keywords: Oversharing, TikTok, digital communication, communication norms, digital platform culture

INTRODUCTION

Nowadays, browsing short-form video platforms means encountering an endless stream of personal stories. Users speak directly to the camera about break-ups, family tensions, financial worries, therapy experiences, loneliness or everyday disappointments. Things that were once shared within small circles now circulate amongst vast and largely unknown audiences. In contemporary digital culture, this increasing visibility of intimate experiences has become a recognisable form of communication.

This phenomenon is generally defined as “over-sharing.” Agger (2012) conceptualises over-sharing as an intensified form of self-presentation—a characteristic feature of the Internet age in which personal disclosures are becoming increasingly public and permanent. Early commentaries often framed oversharing as excessive self-disclosure or a sign of declining privacy norms. However, research on networked publicness demonstrates that such disclosures cannot be understood outside the structural conditions of digitally mediated communication (boyd, 2006, 2008). Social media environments are reshaping how audiences are imagined, how identity is displayed, and how the boundaries between the public and the private are negotiated (Marwick & boyd, 2011).

Visibility in these online environments is not random; it is an integral part of the platform’s design. Interaction metrics, such as likes, comments, and shares transform the personal narrative into a socially interactive and algorithmically amplified process. Rather than remaining a purely individual act, personal self-disclosure becomes embedded within cultures of circulation and participation (Shifman, 2014). Short-form video platforms intensify this dynamic by prioritising immediacy, direct address, and cues of authenticity. As Senft and Baym (2015) noted in their discussion of self-representation practices, digital self-presentation typically operates at the intersection of performance and authenticity. Similarly, Kennedy (2018) argues that contemporary digital spaces ‘nurture intimate public spheres’ where personal narratives function as a form of collective emotional engagement.

From this perspective, oversharing can no longer be reduced to a psychological excess. Instead, it emerges as a practice situated within a cultural context, shaped by visibility economies, relational expectations and platform capabilities. Although an increasing number of academic studies address online self-disclosure, emotional expression and digital intimacy, most of these studies focus on excessive sharing through risk-oriented or psychological frameworks (Shabahang et al., 2024). Fewer studies, however, examine how oversharing is narratively constructed within specific national digital cultures, particularly in the context of short-form video storytelling.

TikTok’s rapid spread in Türkiye provides a suitable context for examining these questions. The platform’s emphasis on short, personal and highly visible narratives offers a productive space for observing how intimate experiences are framed, legitimised and made shareable with the public. Rather than treating excessive sharing as a moral issue or a psychological anomaly, this study approaches it as a communication practice embedded within Türkiye’s contemporary digital culture.

Drawing on a qualitative analysis of Turkish short video narratives, the article investigates how emotional disclosure is constructed and socially legitimised within platform environments. In doing so, it aims to contribute to digital culture studies by situating excessive sharing within the evolution of visibility and public emotional expression norms in Türkiye. Accordingly, the study addresses the following research questions:

1. How are over-sharing practices narratively constructed in Turkish TikTok videos?
2. How do content creators discursively construct and position their followers within oversharing narratives?
3. What specific communication norms emerge through these repeated oversharing practices on TikTok in Türkiye?

LITERATURE REVIEW

Over-sharing has become a prominent feature of contemporary digital communication and is most frequently examined in the context of self-disclosure, privacy and the construction of online identity. Early research on self-disclosure conceptualised the sharing of personal information as a gradual and relational process shaped by trust, reciprocity and social norms (Altman & Taylor, 1973; Jourard, 1971). In particular, social penetration theory defines disclosure as a process in which interpersonal relationships deepen over time, progressing from superficial information towards more intimate layers of the self (Altman & Taylor, 1973). Although these early frameworks were developed in offline contexts, they continue to shape current understandings of disclosure in online environments.

With the emergence of computer-mediated communication, academics have begun to examine how digital environments reshape the boundaries of self-disclosure. Research has shown that online environments may encourage greater self-disclosure due to perceived anonymity, reduced social cues, and increased control over self-presentation (Bargh & McKenna, 2004; Joinson, 2001). Studies on online dating and social networking platforms also demonstrate how users strategically manage their impressions whilst simultaneously presenting an authentic self (Gibbs et al., 2006). In this literature, disclosure is now understood not merely as an interpersonal exchange, but as a mediated form of self-presentation shaped by technological possibilities.

The concept of oversharing has emerged within this broader discussion of digital self-disclosure. Oversharing is typically defined as the extensive sharing of personal information in online environments without fully considering the long-term consequences (Agger, 2012). However, more recent research suggests that oversharing should not be understood merely as

excessive disclosure or diminishing privacy. Instead, this concept reflects broader cultural shifts regarding how visibility, identity and social connections are negotiated in digital environments (John, 2016). In networked public spaces, the sharing of personal experiences has become a key mechanism for participation and social recognition (boyd, 2008).

The rise of influencer culture and micro-celebrity practices further complicates traditional understandings of self-disclosure. Social media users are increasingly engaged in continuous self-presentation activities to maintain their visibility and audience engagement (Duffy & Hund, 2019; Marwick, 2015). As audiences reward emotional openness and perceived authenticity, authenticity has become a central value in this process (Banet-Weiser, 2012). These developments have led academics to argue that digital self-disclosure now operates within an 'authenticity economy' in which visibility and emotional transparency function as key resources.

Recent research highlights the growing importance of emotional expression and authenticity in online communication. The concept of the 'emotional public sphere' explains how digital platforms enable the circulation of personal experiences and emotions as shared public narratives (Papacharissi, 2014). Similarly, studies on influencer culture demonstrate how authenticity is strategically displayed to sustain audience engagement (Abidin, 2017). This shift reflects a broader transformation in mediated communication, where personal experiences are increasingly shared within public digital spaces.

TikTok provides a particularly significant context for examining these transformations. As a short-form video platform driven by algorithmic recommendation systems, TikTok encourages frequent content production, storytelling and emotional engagement (Kaye et al., 2020). Academics argue that the platform fosters distinctive forms of self-presentation shaped by visibility, repetition, and narrative templates (Omar & Dequan, 2020). The popularity of storytelling formats such as 'Storytime' videos further demonstrates that personal experiences have become central forms of content production on the platform (Abidin, 2020).

TikTok has also been described as a platform-based space of intimacy where personal narratives circulate as socially meaningful content (Bhandari & Bimo, 2022). The platform's algorithmic culture encourages emotional storytelling and vulnerability, as such content is more likely to generate engagement and visibility (K. E. Anderson, 2020). These dynamics suggest that excessive sharing on TikTok may function not as deviant behaviour, but as a communication practice shaped by the platform.

Although research on TikTok has grown rapidly, studies focusing on non-Western contexts remain limited. Existing academic studies in Türkiye have largely examined social media within the contexts of privacy, digital culture and changing media practices (Baş et al., 2023; Yurdakul, 2025; Ertunç, 2025). However, excessive sharing practices on TikTok in Türkiye have received very little academic attention.

Building on these discussions, this study examines excessive sharing as a communication practice shaped by platform culture and digital intimacy. By focusing on TikTok in Türkiye, this study aims to contribute to research on digital culture, social media communication, and the norms of self-disclosure emerging within platform environments.

RESEARCH GAP

Despite the growing body of academic research on online self-disclosure, networked public spaces and digital intimacy, certain gaps remain. Firstly, much of the existing literature focuses on Western contexts, and national digital cultures have not been sufficiently explored. Secondly, research on oversharing typically relies on psychological or risk-based frameworks rather than examining its narrative and communicative structure. Thirdly, short-form video storytelling—particularly on TikTok—has been relatively under-explored within communication studies.

These gaps are particularly evident in the Turkish context, where TikTok's rapid adoption has created a dynamic environment for short-form video storytelling and public emotional expression. In this context, examining how 'over-sharing' is constructed as a narrative offers an opportunity to extend digital culture research beyond dominant geographical and theoretical frameworks.

Building on this literature, this study examines how 'excessive sharing' is constructed in short video narratives in Türkiye and what these practices reveal about the norms of visibility and emotional expression emerging within the country's digital culture.

METHODOLOGY

RESEARCH DESIGN

This study adopts a qualitative research design to investigate how excessive sharing is constructed in short video narratives within Türkiye's digital culture. Rather than measuring frequency or user motivations, the research focuses on how personal experiences are narrated, framed and made publicly shareable within platform environments. As the study is interpretative in nature, a qualitative approach is deemed particularly appropriate: to examine

communicative practices, narrative patterns and recurring emotional expression strategies within naturally emerging online content (Flick, 2009).

TikTok was selected as the research subject due to its rapid growth in Türkiye and its central role in short-form video storytelling. The platform encourages direct engagement, personal expression and highly visible interaction through comments, likes and shares. These features make TikTok a particularly suitable environment for observing how intimate experiences are publicly narrated and circulated.

DATA COLLECTION AND SAMPLING

The dataset consists of 100 publicly available TikTok videos produced in Turkish and shared within the six months preceding the data collection period. The videos were identified through hashtag-based searches frequently associated with personal storytelling and confessional narratives on Turkish TikTok. This approach enabled the identification of content where users explicitly positioned their videos as personal experiences, emotional reflections, or direct appeals to viewers. As the aim was not statistical representation but the identification of recurring narrative and communication patterns, the sampling was purposeful rather than random.

To enhance transparency in the sampling process, videos were identified using hashtags commonly used on Turkish TikTok that are associated with confessional storytelling and personal disclosure. These included hashtags such as #storytime, #dertleşme, #itiraf, #hayatım, #ayrılık, #ilişkiler and #içimidöktüm. These hashtags are widely used by content creators to frame their videos as personal narratives, emotional reflections, or calls to connect with their followers. The use of these hashtags enabled the systematic identification of videos in which content creators present their sincere experiences as narratives that can be openly shared with the public.

To be included in the dataset, videos had to feature first-person narration and involve the sharing of personal or emotionally intimate experiences. The content typically covered topics such as relationships, family dynamics, daily struggles, emotional difficulties or self-reflection. The videos also frequently included indicators of audience awareness, such as directly addressing viewers, inviting interaction, or acknowledging the public nature of the disclosure. To focus on individual user spaces, commercial content, reposted videos, and content produced by corporate or brand accounts were excluded.

Sampling continued until a corpus comprising a variety of videos representing a broad range of themes and narrative styles had been established. The final dataset was deemed sufficient to capture patterns of excessive sharing practices recurring across the platform.

ANALYTICAL APPROACH

The videos were analysed using reflexive thematic analysis, which allows researchers to identify patterns of meaning across qualitative data sets whilst retaining interpretative flexibility. This approach is particularly well-suited to examining communicative practices and recurring narrative strategies in digital media content (Braun & Clarke, 2006).

The analysis began with repeated viewings of the videos to familiarise oneself with the dataset and note preliminary observations. Initial coding focused on identifying recurring narrative features, communication strategies and forms of emotional framing. Codes were progressively grouped under broader themes designed to capture patterns of how personal experiences were made public. These themes were continuously reviewed and refined throughout the analysis.

Whilst the first analytical approach was thematic, particular attention was also paid to the narrative and discursive framing of personal experiences. This involved examining how content creators positioned themselves, addressed their audience, and justified or contextualised their statements within the platform environment.

ETHICAL CONSIDERATIONS

All videos analysed were publicly available at the time of data collection. There was no interaction with content creators, and names used in the analysis were anonymised to protect user privacy. As the study was based solely on publicly available content and did not involve any interaction with users, formal ethical approval and informed consent were not required.

FINDINGS

RQ1 – How are over-sharing practices narratively constructed in Turkish TikTok videos?

The analysis focused not so much on why individuals engage in excessive sharing, but rather on how excessive sharing is carried out and made visible in short videos. Across the dataset, excessive sharing emerged not as a single behaviour but as a form comprising recurring communication patterns. These patterns reflect how private experiences are transformed into publicly consumable content and how authenticity is staged for an imaginary audience.

Theme 1 – Real-time emotional disclosure

One of the most prominent patterns was the tendency to share emotional experiences immediately after they occurred. Videos were typically recorded at moments of high emotional

intensity, creating a sense of spontaneity and urgency. This immediacy contributed to a perception of authenticity and closeness between the content creator and the viewer.

Quote 1

"Şu an ağlıyorum çünkü az önce işten kovuldum ve bunu kimseyle konuşamadım."

"I'm crying right now because I've just been sacked and I haven't been able to talk to anyone about it."

Quote 2

"Bunu paylaşmak istemiyordum ama artık içimde tutamıyorum."

"I didn't want to share this, but I can't keep it inside any longer."

These examples demonstrate how emotional openness has become a significant source of communication. Here, over-sharing is framed not as a deliberate disclosure, but as emotional relief.

Theme 2 – Transforming personal relationships into content

Romantic relationships, break-ups, family conflicts and friendship dynamics frequently emerged as central content themes. Intimate interactions were narrated and interpreted for the audience, thereby transforming personal relationships into public narratives.

Quote 1

"Sevgilimden ayrıldım ve nedenini açıklamadan bu sayfaya geri dönemem."

"My partner and I have split up and I can't go back to this page without explaining why."

Quote 2

"Annemle kavga ettik ve haklı olup olmadığımı siz söyleyin."

"I had an argument with my mum—tell me if I was in the right."

These posts position followers as witnesses and judges of private life, expanding the audience's role from mere spectators to active participants.

Theme 3 – Daily life as an ongoing diary

Another recurring pattern was the presentation of daily routines as an ongoing narrative. Seemingly ordinary experiences were framed as shareable updates reminiscent of a digital diary.

Quote 1

"Bugün hiçbir şey yapmadım ama günüm böyle geçti."

"I didn't do anything today, but that's how my day went."

Quote 2

"Uyandım, kahve yaptım ve hayatımı sorguladım."

"I woke up, made coffee and pondered my life."

The transformation of ordinary moments into content demonstrates that excessive sharing has become embedded in the normalisation of constant documentation.

Theme 4 – Vulnerability as a sign of authenticity

Many videos framed vulnerability as honesty and courage. Sharing one's struggles has become a way of demonstrating authenticity and sincerity.

Quote 1

"Kimse mükemmel değil, ben de depresyonla mücadele ediyorum."

"Nobody's perfect; I'm struggling with depression too."

Quote 2

"Güçlü görünmeye çalışmaktan yoruldum."

"I'm tired of trying to look strong."

These narratives are constructed as a communication strategy that reinforces perceived authenticity through vulnerability.

Theme 5 – Public confessions and the culture of storytelling

Finally, confession-style "story time" videos emerged frequently. These videos typically addressed followers directly and positioned the viewer as a confidant.

Quote 1

"Size hayatımdaki en büyük hatamı anlatacağım."

"I'm going to tell you about the biggest mistake of my life."

Quote 2

"Bunu sadece en yakın arkadaşlarıma anlatmıştım ama artık burada paylaşacağım." "I'd only ever told my closest friends about this, but now I'm going to share it here."

This theme demonstrates how TikTok enables a confessional communication style in which followers function as an imaginary, intimate audience.

Table 1 summarises the main themes identified in the dataset.

Table 1. Themes of excessive sharing in TikTok videos

Theme	Description
Real-time emotional disclosure	Sharing intense emotions immediately after events occur
Transforming private relationships into content	Publicly narrating romantic, familial, or friendship dynamics

Theme	Description
Everyday life as an ongoing diary	Presenting routine and ordinary moments as shareable content
Vulnerability as a marker of authenticity	Framing personal struggles as honesty and sincerity
Public confessions and "storytime" culture	Narrative-style confession videos addressing followers directly

Table 1 shows that excessive sharing arises primarily through emotional immediacy, relational self-disclosure, and the transformation of everyday life into a continuous narrative. The themes indicate that excessive sharing is a style of communication in which sincerity, routine and vulnerability are systematically framed as content, rather than being isolated personal revelations.

RQ2 – How do content creators discursively construct and position their followers within oversharing narratives?

Whilst RQ1 focuses on what is shared and how intimacy is made visible, RQ2 focuses on who this sharing is directed at and how the audience is positioned discursively. Across the dataset, content creators did not address an abstract audience. Instead, they consistently framed their followers as close friends, confidants, advisors or emotional witnesses. This framing played a central role in normalising over-sharing as a relational act rather than a personal revelation.

Theme 1 – Followers as confidants

In many videos, viewers were positioned as trusted friends. The language used was informal, intimate and emotionally authentic. Content creators frequently implied that followers were the only people who could truly understand them.

"Bunu sadece siz anlayabilirsiniz çünkü kimseye anlatamadım."

"Only you can understand this because I haven't been able to explain it to anyone else."

"Siz benim ailem gibisiniz, o yüzden dürüst olacağım."

"You're like family to me, so I'll be honest."

Here, excessive sharing is legitimised through relational framing. The explanation gains meaning because it is directed at a perceived sincere environment.

Theme 2 – Followers as judges and decision-makers

In several videos, content creators explicitly asked viewers to evaluate their behaviour or make moral judgements. Viewers are not merely listening; they are also actively placed in a position of authority.

“Haklı mıyım haksız mıyım, yorumlara yazın.”

“Am I right or wrong? Write in the comments.”

“Siz olsanız ne yapardınız?” “Benim yerimde olsaydınız ne yapardınız?”

“What would you do if you were in my place?”

This pattern transforms excessive sharing into a participatory practice. Personal dilemmas are brought to light for collective evaluation.

Theme 3 – Followers as an emotional support system

Another recurring pattern involved addressing followers as a source of comfort and solidarity. Direct calls for empathy often followed emotional distress.

“Yalnız olmadığımı hissetmeye ihtiyacım var.”

“I need to feel that I’m not alone.”

“Bunu yaşayan başka biri var mı?”

“Is there anyone else going through this?”

In these moments, the imagined audience functions as a therapeutic community. Over-sharing becomes a strategy for seeking validation and emotional reassurance.

Theme 4 – Followers as constant witnesses

Some content creators described their followers as long-term observers of their life journeys. This framing constructs TikTok as a space for an ongoing narrative.

“Beni en başından beri takip edenler bilir.”

“Those who have been following me from the very beginning know.”

“Hayatımın her aşamasını sizinle paylaştım.”

“I have shared every stage of my life with you.”

Here, excessive sharing is normalised through its very continuity. The audience is positioned as witnesses to a personal archive that has emerged over time.

Table 2. Audience Constructions in Oversharing Videos on TikTok

Theme	**Audience Position**
Followers as confidants	Close circle / trusted friends
Followers as judges	Moral evaluators and advisors
Followers as emotional support	Providers of validation and solidarity
Followers as witnesses	Long-term observers of one’s life narrative

Table 2 summarizes how TikTok content creators construct their followers not as distant audiences but as relationally involved participants. This relational positioning plays a key role in normalizing oversharing as a socially meaningful communicative practice rather than a simple act of disclosure.

The findings from RQ1 and RQ2 indicate that over-sharing in the Turkish TikTok environment is not merely the disclosure of private information. Rather, it is a style of communication shaped by emotional intimacy, relational storytelling, and the creation of an intimate yet public audience.

RQ3 – What specific communication norms emerge through these repeated oversharing practices on TikTok in Türkiye?

Whilst RQ1 identifies the thematic forms of oversharing and RQ2 examines how audiences are positioned discursively, the third question explores what kinds of communication norms are established through these recurring practices. Across the dataset, oversharing emerges not as a breach of boundaries, but as an expected form of participation.

1. Visibility as Participation

The first norm that emerges demonstrates that a state of constant visibility functions as a condition of being present on the platform. Users frame sharing not as a choice, but as a necessity.

“Bugün paylaşım yapmazsam sanki ortadan kaybolmuş gibi hissediyorum.”

“If I don’t post today, I feel as though I’ve vanished.”

“Buraya girmeden günümü kapatamıyorum.”

“I can’t bring my day to a close without logging in here.”

These statements show how being visible has become a routine and an expectation.

2. Emotional transparency as authenticity

Emotional openness is becoming a sign of honesty and sincerity. The more personal the disclosure, the more “authentic” the content creator appears.

“Güçlü görünmekten vazgeçtim, bugün gerçekten iyi değilim.”

“I’ve given up on pretending to be strong; I’m really not feeling well today.”

“Filtre kullanmadan böyleyim, saklayacak bir şeyim yok.”

“This is me without filters; I’ve got nothing to hide.”

Emotional openness is presented as proof of authenticity.

3. Relational publicness

Excessive sharing also creates a hybrid space where intimacy and publicness coexist. The viewer becomes part of the personal life story.

“Siz olmasanız bunları kimle konuşurdum bilmiyorum.”

“I don’t know who I’d talk to about these things if it weren’t for you.”

“Hayatımın en önemli anlarını sizinle paylaşmak istiyorum.”

“I want to share the most important moments of my life with you.”

The public sphere becomes both relational and intimate at the same time.

Table 3. Communication Norms Emerging from Oversharing Practices

Emerging Norm	Description
Visibility as participation	Continuous sharing becomes a condition of presence
Emotional transparency as authenticity	Disclosure functions as an indicator of sincerity and credibility
Relational publicness	Intimacy is reconstructed within the public digital sphere

Table 3 summarizes how recurring oversharing practices contribute to the formation of platform-specific communication norms.

DISCUSSION

This study has examined excessive sharing practices on TikTok in Türkiye not as isolated acts of overexposure, but as established communicative performances embedded within the platform’s culture. The findings indicate that excessive sharing functions as a routine and socially intelligible form of participation shaped by norms of visibility, audience construction and expectations of authenticity.

Excessive sharing in networked public spaces

These findings support the argument that online self-disclosure should be understood within the dynamics of networked public spaces rather than being reduced to individual characteristics (boyd, 2006, 2008). TikTok content creators operate in an environment characterised by scalability, persistence and context collapse, where the boundaries between personal and public audiences are naturally blurred (Marwick & boyd, 2011). In such environments, the disclosure of information is not merely a voluntary act; it is structurally incentivised.

Recent comprehensive studies on TikTok confirm that the platform fosters unique communication ecologies shaped by algorithmic visibility and narrative repetition (e.g., short storytelling templates and ‘story time’ formats) (Anderson & Jiang, 2018). Participation is

increasingly becoming linked to regular self-presentation and narrative continuity. In this sense, excessive sharing appears less as a deviation and more as an adaptation to the platform's logic.

Public intimacy and relational communication

RQ2 demonstrates that content creators consistently frame their followers as confidants, advisors and long-term witnesses. This aligns with the concept of the 'imagined audience', whereby users shape their posts according to the relational expectations they perceive (Marwick & boyd, 2011). Rather than addressing an anonymous crowd, content creators demonstrate intimacy.

This model aligns with recent analyses of TikTok as a public intimacy sphere where private experiences circulate as collectively meaningful narratives (Mendelson, 2024). Public intimacy does not erase the boundaries between the private and the public; rather, it redefines them. Intimate posts become readable, shareable, and socially valid within digital public spaces.

Norms of emotional transparency and authenticity

Across the dataset, vulnerability and emotional openness frequently served as indicators of authenticity. This supports the broader argument that, in digital culture, authenticity is a value tied to display and the platform (Senft & Baym, 2015). On TikTok, authenticity is typically conveyed through immediacy, unpolishedness and emotional openness.

Research on TikTok authenticity indicates that users are increasingly learning what constitutes 'authenticity' based on platform norms and narrative styles (Barta & Andalibi, 2021; Sözen, 2025). Thus, emotional transparency is socially rewarded. In this context, oversharing is being redefined as "honest self-expression" rather than "too much information".

Previous cultural critiques have defined oversharing as a symbol of the Internet age, which prioritises visibility and exposure (Agger, 2012; John, 2016). Current findings suggest that this cultural shift has now normalised the deepening of this phenomenon within short-form video platforms. Emotional disclosure is interpreted not as a loss of dignity, but as proof of sincerity.

Reframing the privacy debate in Türkiye

Current academic research in Türkiye generally approaches TikTok from the perspective of the transformation of privacy and the erosion of privacy. These studies argue that the platform reshapes how users perceive their private boundaries and how they cope with them. Whilst this perspective is valuable, the existing findings complicate the narrative of a simple decline in privacy.

Rather than merely documenting a loss of privacy, this study reveals how excessive sharing is constructed through narrative traditions and audience expectations. The study demonstrates that content creators actively frame disclosure as meaningful, relational, and even necessary. This reframing aligns with broader arguments that privacy is becoming increasingly integrated into public communication within contemporary media cultures (Berlant, 2008).

Thus, within the context of TikTok in Türkiye, excessive sharing appears less as an accidental disclosure and more as a communicative reorganisation: private experiences are strategically transformed into publicly comprehensible narratives.

Emerging communicative norms

The third research question addressed the broader communicative norms arising from repeated instances of excessive sharing. Three norms stand out. Firstly, visibility as participation. Presence on the platform is maintained through regular sharing; this demonstrates that absence carries the risk of invisibility. This dynamic reflects contemporary regimes of visibility in social media cultures (Shifman, 2014).

The second is emotional transparency as a form of authenticity. Emotional openness functions as a source of trustworthiness and encourages participation. This finding aligns with research linking self-disclosure to social approval and recognition (Shabahang et al., 2024).

Thirdly, relational publicness. Over-sharing creates a hybrid communication space shaped through intimacy and relational contexts. This space demonstrates that the boundaries between the private and the public are becoming increasingly permeable (boyd, 2008; Mendelson, 2024).

Taken together, these norms demonstrate that excessive sharing on TikTok in Türkiye is not merely a sign of diminishing privacy awareness. It is a structured communication practice shaped by platform capabilities, relational expectations and evolving norms of authenticity.

CONCLUSION

This study aims to examine excessive sharing on TikTok in Türkiye not merely as a simple issue of over-sharing personal information, but as a communication practice shaped by the platform's culture. By analysing Turkish TikTok videos, the study has identified recurring narrative patterns, audience perceptions and emerging communication norms that shape the way personal experiences are shared online.

The findings suggest that excessive sharing should not be viewed as a deviation from acceptable communication. Instead, it emerges as a normalised form of participation within the TikTok environment. Emotional disclosure, personal storytelling and narratives of everyday

life are framed not as boundary violations, but as meaningful updates. In this sense, the study demonstrates that excessive sharing functions as a culturally intelligible communication practice.

The key finding of the study is that excessive sharing constitutes a deep form of relationship. TikTok content creators, by constantly addressing their followers as confidants, advisors and witnesses, transform visibility into an ongoing relational endeavour. This relational framing helps explain why constant self-disclosure is both sustainable and expected. Consequently, excessive sharing functions not only as a means of self-expression but also as a strategy to maintain audience engagement and perceived intimacy.

The study also demonstrates that excessive sharing contributes to the formation of broader communication norms. Visibility becomes a condition of participation; emotional transparency serves as an indicator of authenticity; and sincerity is reconstructed within public digital spaces. These norms reflect a broader shift within digital culture, where the boundaries between private and public communication are becoming increasingly blurred.

The findings suggest that excessive sharing on TikTok in Türkiye should be understood not merely as a simple erosion of privacy, but as a communication norm shaped by the platform. By focusing on observable communication practices, this study highlights how digital participation is shaped by personal disclosure, socially meaningful narrative traditions, audience expectations, and norms of authenticity.

LIMITATIONS AND FUTURE RESEARCH

This study focused on publicly available Turkish TikTok videos and examined excessive sharing as an observable communication practice. Whilst this design allows for the analysis of naturally occurring content, it also entails certain limitations that must be taken into account.

Firstly, the study relied solely on publicly available videos and did not include interviews with content creators. Consequently, the analysis is limited to what content creators do and display, rather than how they interpret their own sharing practices. Future research could explore content creators' motivations, experiences of self-disclosure, and audience perceptions by combining content analysis with in-depth interviews or digital ethnography.

Secondly, the dataset was limited to a single platform and a six-month timeframe. Whilst this choice ensured methodological consistency, excessive sharing practices may vary across platforms such as Instagram, YouTube or emerging short-form video platforms. Comparative cross-platform studies could provide a more comprehensive understanding of how platform capabilities shape disclosure practices.

Thirdly, the study focused on Turkish content and did not include cross-cultural comparisons. Whilst this local focus was intentional, comparative studies could investigate whether similar communication norms emerge across different cultural contexts or whether excessive sharing takes on culturally specific forms.

Finally, the analysis has focused on communicative practices rather than the audience perspective. How audiences interpret, evaluate, or emotionally respond to excessive sharing remains an open question. Future studies could investigate audience perceptions through surveys, experiments, or analyses of comment sections.

Taken together, these directions suggest that oversharing on short-form video platforms remains a productive site for interdisciplinary research, offering new opportunities to understand how digital communication practices, platform cultures, and emerging norms of public intimacy continue to evolve.

REFERENCES

Abidin, C. (2017). #Familygoals: Family influencers, calibrated amateurism, and justifying young digital labour. *Social Media + Society*, *3*(2), 1–15. https://doi.org/10.1177/2056305117707191

Abidin, C. (2020). Mapping internet celebrity on TikTok: Exploring attention economies and visibility labours. *Cultural Science Journal*, *12*(1), 77–103. https://doi.org/10.5334/csci.140

Agger, B. (2012). *Oversharing: Presentations of Self in the Internet Age*. Routledge.

Altman, I., & Taylor, D. A. (1973). *Social Penetration: The Development of Interpersonal Relationships*. Holt, Rinehart & Winston.

Anderson, K. E. (2020). Getting acquainted with social networks and apps: TikTok and Houseparty. *Library Hi Tech News*, *37*(4), 7–12. https://doi.org/10.1108/LHTN-01-2020-0001

Anderson, M., & Jiang, J. (2018). *Teens, social media & technology 2018*. Pew Research Center.

Banet-Weiser, S. (2012). *Authentic™: The Politics of Ambivalence in a Brand Culture*. NYU Press.

Bargh, J. A., & McKenna, K. Y. A. (2004). The Internet and social life. *Annual Review of Psychology*, *55*, 573–590. https://doi.org/10.1146/annurev.psych.55.090902.141922

Barta, K., & Andalibi, N. (2021). Constructing authenticity on TikTok: Social norms and social support on the "fun" platform. Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction, 5(CSCW2), 1–29. https://doi.org/10.1145/3479574

Berlant, L. (2008). *The Female Complaint: The Unfinished Business of Sentimentality in American Culture*. Duke University Press.

Bhandari, A., & Bimo, S. (2022). Why's everyone on TikTok now? The algorithmized self and the future of self-making on social media. *Social Media + Society*, *8*(1), 1–11. https://doi.org/10.1177/20563051221086241

boyd, d. (2006). Friends, Friendsters, and Top 8: Writing community into being on social network sites. *First Monday*, *11*(12). https://doi.org/10.5210/fm.v11i12.1418

boyd, d. (2008). Why youth (heart) social network sites: The role of networked publics in teenage social life. In D. Buckingham (Ed.), *Youth, Identity, and Digital Media* (pp. 119–142). MIT Press.

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. *Qualitative Research in Psychology*, *3*(2), 77–101. https://doi.org/10.1191/1478088706qp063oa

Duffy, B. E., & Hund, E. (2019). Gendered visibility on social media: Navigating Instagram's authenticity bind. *International Journal of Communication*, *13*, 4983–5002.

Flick, U. (2009). *An introduction to qualitative research* (4th Ed.). Sage.

Gibbs, J. L., Ellison, N. B., & Heino, R. D. (2006). Self-presentation in online personals.

Communication Research, *33*(2), 152–177. https://doi.org/10.1177/0093650205285368
John, N. A. (2016). *The Age of Sharing*. Polity.
Joinson, A. N. (2001). Self-disclosure in computer-mediated communication. *European Journal of Social Psychology*, *31*(2), 177–192. https://doi.org/10.1002/ejsp.36
Jourard, S. M. (1971). *Self-Disclosure: An Experimental Analysis of the Transparent Self*. Wiley.
Kaye, D. B. V, Chen, X., & Zeng, J. (2020). The co-evolution of two Chinese mobile short video apps: Parallel platformization of Douyin and TikTok. *Mobile Media & Communication*, *9*(2), 229–253. https://doi.org/10.1177/2050157920952120
Kennedy, J. (2018). Oversharing is the norm. In A. Shields Dobson, B. Robards, & N. Carah (Eds.), *Digital Intimate Publics and Social Media* (pp. 265–280). Palgrave Macmillan.
Baş, Ö., Sunam Audry, A., İnceoğlu, İ., Kaya, Y. B., Cöbek, G., & Alkurt, S. V. (2023). Türkiye'de genç yetişkinlerin sosyal medya kullanımları ve paylaşım türlerinin incelenmesi. *Intermedia International e-Journal*, 10(18), 136–159. https://doi.org/10.56133/intermedia.1259262
Ertunç, E. A. (2025). İletişimin dönüşümü açısından yeni medya. In Ö. Barış & S. Yeşilyurt (Eds.), *Yeni medya ve dijitalleşme* (pp. 36–48). Konya Eğitim Yayınevi.
Marwick, A. E. (2015). Instafame: Luxury selfies in the attention economy. *Public Culture*, *27*(1), 137–160. https://doi.org/10.1215/08992363-2798379
Marwick, A. E., & boyd. (2011). I tweet honestly, I tweet passionately: Twitter users, context collapse, and the imagined audience. *New Media & Society*, *13*(1), 114–133. https://doi.org/10.1177/1461444810365313
Mendelson, A. L. (2024). Sensemaking and public intimacy on TikTok: Platformed relationality in short-form video culture. *New Media & Society*. Advance online publication. https://doi.org/10.1177/14614448231163231
Omar, B., & Dequan, W. (2020). Watch, share or create: The influence of personality traits and user motivation on TikTok mobile video usage. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, *14*(4), 121–137. https://doi.org/10.3991/ijim.v14i04.12429
Papacharissi, Z. (2014). *Affective Publics: Sentiment, Technology, and Politics*. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199999736.001.0001
Senft, T. M., & Baym, N. K. (2015). What does the selfie say? Investigating a global phenomenon. *International Journal of Communication*, *9*(Feature), 1588–1606.
Shabahang, R., Aruguete, M. S., & McCutcheon, L. E. (2024). Oversharing on social media: Anxiety, attention-seeking, and social media addiction predict the breadth and depth of sharing. *Psychological Reports*, 127(2), 513–530. https://doi.org/10.1177/00332941221122861
Shifman, L. (2014). *Memes in Digital Culture*. MIT Press. Available at: https://www.rosario.gob.ar/inicio/sites/default/files/2024-09/Memes%20in%20Digital%20Culture%20-Limor%20Shifman.pdf
Sözen, Ü. (2025). Young Muslims in the malady of love: preaching and digital intimate publics on Turkish social media. *Turkish Studies*, *26*(5), 1078–1105. https://doi.org/10.1080/14683849.2025.2483767
Yurdakul, H. (2025). Dijital kimlikler, sosyal sermaye ve dijital platformlar. In Ö. Barış & S. Yeşilyurt (Eds.), *Yeni medya ve dijitalleşme* (pp. 16–35). Konya Eğitim Yayınevi.

THE QUANTIFIED NEWSROOM: A REVIEW OF THE TRANSFORMATION OF NEWS VALUES, PROFESSIONAL ROLES, AND EDITORIAL AUTONOMY IN THE AGE OF METRICS

Assist. Prof. Dr. Sarphan UZUNOĞLU
Izmir University of Economics, Faculty of Communication, Department of New Media, 35330 Balçova, İzmir
ORCID ID: 0000-0002-9736-1763

ABSTRACT

This study presents a narrative literature review examining the impact of audience metrics on contemporary journalism. Synthesizing thirty nine recent academic studies, it critically analyzes how the quantification of audience behavior has reshaped the definition of newsworthiness, created friction between civic and consumerist journalistic roles, and altered power dynamics within newsrooms. The review proposes the concept of the "metrics regime"—a normative power structure where data does not merely measure performance but dictates professional legitimacy. By contrasting "data-informed" autonomy in liberal democracies with "algorithmic capture" in transitional regimes, the study illustrates the uneven geographical impact of metrics. It concludes that the metrics regime has shifted opinion power from editors to digital platforms, necessitating a re-evaluation of journalistic autonomy in a datafied public sphere.

Keywords: Metrics regime, journalistic autonomy, news values, datafied audience, digital journalism, platform power.

ÖZET

Haber odalarının dijitalleşmesi, gazetecilikte karar alma süreçlerini profesyonel sezgiden veri odaklı mantığa kaydıran köklü bir dönüşümü tetiklemiştir. Bu çalışma, otuz güncel akademik araştırmayı sentezleyerek, izleyici davranışlarının nicelleştirilmesinin haber değerlerini nasıl yeniden tanımladığını, kamusal ve tüketici odaklı gazetecilik rolleri arasında nasıl bir gerilim yarattığını ve haber odalarındaki güç dengelerini nasıl değiştirdiğini eleştirel bir bakışla incelemektedir. Makale, izleyici analitiğinin yalnızca teknik bir ölçüm aracı olmadığını, aksine mesleki meşruiyeti belirleyen normatif bir iktidar yapısı olan "metrik rejimi"ni doğurduğunu öne sürmektedir. Çalışma, Batı demokrasilerindeki "veri ile bilgilenmiş otonomi" ile geçiş sürecindeki rejimlerde görülen "algoritmik kuşatma" arasındaki farkları karşılaştırarak metriklerin küresel etkisindeki eşitsizliği ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, metrik rejiminin "kanaat gücünü" editörlerden dijital platformlara kaydırdığı ve "hayal edilen izleyici"nin yerini platform çıkarlarına hizmet eden "verileştirilmiş izleyici"ye bıraktığı savunulmaktadır.

Anahtar kelimeler: Metrik rejimi, gazetecilik otonomisi, haber değerleri, verileştirilmiş izleyici, dijital gazetecilik, platform etkisi.

1. INTRODUCTION

The digitization of the newsroom has precipitated a profound epistemic and organizational transformation in journalism, shifting decision-making away from professional judgment toward data-informed logics. Historically, editorial choices were guided by normative commitments to the public interest and by a cultivated "gut feeling" regarding what constituted newsworthiness (Schultz, 2007). In contemporary newsrooms, however, this professional intuition is increasingly intertwined with—if not displaced by—a pervasive infrastructure of audience surveillance known as audience analytics. Far from being neutral tools, analytics systems have introduced new ways of seeing, valuing, and governing journalistic work. This shift signals the rise of what this article conceptualizes as a "metrics regime": a normative power structure in which the "imagined audience" is replaced by a "quantified audience," whose behavioral traces—clicks, shares, scroll depth, and dwell time—exert structured pressure on editorial practice.

This regime reshapes journalism at multiple levels. At the epistemic level, it redefines news values, elevating "Expected Reception" and popularity-based indicators over traditional criteria such as societal relevance or civic significance. At the organizational level, it reconfigures hierarchies by redistributing authority between journalists, managers, and algorithmic systems, often creating friction between the "citizen" and "consumer" orientations of news work. And at the systemic level, it aligns newsroom priorities with the incentives of platform capitalism, where engagement metrics, virality, and algorithmic visibility play decisive roles in determining what becomes news.

Although scholars have widely documented these dynamics, existing research often remains fragmented across separate conversations on news values, professional roles, audience datafication, and platform power. There is a need for an integrative analysis that synthesizes these strands to articulate how metrics have evolved from passive feedback mechanisms into active agents of institutional power. The purpose of this article is therefore to provide a comprehensive, narrative literature review that consolidates and critically examines thirty nine recent empirical and theoretical studies on the metricization of journalism. By systematically synthesizing this diverse body of work, the article seeks to answer the following overarching question: How does the rise of audience metrics reconfigure journalistic autonomy, professional identity, and editorial judgment across different media systems?

In addressing this question, the article advances the concept of the metrics regime as an analytical framework capable of explaining the structural, cultural, and psychological consequences of datafication in news production. The motivation for this study emerges from two interrelated gaps in the literature. First, although prior research has documented shifts in newswork, it seldom theorizes metrics as a coherent regime of power that operates globally yet distinctly across different contexts. Second, most existing work focuses on Western liberal democracies, often overlooking how metrics can function differently in transitional, hybrid, or weakly institutionalized media environments. By comparing how the metrics regime manifests in varied political contexts, the article highlights the uneven geography of datafication—showing how metrics can either support "data-informed autonomy" in democratic settings or intensify forms of "algorithmic capture" in authoritarian ones.

Methodologically, the study employs a narrative literature review, an approach particularly suited to synthesizing heterogeneous findings and tracing conceptual developments across fields. Following established guidelines for rigorous qualitative synthesis, the review draws on systematic search strategies, conceptual coding, and thematic clustering to analyze selected studies spanning journalism studies, media sociology, political communication, and platform governance. This method enables the integration of qualitative and quantitative evidence, including ethnographies, interviews, content analyses, surveys, and computational studies—reflecting the inherently interdisciplinary nature of media research. In line with best practices for trustworthiness in qualitative synthesis, the review emphasizes transparency in selection criteria, analytical process, and theoretical positioning.

By bringing these strands together, the article argues that the metrics regime represents a paradigmatic shift in the governance of newswork—one that compels journalists to negotiate tensions between civic responsibility and the commercial imperatives embedded in platform-driven attention economies. The introduction of this framework aims not only to consolidate existing scholarship but also to offer a conceptual lens for future research on autonomy, editorial judgment, and the datafied public sphere. The framework contributes to journalism studies by (1) consolidating fragmented debates into a unified concept of the metrics regime, and (2) offering a comparative model that explains divergent trajectories of datafication across media systems

2. RESEARCH AND FINDINGS

2.1. Conceptualizing the Metrics: A Terminology of Quantification

The literature on digital journalism employs a complex lexicon to describe the quantification of audience behavior. While terms such as "popularity," "engagement," and "shareability" are often used interchangeably in industry discourse, they represent distinct theoretical constructs with different implications for editorial autonomy and news values. To ensure conceptual clarity and analytical precision, this study distinguishes between these key terms based on their temporal orientation (retrospective vs. prospective) and their locus of impact (editorial judgment vs. news content).

Differentiating the Concepts

While these concepts overlap within the "metrics regime," they operate at different stages of news production. "Popularity" is primarily a performance metric; it is a retrospective measure of traffic that informs decisions about story placement and longevity on a homepage (Zhang, 2024, p. 2). In contrast, "Expected Reception" is a predictive norm; it represents the internalization of popularity into the journalist's gut feeling, shaping what is selected for coverage before any data is generated (Kristensen, 2023, p. 998). Thus, while popularity measures what has happened, expected reception dictates what should be produced.

Furthermore, "Public Response" differs from both by shifting the focus from the newsroom's internal data to the external world; it elevates "attention" from a metric of success to a subject of reporting, validating events solely based on their visibility (Fürst & Oehmer, 2021, p. 800). Finally, "Engagement" and "Shareability" refer to the quality and movement of audience interaction. While theoretical definitions of engagement emphasize "thick" emotional and civic connection (Steensen et al., 2020, p. 1663), the metrics regime typically reduces it to "thin" behavioral signals (likes, shares) that prioritize shareability—the capacity for viral distribution—over substantive public deliberation (Jääskeläinen, 2023).

2.2. Methodology

This study adopts a narrative literature review approach to critically synthesize and evaluate the evolving scholarly debate regarding the impact of audience metrics on digital journalism. Unlike systematic reviews that aim to exhaustively aggregate data for statistical meta-analysis, a narrative review allows for a "comprehensive, critical, and objective analysis of the current knowledge on a topic" (Baker, 2016), enabling the identification of theoretical patterns, conceptual shifts, and normative tensions within the field.

Search and Inclusion Criteria

To ensure the scholarly rigor and relevance of the analysis, the review primarily focuses on peer-reviewed journal articles and seminal book chapters published between 2015 and 2025. This timeframe was selected to capture the maturation of the "metrics regime," moving beyond initial adoption studies to examine the institutionalization and normalization of these technologies within newsrooms. Priority was given to empirical studies that provide "thick descriptions" of newsroom dynamics, including ethnographies that reveal internal negotiations (e.g., Bunce, 2015; Petre, 2015), surveys that map broad attitudinal shifts (e.g., Hanusch & Tandoc, 2017), and content analyses that measure the material impact of metrics on news output (e.g., Zhang, 2024; Lamot, 2022). Furthermore, to avoid the "Western bias" often prevalent in journalism studies, the selection explicitly sought comparative perspectives. The corpus includes studies from Western media systems (United States, United Kingdom, Belgium, Finland, Netherlands) as well as transitional and non-Western contexts (Nigeria, Egypt, Chile, China), allowing for a comparative analysis of how diverse political economies shape the impact of metrics.

Data Analysis

The selected articles were analyzed using a thematic synthesis approach. The analysis moved beyond a descriptive summary of findings to identify recurring conceptual conflicts and structural transformations. The literature was coded according to key theoretical dimensions derived from field theory and the sociology of news:

- The transformation of news values (e.g., the rise of "popularity" and "expected reception").
- The negotiation of professional roles (e.g., the "citizen" vs. "consumer" dichotomy).
- The shift in power dynamics (e.g., platform dependency and algorithmic gatekeeping).

This analytical framework facilitated the categorization of the "metrics regime" not merely as a technological phenomenon, but as a normative power structure that operates differently across diverse media ecosystems.

2.3. The Metricization of News Values and the Dominance of “Popularity”

The integration of audience analytics has precipitated a fundamental shift in the definition of newsworthiness. Traditionally, news values—such as timeliness, impact, proximity, and conflict—were determined by professional intuition and normative ideals. However, the contemporary newsroom is increasingly defined by the ubiquity of "quantified audiences," where audience preferences are continuously measured, analyzed, and operationalized. This

datafication has transformed abstract professional norms into measurable outputs. Kristensen (2023) argues that metrics have introduced a new, dominant news value termed "Expected Reception." Unlike traditional values inherent to the event itself, Expected Reception dictates that editorial decisions regarding story selection and placement are guided by an anticipation of how the audience—and the algorithms distributing the content—will react, effectively "operationalizing news value for the digital newsroom". This indicates that the metrics regime has evolved from a technical utility into a normative filter, pre-emptively shaping editorial judgment and determining not just what is read, but what is considered worth reporting.

This shift reconfigures news as a social object defined by interaction. Jääskeläinen et al. (2023) contend that in the digital age, news functions as an "anti-rival good," meaning its value increases rather than decreases the more it is consumed and shared. Consequently, "participation"—measured through metrics like shares, comments, and clicks—becomes a news value in its own right. In this framework, the "smart audience" is not merely a passive recipient but an active value-creator; a story's worth is contingent upon its ability to generate distribution and communal interaction. Consequently, the metrics regime redefines journalistic value, detaching it from intrinsic social significance and anchoring it instead to the capacity for circulation within platform ecosystems.

This theoretical shift is supported by empirical evidence regarding news placement. In a study utilizing Natural Language Processing (NLP), Zhang (2024) demonstrated that a story's "popularity"—its potential to generate traffic—is a robust predictor of its prominence on a news site. Zhang's analysis across six major newspapers revealed that "popularity was the only factor that was consistently found to be significantly related to story placement," often overriding traditional news factors such as conflict or magnitude (p. 12). This creates a feedback loop where popularity begets prominence, reinforcing the dominance of metrics over normative editorial judgment. Similarly, Zamith (2016) found that while there is often a divergence between what editors consider important and what audiences view, metrics serve to bridge this gap, often leading to the prolonged visibility of popular items on homepages (p. 1129). These findings illustrate how the metrics regime restructures the editorial hierarchy, effectively displacing normative news judgment with an algorithmic logic that positions platform success at the center of the newsroom.

The dominance of popularity is further institutionalized through the concept of "public response" as a news factor. Fürst and Oehmer (2021) argue that in a "metric society," journalists increasingly report on events and actors specifically because they have garnered significant

public attention (e.g., trending topics, follower counts). This creates a self-reinforcing cycle where "attention hotspots" become newsworthy simply by virtue of being attended to, regardless of their intrinsic societal value (p. 800). In this way, the metrics regime transforms "attention" from a measure of success into a primary source of legitimacy, shifting the epistemological ground of journalism toward a self-referential cycle of visibility.

The drive for engagement has also expanded the emotional range of newsworthiness. While traditional news values have historically prioritized conflict and negativity, the need for shareability (an anti-rival property) has elevated positive affect. Parks (2021) explores "Joy" as a news value, arguing that within the context of constructive journalism, positive emotional resonance is increasingly recognized as a driver of audience engagement. Metrics that capture "shareability" often reward content that elicits strong emotions, including joy, thereby challenging the old adage that "if it bleeds, it leads" by validating the commercial and social utility of positive storytelling. Thus, the metrics regime reconfigures the emotional tonality of news to align with market logic, prioritizing "shareability" over democratic precedence and turning emotional triggers into strategic editorial assets.

However, the influence of metrics is not absolute and interacts with traditional hierarchies. Parks (2019) identifies the U.S. Presidency as the "Ultimate News Value," noting that despite the influx of new metrics and changing audience habits, journalism textbooks and practices continue to normalize the presidency as intrinsically newsworthy. This suggests that certain elite-driven news values remain entrenched, potentially crowding out diverse voices even in a digital landscape where metrics might theoretically democratize attention. Similarly, while metrics might favor broad appeal, cultural and linguistic proximity remains a critical filter. De Smedt et al. (2013) found that language functions as a distinct news value in fragmented markets like Belgium, acting as a barrier that even high-metric potential stories struggle to cross if they do not align with the linguistic identity of the specific audience. These exceptions suggest that the metrics regime does not establish absolute hegemony but rather operates within a contested space, constantly negotiating with deep-seated cultural and political hierarchies.

Experimental studies further corroborate the nuanced influence of metrics. Lamot and Van Aelst (2020) found that when journalists were presented with real-time analytics data, they were significantly more likely to rank stories with positive metrics as more newsworthy, particularly when those stories were "soft news" (p. 487). This suggests that while "hard news" values remain relatively resilient, metrics effectively validate and elevate soft news content that might otherwise be deemed less editorially significant. This aligns with findings by Geiß

and Kepplinger (2025), who noted that event types fundamentally change news emphasis; metrics often exacerbate the emphasis on "event-driven" reporting over thematic analysis. This indicates that the metrics regime systematically rewards "soft" content, thereby increasing the risk of marginalizing public-interest journalism and eroding the profession's core informational function in favor of entertainment.

Ultimately, the literature suggests a shift in the "object of journalism" from qualitative evidence to quantitative evidence. As Wang (2018) posits through Dimensional Field Theory, the audience is increasingly viewed as "economic capital" to be captured rather than "social capital" to be served (p. 482). This "force of popularity" fundamentally alters the gatekeeping process, moving it away from a normative assessment of public interest toward a calculative assessment of audience attention, thereby evolving journalism from a public service into a form of attention arbitrage.

2.4. Journalistic Roles: The Tension Between "Citizen" and "Consumer"

The ubiquity of metrics has exacerbated the tension between journalism's normative role as a public service and its commercial imperative. Nelson and Tandoc (2019) articulated this as a conflict between "doing well" (achieving high traffic) and "doing good" (performing civic duties). Their ethnographic work revealed that journalists increasingly perceive these goals as mutually exclusive; "doing well" is tied to the logic of the market, while "doing good" is tied to the logic of the profession (Nelson & Tandoc, 2019, p. 1961).

Belair-Gagnon, Zamith, and Holton (2020) further explored this dichotomy, noting that while journalists still perceive the "citizen" role (educating the public) as normatively superior, they pragmatically accept the "consumer" role (giving audiences what they want) as necessary for survival. They found that "audience metrics were most useful in advancing a consumer role orientation—and only somewhat useful in advancing the more-important citizen role orientation" (p. 360). This aligns with Tandoc and Thomas's (2015) ethical critique, which warns that prioritizing metrics risks reducing the audience to "disaggregated segments based on consumer preference" rather than a public to be served (p. 244).

This tension has evolved with the rise of paywalls. Penttilä (2024) observed that the pursuit of subscriptions has shifted the focus from mere traffic to "subscription-chasing." In the Finnish tabloid Iltalehti, journalists rationalized this market orientation by framing financial success as the only way to secure the future of journalism. Penttilä notes that journalists "accepted and internalised the market orientation even on [an] individual level, considering it as developing their professional skills" (p. 1). However, Olsen, Kammer, and Solvoll (2019) warn that while

paywalls may secure revenue, they negatively impact traffic and "challenge the civic function of the local news media since fewer people consult them" (p. 198).

2.5. Contextualizing the Newsroom: Organizational Culture and Resistance

The impact of metrics is not uniform; it is mediated by organizational culture and the political economy of the region. In Western contexts, newsrooms often attempt to balance data with intuition. Hendrickx et al. (2021) described the transition in Belgian newsrooms from being "data-driven" to "data-informed," finding that journalists maintain a "healthy skepticism" (p. 427). Furthermore, Belair-Gagnon et al. (2020) highlight that this resistance is often stratified by hierarchy; while managers may embrace metrics to fulfill organizational goals, reporters often view them as conflicting with their "citizen-oriented" role perceptions (p. 350). Ultimately, as Zamith (2018) notes, this initial skepticism is gradually shifting towards normalization, where metrics are becoming an integrated component of news production (p. 425).

However, in transitional or authoritarian contexts, the pressure of metrics can be more destructive. Elsheikh, Jackson, and Jebril (2024) found that in Egypt, heavy reliance on metrics led to a "tabloidisation" of content, where journalists reported that "analytics comes first, and journalism is the last" (p. 1173). This dynamic is pushed to its extreme in the case of Opera News Hub in Nigeria, where Umejei (2022) observes a total surrender of autonomy. Here, journalists explicitly admit to "writing what the algorithm wants," as the platform's recommender system strictly enforces a logic of sensationalism over journalistic norms (p. 1875). Similarly, Bunce (2015) categorized foreign correspondents in Africa into "data-driven," "data-informed," and "data-denialists" (p. 13).

Riemann (2024) proposes a detailed typology of journalists based on their engagement with analytics, suggesting that resistance is not just about refusal but about how individuals integrate data into their professional identity. Despite these pressures, Walters (2022) argues that journalists are attempting to "reclaim control" by adopting a logic of selectivity. Rather than blindly following platform demands, some newsrooms strategically decide when and how to engage, thereby defending traditional values like objectivity even within a metric-driven ecosystem (p. 1483). Neheli (2018) adds that metrics have become "news values" themselves, influencing not just selection but the very definition of news.

2.6. Platform Power, Audience Psychology, and Methodological Challenges

The power to shape public opinion has shifted from editors to digital platforms. Dodds et al. (2023) argue that "opinion power has shifted to a datafied version of the audience," where

journalists produce content not for actual citizens but for an algorithmic construct of the audience demanded by third-party platforms like Google and Facebook (p. 403). This dependency forces journalists to embrace "social media logics" while attempting to defend traditional values, often resulting in a loss of gatekeeping authority (Walters, 2022, p. 1483). This is compounded by "influencer creep," where researchers and journalists alike must optimize their content for algorithms to be seen, as noted by Maddox (2025) in the context of TikTok (p. 93).

Furthermore, the platformization of news has forced even hyperlocal newsrooms to rely on "all-in-one" tools like Pubble to manage their workflow, creating an inescapable dependency on metrics for agenda-setting (de Koning et al., 2025, p. 31). Umejei (2022) illustrates the extreme end of this spectrum in the case of Opera News Hub in Nigeria, where journalists explicitly stated, "We write what the algorithm wants," highlighting a complete surrender of autonomy to algorithmic gatekeeping (p. 1875).

From the audience's perspective, metrics also influence the perception of news quality and credibility. Li and Sundar (2022) examined the psychological effects of visible metrics (likes, shares) on users. They found that high engagement numbers serve as "bandwagon cues" that can reduce psychological reactance to health messages. Specifically, "strong bandwagon cues can reduce reactance and improve persuasion by eliciting bandwagon perceptions," suggesting that metrics function as a social signal that validates content for the user (p. 1355). Dvir-Gvirsman (2023) adds that users and editors engage in a reciprocal sense-making process regarding metrics like "Likes," where both parties interpret these signals to navigate the social media environment (p. 1018).

Finally, the measurement of these phenomena remains a methodological challenge. Lee and Peng (2024) trace the evolution of "digital traces" from basic server logs to complex social data, arguing that researchers must look beyond simple clicks to understand audience behavior (p. 1140). Similarly, Mangold and Scharkow (2022) demonstrate that different analytical approaches to measuring "news audience polarization" yield vastly different results, warning that "alternative choices led to profound differences in the... validity of the empirical news audience polarization estimates" (p. 157). Steensen et al. (2020) further critique the reduction of "engagement" to mere metrics, arguing for a multidimensional theory that includes emotional and normative dimensions (p. 1663). Lawrence et al. (2017) also note that "engagement" practices vary widely, from "thin" metrics-based approaches to "thick" participatory models (p. 1225).

2.7. The Psychology of the Regime: From Journalists to Audiences

The "metrics regime" extends its influence beyond the sociotechnical structures of the newsroom to colonize the psychological relationship between the news producer and the audience. Within this regime, the visible quantification of engagement—manifested as Likes, Shares, and view counts—functions not merely as a retrospective measure of reach but as a prospective psychological mechanism of control known as the "Bandwagon Effect."

Li and Sundar (2022) argue that visible engagement metrics serve as "bandwagon cues" that trigger powerful cognitive heuristics in the audience. When users encounter content with high engagement numbers, they unconsciously apply the logic that "if others think this is good, then it must be good," which fundamentally alters their perception of the content's quality and credibility. Crucially, these cues act as a buffer against "psychological reactance"—the motivational state where individuals resist persuasion when they feel their freedom of choice is threatened. By validating the message through social proof, strong metrics reduce this resistance, making the audience more compliant and receptive to the content's framing. Thus, in the metrics regime, popularity does not just reflect public interest; it actively manufactures consent and trust by signaling collective endorsement.

This psychological dynamic creates a feedback loop that encompasses both the producer and the consumer. Dvir-Gvirsman (2023) characterizes this as a "reciprocal sense-making process" where metrics act as a "shared space" visible to both parties. Unlike traditional readership surveys hidden within the organization, social media metrics are public performance indicators that users and editors interpret simultaneously. Users engage in "impression management," strategically interacting with specific news items (e.g., liking "highbrow" content) to curate their own digital identity, rather than simply expressing genuine preference. Editors, in turn, interpret these performative signals as authentic audience demand, adjusting their editorial strategies to solicit these specific behaviors. Dvir-Gvirsman (2023) notes that this duality—metrics as both a social tool for users and a measurement system for editors—creates a complex interpretive environment where editors are "fully aware of users' 'social rules' of engagement, and try to harness them".

However, critical scholarship warns that this psychological reliance on visible metrics creates a reductionist trap. Steensen et al. (2020) critique the industry's conflation of "behavioral analytics" (clicks/likes) with genuine "audience engagement," arguing that metrics capture only the "technical-behavioral" dimension while ignoring the "emotional" and "normative" dimensions of news consumption. Lawrence et al. (2017) define this as "thin" engagement,

where the audience is viewed merely as a reactive consumer whose value is extracted through data, rather than "thick" engagement where the audience is an active citizen-participant. Consequently, the "metrics regime" psychologically conditions journalists to prioritize "interaction" (which is measurable) over "connection" (which is not), potentially incentivizing content that triggers "dark participation" or outrage simply to satisfy the algorithmic demand for signal.

Furthermore, the psychological agency of the audience within this regime is largely illusory. While Dvir-Gvirsman (2023) suggests a reciprocal relationship, Umejei (2022) illustrates a more deterministic power dynamic where recommendation algorithms, not human preference, ultimately dictate exposure. In the case of Opera News Hub, the "metricisation of gatekeeping" ensures that audiences are fed a diet of sensationalism that the algorithm privileges, creating a self-fulfilling prophecy where users appear to "want" what they are forcefully fed. Journalists in this context explicitly admit, "We write what the algorithm wants". Thus, the "bandwagon effect" identified by Li and Sundar (2022) is not a natural social phenomenon but an engineered "datafied audience opinion power". This infrastructure effectively hijacks the psychological heuristics of the audience to serve platform profit models rather than public interest, shifting power away from the newsroom and toward the algorithmic architecture of the platform.

Finally, the psychological contract between the newsroom and the audience is being rewritten by the financial imperatives of the metrics regime. As newsrooms shift focus from broad traffic to "subscription-chasing," the audience is psychologically reframed from a "citizen" with a right to know to a "customer" with a capacity to pay. Penttilä (2024) notes that journalists internalize this market logic, viewing the successful conversion of a reader into a subscriber as a validation of professional quality and a means to secure their own autonomy. However, Olsen et al. (2019) warn that this creates a civic divide; while paywalls may deepen engagement for a paying elite, they significantly reduce traffic and access for the broader public, thereby shrinking the "imagined community" that journalism is theoretically meant to serve. This transition suggests that the psychology of the regime is increasingly exclusionary, valuing only those audience members who can be monetized within the paywall ecosystem.

3. CONCLUSION

This review has synthesized current scholarship to demonstrate that audience metrics are not merely technical tools but powerful normative agents that reshape the ontology of journalism. By conceptualizing this shift as a "metrics regime," this article offers a unique contribution to the field: it frames quantification not as a neutral operational shift, but as a fundamental

reordering of power relations between journalists, platforms, and audiences. Unlike previous reviews that often treat metrics as tools for optimization, this study identifies them as mechanisms of governance that redefine professional legitimacy itself.

This article adds to the existing body of knowledge by bridging the gap between studies of Western "data-informed" autonomy and non-Western "algorithmic capture." It reveals that while metrics offer a means to "do well" financially through strategies like subscription-chasing, they often do so at the cost of "doing good" civically. By connecting the "force of popularity" in news placement with the psychological "bandwagon effects" on readers, this review illustrates how the "imagined audience" has been replaced by a "datafied audience"—a construct that serves platform interests rather than the public interest.

Future scholarship must move beyond the binary of adoption versus resistance. Researchers should investigate how specific metric dashboards (e.g., proprietary vs. off-the-shelf) encode different normative values and how journalists in transitional democracies can develop resilience against algorithmic capture. Furthermore, longitudinal studies are needed to assess the long-term democratic consequences of "subscription-chasing," specifically regarding the exclusion of non-paying audiences from the public sphere.

Practically, this study suggests that newsrooms cannot rely solely on platform-provided metrics; they must develop "editorial analytics" that measure civic impact and "thick" engagement alongside traffic. Ethically, it highlights the urgent need to resist the "institutional capture" where platform logic overrides professional norms, forcing journalists to "write what the algorithm wants". Ultimately, the field must constantly negotiate professional autonomy against the tyranny of the click, fundamentally altering the structure of the journalistic field as conceptualized by Wang.

REFERENCES

Belair-Gagnon, V., Zamith, R., & Holton, A. E. (2020). Role orientations and audience metrics in newsrooms: An examination of journalistic perceptions and their drivers. Digital Journalism, 8(3), 347–366. https://doi.org/10.1080/21670811.2019.1709521

Bunce, M. (2015). Africa in the click stream: Audience metrics and foreign correspondents in Africa. African Journalism Studies, 36(4), 12–29. https://doi.org/10.1080/23743670.2015.1119487

de Koning, A., Dodds, T., & Vandendaele, A. (2025). Quantifying community interest: A study on the role of audience metrics in hyperlocal journalism. Journalism Studies, 26(1), 24–40. https://doi.org/10.1080/1461670X.2024.2412206

Dodds, T., de Vreese, C., Helberger, N., Resendez, V., & Seipp, T. (2023). Popularity-driven metrics: Audience analytics and shifting opinion power to digital platforms. Journalism Studies, 24(3), 403–421. https://doi.org/10.1080/1461670X.2023.2167104

Dvir-Gvirsman, S. (2023). The Meaning of Like: How Social-Media Editors and Users Make Sense of Social Media Engagement. Journalism Practice, 19(5), 1017–1034. https://doi.org/10.1080/17512786.2023.2228782

Elsheikh, D., Jackson, D., & Jebril, N. (2024). The power of numbers: Four ways metrics are transforming the news. Digital Journalism, 12(8), 1165–1183. https://doi.org/10.1080/21670811.2024.2323655
Fürst, S., & Oehmer, F. (2021). Attention for Attention Hotspots: Exploring the Newsworthiness of Public Response in the Metric Society. Journalism Studies, 22(6), 799–819. https://doi.org/10.1080/1461670X.2021.1889396
Hanusch, F., & Tandoc, E. C. (2017). Comments, analytics, and social media: The impact of audience feedback on journalists' market orientation. Journalism, 20(6), 695–713. https://doi.org/10.1177/1464884917720305
Harcup, T., & O'Neill, D. (2017). What is News? News values revisited (again). Journalism Studies, 18(12), 1470–1488. https://doi.org/10.1080/1461670X.2016.1150193
Hendrickx, J., Montero, E., Ranaivoson, H., & Ballon, P. (2021). Becoming the data-informed newsroom? The promotion of audience metrics in the newsroom and journalists' interactions with them. Digital Journalism, 9(4), 427–442. https://doi.org/10.1080/21670811.2021.1890170
Jääskeläinen, A., Koponen, J., & Djakonoff, V. (2023). Participation shaping the values of news articles: implications of news as anti-rival information products. Journal of Media Business Studies, 20(4), 364–386. https://doi.org/10.1080/16522354.2023.2189426
Kristensen, L. M. (2023). Audience metrics: Operationalizing news value for the digital newsroom. Journalism Practice, 17(5), 991–1008. https://doi.org/10.1080/17512786.2021.1954058
Lamot, K., & Van Aelst, P. (2020). Beaten by chartbeat? An experimental study on the effect of real-time audience analytics on journalists' news judgment. Journalism Studies, 21(4), 477–493. https://doi.org/10.1080/1461670X.2019.1686411
Lawrence, R. G., Radcliffe, D., & Schmidt, T. R. (2017). Practicing Engagement: Participatory journalism in the Web 2.0 era. Journalism Practice, 12(10), 1220–1240. https://doi.org/10.1080/17512786.2017.1391712
Lee, A. M., Lewis, S. C., & Powers, M. (2014). Audience clicks and news placement: A study of time-lagged influence in online journalism. Communication Research, 41(4), 505–530. https://doi.org/10.1177/0093650212467031
Lee, S., & Peng, T.-Q. (2024). Understanding audience behavior with digital traces: Past, present, and future. Digital Journalism, 12(8), 1140–1164. https://doi.org/10.1080/21670811.2023.2254821
Li, R., & Sundar, S. S. (2022). Can Interactive Media Attenuate Psychological Reactance to Health Messages? A Study of the Role Played by User Commenting and Audience Metrics in Persuasion. Health communication, 37(11), 1355–1367. https://doi.org/10.1080/10410236.2021.1888450
Maddox, J. (2025). Using creator studies insights to optimize participant recruitment on TikTok. The Communication Review, 28(1), 82–100. https://doi.org/10.1080/10714421.2024.2370124
Mangold, F., & Scharkow, M. (2022). Metrics of news audience polarization: Same or different? Communication Methods and Measures, 16(3), 157–181. https://doi.org/10.1080/19312458.2022.2085249
Neheli, N. B. (2018). News by numbers: The evolution of analytics in journalism. Digital Journalism, 6(8), 1041–1051. https://doi.org/10.1080/21670811.2018.1504626
Nelson, J. L., & Tandoc Jr., E. C. (2019). Doing "well" or doing "good": What audience analytics reveal about journalism's competing goals. Journalism Studies, 20(13), 1960–1976. https://doi.org/10.1080/1461670X.2018.1547122
Olsen, R. K., Kammer, A., & Solvoll, M. K. (2019). Paywalls' Impact on Local News Websites' Traffic and Their Civic and Business Implications. Journalism Studies, 21(2), 197–216. https://doi.org/10.1080/1461670X.2019.1633946
Parks, P. (2021). Joy is a News Value. Journalism Studies, 22(6), 820–838. https://doi.org/10.1080/1461670X.2020.1807395
Parks, P. (2019). The Ultimate News Value: Journalism Textbooks, the U.S. Presidency, and the Normalization of Donald Trump. Journalism Studies, 21(4), 512–529. https://doi.org/10.1080/1461670X.2019.1686413

Penttilä, P. (2024). Autonomy behind the paywall: Subscription-chasing and journalistic freedom at the level of practice. Journalism Practice. Advance online publication. https://doi.org/10.1080/17512786.2024.2389204
Petre, C. (2015). The traffic factories: Metrics at Chartbeat, Gawker Media, and The New York Times. Tow Center for Digital Journalism.
Petre, C. (2018). Engineering consent: How the design and marketing of newsroom analytics tools rationalize journalists' labor. Digital Journalism, 6(4), 509–527. https://doi.org/10.1080/21670811.2018.1444998
Riemann, R. (2024). Mapping audience analytics use in newsrooms a conceptual typology integrating individual and organizational influences. Journal of Media Business Studies. Advance online publication. https://doi.org/10.1080/16522354.2024.2442232
Steensen, S., Ferrer-Conill, R., & Peters, C. (2020). (Against a) Theory of Audience Engagement with News. Journalism Studies, 21(12), 1662–1680. https://doi.org/10.1080/1461670X.2020.1788414
Tandoc Jr., E. C., & Thomas, R. J. (2015). The ethics of web analytics: Implications of using audience metrics in news construction. Digital Journalism, 3(2), 243–258. https://doi.org/10.1080/21670811.2014.909122
Umejei, E. (2022). Chinese Digital Platform: "We Write What the Algorithm Wants." Digital Journalism, 10(10), 1875–1892. https://doi.org/10.1080/21670811.2022.2151026
Walters, P. (2022). Reclaiming control: How journalists embrace social media logics while defending journalistic values. Digital Journalism, 10(9), 1482–1501. https://doi.org/10.1080/21670811.2021.1942113
Wang, Q. (2018). Dimensional field theory: The adoption of audience metrics in the journalistic field and cross-field influences. Digital Journalism, 6(4), 472–491. https://doi.org/10.1080/21670811.2017.1397526
Zamith, R. (2018). Quantified audiences in news production: A synthesis and research agenda. Digital Journalism, 6(4), 418–435. https://doi.org/10.1080/21670811.2018.1444999
Zhang, J. (2024). The force of popularity: A study on audience metrics and news placement with NLP models. Journalism Practice. Advance online publication. https://doi.org/10.1080/17512786.2024.2441290

ÇİFT TARAFLI KAYIT SİSTEMİNDEN ÜÇLÜ KAYIT SİSTEMİNE: BLOKZİNCİR TEKNOLOJİSİNİN MUHASEBE KAYIT SİSTEMLERİNE ETKİSİ ÜZERİNE BİR İNCELEME

Doç. Dr. Alper Tunga ALKAN
Selcuk University, Akşehir Faculty of Economics and Administrative Sciences, Department of Business Administration, Division of Accounting and Finance, Konya, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-8309-7463
SMMM Hakan ACER
Independent Researcher in Accounting and Finance, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-4713-7974

ÖZET

Muhasebenin temelini kayıt oluşturmaktadır. Hatta bazı araştırmacılar, ticari faaliyetlerin kayıt altına alınması gereksiniminin yazının ortaya çıkışını hızlandırdığını ileri sürmektedir. Tarih boyunca ekonomik faaliyetlerin güvenilir biçimde kaydedilmesini sağlayan muhasebe kayıt sistemleri, yaklaşık altı yüzyıldır Çift Taraflı Kayıt Sistemi (Double-Entry Accounting System-DEA) üzerine inşa edilmiştir. Ancak dijital dönüşüm ve blokzincir teknolojisindeki gelişmeler, bu köklü sistemin yeniden değerlendirilmesini gündeme getirmiştir. Bu süreçte ortaya çıkan Üçlü Kayıt Sistemi (Triple-Entry Accounting-TEA), muhasebe kayıtlarının güvenilirliğini, şeffaflığını ve doğrulanabilirliğini artırmayı hedefleyen yenilikçi bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmanın amacı, blokzincir teknolojisinin muhasebe kayıt sistemleri üzerindeki etkisini incelemek, TEA literatürünü değerlendirmek ve bu yaklaşımın muhasebe uygulamalarına sağlayabileceği katkıları ortaya koymaktır. Araştırma iki aşamalı bir metodolojiye dayanmaktadır. İlk aşamada, Web of Science (WoS) Core Collection veri tabanında "Triple-Entry Accounting" veya "Blockchain" anahtar kelimeleri kullanılarak ulaşılan ve Türkiye adresli 735 makaleden oluşan veri seti bibliyometrik analiz yöntemiyle incelenmiştir. İkinci aşamada ise yalnızca TEA konusundaki 21 çalışma ayrıntılı olarak değerlendirilmiştir. Bibliyometrik analiz sonuçları, en yüksek atıf alan çalışmaların Upadhyay (2021), Galanakis (2021), Kou (2021), Kayıkçı (2022) ve Dehghani (2021) tarafından gerçekleştirildiğini göstermektedir. Yazar iş birliği ağlarında Erfan Babaee Tirkolaee, Muhammet Deveci, Fadi Al-Turjman, Yiğit Kazancoğlu ve İsmail Erol öne çıkarken İstinye Üniversitesi, Yakın Doğu Üniversitesi ve Boğaziçi Üniversitesi en fazla bilimsel katkı sağlayan kurumlar arasında yer almaktadır. Anahtar kelime analizinde ise blokzincir, güvenlik, blokzincir teknolojisi, akıllı sözleşmeler, gizlilik, Nesnelerin İnterneti, Bitcoin ve kripto para kavramlarının literatüre yön verdiği belirlenmiştir. TEA çalışmaları, ağırlıklı olarak blokzincirin muhasebe kayıtlarının güvenilirliği, şeffaflığı, denetim süreçleri ve finansal

raporlama üzerindeki etkilerine odaklanıldığını göstermektedir. Sonuç olarak, blokzincir teknolojisinin DEA'nın yerine geçmekten ziyade onu tamamlayan ve güvenilirliğini artıran bir yapı sunduğu ancak standartlaşma, hukuki altyapı ve uygulama maliyetleri gibi konuların yaygın kullanımın önündeki temel engeller olduğu değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Blokzincir, üçlü kayıt sistemi, muhasebe kayıt sistemleri, akıllı sözleşmeler, kripto para.

FROM DOUBLE-ENTRY ACCOUNTING TO TRIPLE-ENTRY ACCOUNTING: AN EXAMINATION OF THE IMPACT OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY ON ACCOUNTING RECORD SYSTEMS

ABSTRACT

Recording is one of the fundamental functions of accounting. Some researchers even argue that the need to record commercial transactions accelerated the invention of writing. Throughout history, accounting recording systems have provided a reliable framework for documenting economic activities, with the Double-Entry Accounting System (DEA) serving as the foundation of accounting practice for nearly six centuries. However, rapid digital transformation and advances in blockchain technology have prompted a reconsideration of this long-established system. Emerging from this transformation, the Triple-Entry Accounting (TEA) approach has attracted increasing attention as an innovative model that aims to enhance the reliability, transparency, and verifiability of accounting records. The aim of this study is to examine the impact of blockchain technology on accounting recording systems, evaluate the existing literature on TEA, and discuss its potential contributions to accounting practice. The research adopts a two-stage methodology. In the first stage, a bibliometric analysis was conducted using a dataset of 735 Türkiye-affiliated articles retrieved from the Web of Science (WoS) Core Collection database using the keywords "Triple-Entry Accounting" OR "Blockchain". In the second stage, 21 studies specifically focusing on Triple-Entry Accounting were examined through a systematic literature review. The bibliometric findings indicate that the most highly cited publications were authored by Upadhyay (2021), Galanakis (2021), Kou (2021), Kayikci (2022), and Dehghani (2021). Co-authorship analysis identified Erfan Babaee Tirkolaee, Muhammet Deveci, Fadi Al-Turjman, Yigit Kazancoglu, and İsmail Erol as the leading researchers in the field, while Istinye University, Near East University, and Boğaziçi University emerged as the most productive institutions. Keyword analysis revealed that blockchain, security, blockchain technology, smart contracts, privacy, Internet of Things, Bitcoin, and cryptocurrency are the dominant themes in literature. The systematic review further demonstrates that TEA primarily focuses on the impact of blockchain technology on

the reliability and transparency of accounting records, auditing processes, and financial reporting. The findings suggest that blockchain technology is unlikely to replace the DEA; instead, it provides an additional layer of verification that enhances the reliability of accounting records. Nevertheless, issues such as the lack of standardization, legal and regulatory challenges, and implementation costs remain significant barriers to the widespread adoption of TEA.

Keywords: Blockchain, triple-entry accounting, accounting recording systems, smart contracts, cryptocurrency.

1. GİRİŞ

Muhasebe, işletmelerde mali nitelikli işlemlere ilişkin bilgileri sistematik olarak kaydeden, sınıflandıran, raporlayan ve bilgi kullanıcılarına sunulmasını sağlayan bir bilgi sistemidir (Alewine, 2020). Araştırmacılar arasında muhasebenin bir bilim dalı mı yoksa bilgi sistemi mi olduğu konusunda farklı görüşler bulunmaktadır. Genel kabul muhasebenin işletmelerin finansal işlemlerini düzenli biçimde kayıt altına alan ve finansal tablolar aracılığıyla ilgili taraflara bilgi sunan bir bilgi sistemi olduğu yönündedir (Esmeray & Dağlı, 2017, s. 1; Kıllı & Işık, 2019, s. 1499). Muhasebenin temeli kaydetme işlevi ile ilişkilidir. Hatta bazı araştırmacılar, ticari işlemlerin kayıt altına alınması ihtiyacının yazının ortaya çıkışını hızlandırdığını ileri sürmektedir (Şeker & Şeker, 2019, s. 90). Bunun yanında muhasebe, yalnızca finansal kayıt tutma işleviyle sınırlı değildir. Etik, toplumsal ve yönetsel boyutları da içermektedir (Dabbicco vd., 2025; Narayan & Oru, 2024). Dijitalleşme ve teknolojik gelişmeler ise muhasebeyi sürekli gelişen bir bilgi sistemine dönüştürmekte ve karar alma süreçlerindeki önemini daha da artırmaktadır (Müller, 2020; Quinn & Murphy, 2025).

Muhasebe tarihinin en önemli dönüm noktalarından biri, 1494 yılında Luca Pacioli tarafından kaleme alınan “Summa de arithmetica, geometria, proportioni et Proportionalita” (kısaca Summa de arithmetica) adlı eser ve bu eserde sistematik hale getirilen DEA’dır. Yaklaşık altı yüzyıldır kullanılan bu sistem, her ekonomik işlemin en az iki hesapta eşit tutarlarla kaydedilmesi esasına dayanmaktadır (Sevilengül, 2020, s. 62). Sağladığı güvenilirlik ve düzen sayesinde finansal raporlamanın temelini oluşturan DEA, günümüzde de muhasebe uygulamalarının vazgeçilmez bir parçasıdır (Sangster & Scataglinibelghitar, 2010, s. 432). Ancak dijitalleşmenin hızlandığı, küresel ticaret hacminin arttığı ve işletmeler arası (Business-to-Business-B2B) ilişkilerin karmaşıklaştığı günümüzde bu sistemin bazı sınırlılıkları daha belirgin hale gelmiştir. Özellikle B2B işlemlerde her tarafın kayıtlarını kendi sisteminde bağımsız olarak tutması, kayıtların karşılıklı doğrulanmasının zaman alması ve hata ya da

kasıtlı manipülasyon risklerinin bulunması mevcut sistemin önemli zayıflıkları arasında gösterilmektedir. Son yıllarda yaşanan Wirecard, Luckin Coffee ve Steinhoff gibi muhasebe skandalları da mevcut muhasebe sistemlerinin finansal usulsüzlükleri önlemede her zaman yeterli olmadığını ortaya koymuştur (Thies vd., 2023). Bu gelişmeler, daha güvenilir ve doğrulanabilir muhasebe sistemlerine duyulan ihtiyacı artırmıştır.

Bu noktada blokzincir (Blockchain) teknolojisi, muhasebe alanında önemli bir dönüşüm öngörmektedir. Merkezi olmayan, dağıtık, şeffaf ve değiştirilemez yapısıyla blokzincir, muhasebe kayıtlarının güvenilirliğini artırabilecek yenilikçi bir teknoloji olarak öne çıkmaktadır. Bu teknolojinin muhasebeye uyarlanmasıyla birlikte TEA kavramı ortaya çıkmıştır. TEA, geleneksel DEA'yı blokzincir teknolojisiyle birleştiren yeni bir muhasebe yaklaşımıdır. Bu sistemde, işlem taraflarının kendi kayıtlarının yanı sıra, işlemin doğrulanmış bir kopyası ortak ve değiştirilemez bir blokzincir defterine kaydedilmektedir (Sarwar vd., 2026). Böylece işlemlerin şeffaflığı ve doğrulanabilirliği artarken, kayıtların değiştirilmesi veya manipüle edilmesi büyük ölçüde önlenmektedir. Aynı zamanda taraflar arasındaki güven güçlenmekte, muhasebe bilgilerinin kalitesi yükselmekte, denetim süreçleri kolaylaşmakta ve finansal raporlamanın güvenilirliği artmaktadır (Sestanj-Peric, 2025).

Literatürde TEA'ya ilişkin çalışmaların büyük ölçüde kavramsal ve teorik düzeyde olduğu, ampirik araştırmaların ise oldukça sınırlı kaldığı görülmektedir (Sarwar vd., 2026; Thies vd., 2023). Her ne kadar blokzincir tabanlı TEA henüz yaygın olarak uygulanmasa da muhasebe mesleğine sağlayabileceği katkılar akademik çevrelerde yoğun biçimde tartışılmaktadır. Özellikle sistematik literatür incelemeleri, bu alanda uygulamalı çalışmaların artırılması gerektiğini vurgulamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, blokzincir teknolojisinin muhasebe kayıt sistemleri üzerindeki etkisini değerlendirmek, DEA'dan TEA'ya geçiş sürecini incelemek ve bu yeni yaklaşımın muhasebe uygulamalarına sağlayabileceği katkıları ortaya koymaktır.

Bu çalışma literatüre bazı önemli katkılar sağlamayı amaçlamaktadır. İlk olarak, Türkiye adresli blokzincir çalışmalarının bibliyometrik profilini ortaya koyarak araştırma eğilimlerini ve mevcut boşlukları belirlemektedir. İkinci olarak, TEA literatürünü değerlendirerek teorik yaklaşımları ve ampirik bulguları sistematik biçimde sunmaktadır. Üçüncü olarak, blokzincir teknolojisinin muhasebe kayıt sistemlerinde oluşturduğu dönüşümü fırsatlar ve karşılaşılan zorluklar açısından ele alarak gelecekte yapılacak araştırmalara yol göstermektedir. Son olarak ise muhasebe meslek mensupları, akademisyenler ve politika yapıcılar açısından DEA'dan TEA'ya geçişin olası uygulama sonuçlarına ilişkin değerlendirmeler sunmaktadır.

2. METODOLOJİ

Bu araştırma, bibliyometrik analiz ve sistematik literatür incelemesini bir araya getiren iki aşamalı bir araştırma tasarımına sahiptir. İlk aşamada, Türkiye adresli blokzincir araştırmalarının bilimsel gelişimi bibliyometrik analiz yöntemiyle incelenmiştir. İkinci aşamada ise blokzincir teknolojisinin muhasebe alanındaki uygulamalarından biri olan TEA üzerine gerçekleştirilen çalışmalar sistematik olarak değerlendirilmiştir.

Araştırmanın veri kaynağını WoS Core Collection veri tabanı oluşturmaktadır. Veriler, 1 Temmuz 2026 tarihinde toplanmıştır. Veri toplama süreci aşamalı filtreleme yöntemiyle yürütülmüştür. İlk olarak Topic alanında "Blockchain" veya "Triple-Entry Accounting" anahtar kelimeleri kullanılarak yapılan taramada 64.811 yayına ulaşılmıştır. Veri setinin bilimsel niteliğini artırmak amacıyla doküman türü "Article" olarak sınırlandırılmış ve kayıt sayısı 38.298'e düşmüştür. Daha sonra yalnızca Science Citation Index Expanded (SCI-Expanded), Social Sciences Citation Index (SSCI) ve Emerging Sources Citation Index (ESCI) kapsamındaki dergiler seçilmiş ve veri seti 37.653 makaleye indirgenmiştir. Araştırmanın amacı doğrultusunda yalnızca Türkiye (Turkey/Türkiye) adresli yayınlar analize dâhil edilmiş ve bu filtre sonucunda 736 makaleye ulaşılmıştır. Veri temizleme sürecinde geri çekilmiş (Retracted Publication) olduğu belirlenen bir çalışma (DOI: 10.1007/s11063-021-10602-x) veri setinden çıkarılmış, böylece bibliyometrik analiz 735 makale üzerinden gerçekleştirilmiştir. Veri seçim süreci PRISMA 2020 akış şeması doğrultusunda yürütülmüş olup, ayrıntıları Ek 1'de sunulmuştur.

Araştırmanın ilk aşamasında elde edilen bibliyometrik veri seti kullanılarak Türkiye'deki blokzincir araştırmalarının yıllara göre yayın eğilimleri, atıf performansı, ortak yazarlık yapısı, kurumsal iş birlikleri ve anahtar kelime ağları analiz edilmiştir. Böylece alanın bilimsel gelişimi ve araştırma eğilimleri değerlendirilmiştir.

İkinci aşamada ise bibliyometrik veri setinde yer alan çalışmalar başlık, özet ve anahtar kelimeleri dikkate alınarak incelenmiş, yalnızca TEA konusunu doğrudan ele alan çalışmalar seçilmiştir. Uygunluk değerlendirmesi sonucunda 21 çalışma sistematik literatür incelemesine dâhil edilmiştir. Bu çalışmalar araştırma amaçları, yöntemleri, temel bulguları ve literatüre katkıları açısından karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Böylece, blokzincir literatürünün genel görünümü ile TEA araştırmalarının mevcut durumu birlikte değerlendirilerek kapsamlı bir çerçeve oluşturulmuştur.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

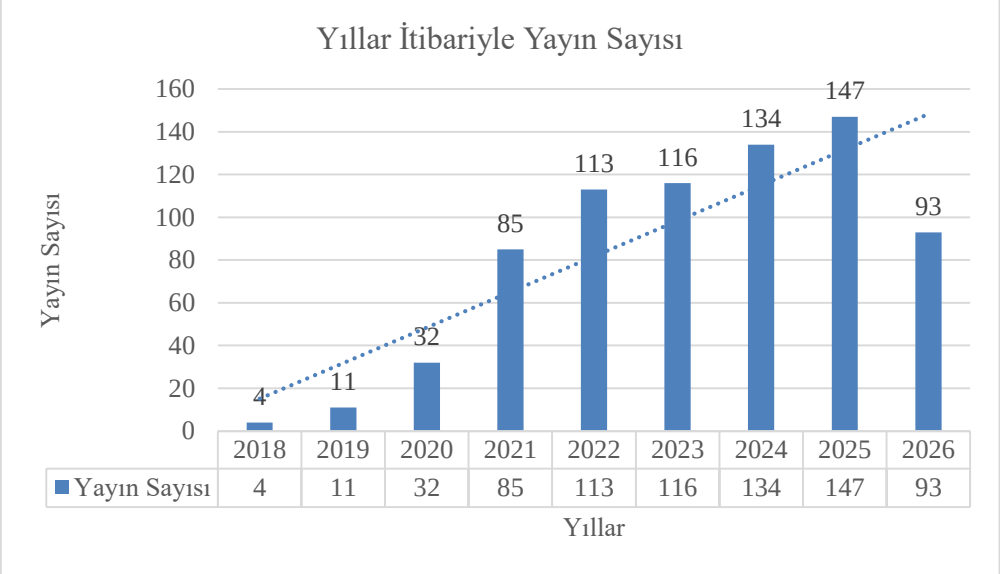
3.1. Yıllara Göre Yayın Dağılımı

Tablo 1 ve Şekil 1, Türkiye adresli blokzincir araştırmalarının yıllara göre gelişimini göstermektedir. Bulgular, 2018-2025 döneminde yayın sayılarının düzenli ve güçlü bir artış eğilimi sergilediğini ortaya koymaktadır. Özellikle 2021 yılından itibaren yayın üretimindeki ivmelenme dikkat çekicidir. 2025 yılında 147 yayın ile en yüksek üretkenlik düzeyine ulaşılmıştır. 2026 yılı verilerinin görece düşük olması, analizin yıl tamamlanmadan gerçekleştirilmiş olmasından kaynaklanmaktadır.

Tablo 1. Türkiye adresli blokzincir araştırmalarının yıllara göre dağılımı

Yıllar	Yayın Sayısı
2018	4
2019	11
2020	32
2021	85
2022	113
2023	116
2024	134
2025	147
2026	93

Kaynak: Yazarlar tarafından WoS Core Collection veritabanından elde edilen verilere dayanarak oluşturulmuştur.



Şekil 8. Türkiye adresli blokzincir araştırmalarının yıllara göre yayın eğilimi

3.2. Ortak Yazar Analizi

Ortak yazar analizi, araştırmacılar arasındaki ortak yayın ilişkilerini inceleyerek bilimsel iş birliği ağlarını ve alandaki önde gelen araştırmacıları belirlemeyi amaçlayan bibliyometrik bir analiz yöntemidir (van Eck & Waltman, 2023, s. 6). Tablo 2'ye göre, Erfan Babaee Tirkolaee

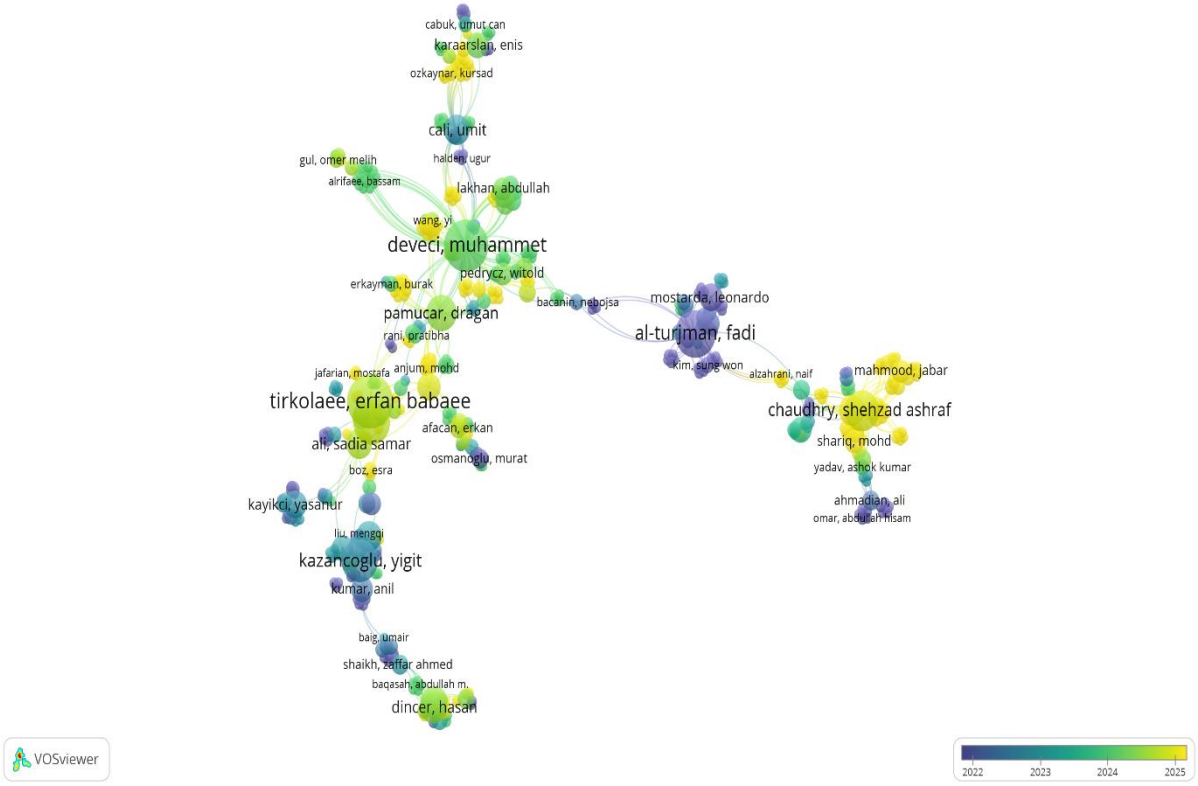
22 yayın ile en üretken araştırmacı olurken, onu Muhammet Deveci (21 yayın) ve Fadi Al-Turjman (17 yayın) izlemektedir. Atıf sayıları açısından ise Yiğit Kazançoğlu 1.159 atıf ile ilk sırada yer almakta, onu Fadi Al-Turjman, İsmail Erol ve Muhammet Deveci takip etmektedir. Bu durum, yayın sayısı ile akademik etki arasında her zaman doğrusal bir ilişki bulunmadığını göstermektedir. İş birliği yoğunluğunu gösteren toplam bağlantı gücü açısından en yüksek değere Muhammet Deveci (120) sahiptir. Bu bulgu, Deveci'nin ortak yazarlık ağında merkezi bir konumda bulunduğunu ve farklı araştırma grupları arasında önemli bir bağlantı noktası olduğunu göstermektedir.

Tablo 2. En üretken araştırmacılar ve ortak yazarlık göstergeleri

Sıra	Yazar	Belge Sayısı	Atıf Sayısı	Toplam Bağlantı Gücü
1	Erfan Babaee Tirkolaee	22	319	65
2	Muhammet Deveci	21	406	120
3	Fadi Al-Turjman	17	754	61
4	Ardavan Babaei	14	173	39
5	Yiğit Kazançoğlu	14	1159	55
6	Shehzad Ashraf Chaudhry	13	138	64
7	Engin Zeydan	13	59	53
8	İsmail Erol	12	591	46
9	Yekta Türk	12	59	48

Kaynak: Yazarlar tarafından WoS Core Collection veritabanından elde edilen verilere dayanarak oluşturulmuştur.

Şekil 2'de yer alan ortak yazarlık ağı incelendiğinde, araştırmacıların belirli kümeler hâlinde iş birliği yaptığı görülmektedir. Özellikle Muhammet Deveci, Erfan Babaee Tirkolaee, Yiğit Kazançoğlu, İsmail Erol ve Yekta Türk'ün yer aldığı küme ağın en güçlü yapısını oluşturmaktadır. Fadi Al-Turjman, Shehzad Ashraf Chaudhry ve Engin Zeydan'ın yer aldığı ikinci küme daha çok teknik ve bilişim odaklı çalışmaları temsil etmektedir.



Şekil 9. Ortak yazarlık ağı haritası

3.3. Anahtar Kelime Analizi

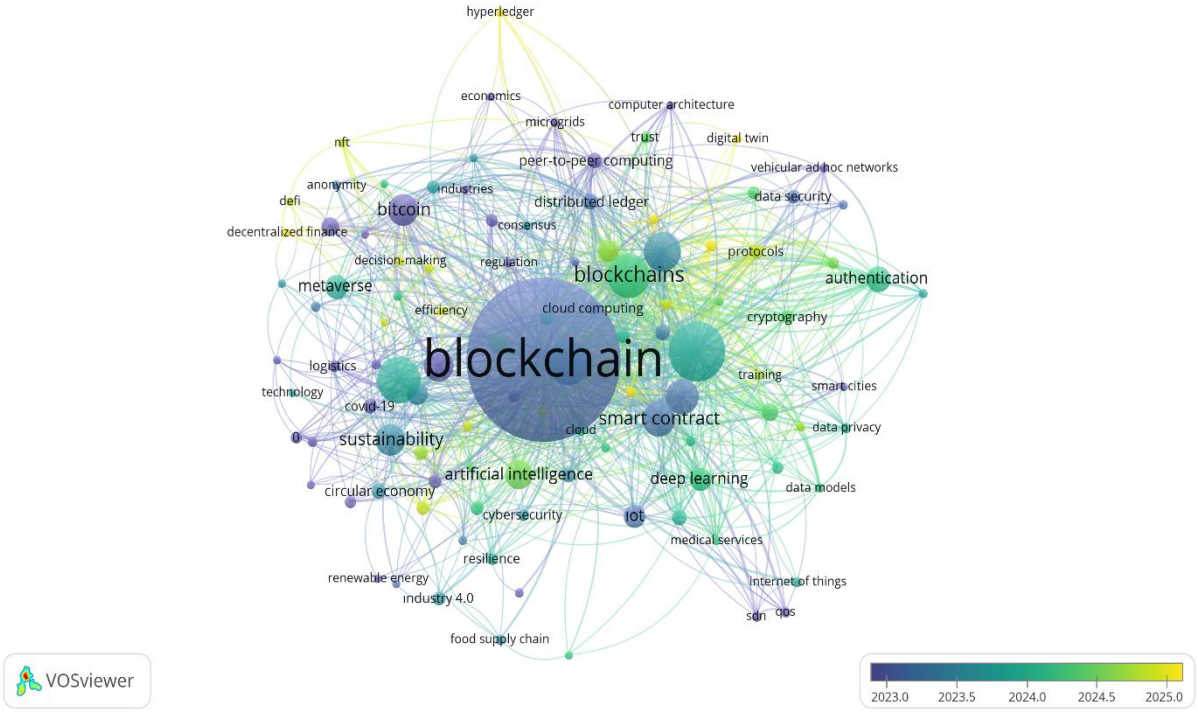
Tablo 3 incelendiğinde, en sık kullanılan anahtar kelimenin Blokzincir (Blockchain) (366 tekrar, 741 toplam bağlantı gücü) olduğu ve araştırma ağının merkezinde yer aldığı görülmektedir. Güvenlik (Security) ve Gizlilik (Privacy), blokzincir teknolojisinin temel araştırma temalarını oluştururken, Akıllı Sözleşmeler (Smart Contracts) ise Üçlü Kayıt Sisteminin önemli bileşenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca Nesnelerin İnterneti (Internet of Things-IoT), Bitcoin ve Kripto Para (Cryptocurrency) anahtar kelimeleri, blokzincir teknolojisinin muhasebe başta olmak üzere tedarik zinciri, sağlık ve diğer dijital uygulama alanlarında da yaygın olarak araştırıldığını göstermektedir.

Tablo 3. En sık kullanılan anahtar kelimeler ve bibliyometrik göstergeleri

Sıra	Anahtar Kelime	Tekrar Sayısı	Toplam Bağlantı Gücü
1	Blokzincir (Blockchain)	366	741
2	Güvenlik (Security)	84	334
3	Blokzincir Teknolojisi (Blockchain Technology)	58	66
4	Blokzincirler (Blockchains)	55	302
5	Akıllı Sözleşmeler (Smart Contracts)	54	152
6	Gizlilik / Mahremiyet (Privacy)	45	185
7	Akıllı Sözleşme (Smart Contract)	39	95
8	Nesnelerin İnterneti (Internet of Things)	39	125

9	Bitcoin (Bitcoin)	33	82
10	Kripto Para (Cryptocurrency)	33	67

Kaynak: Yazarlar tarafından WoS Core Collection veritabanından elde edilen verilere dayanarak oluşturulmuştur.



Şekil 10. Anahtar kelime analizi ağı haritası

Bulgular, blokzincir literatürünün ağırlıklı olarak güvenlik, gizlilik ve akıllı sözleşmeler konularına odaklandığını göstermektedir. Bu kavramlar, Üçlü Kayıt Sisteminin geliştirilmesinde ve muhasebe süreçlerinin dijital dönüşümünde önemli bir yere sahiptir.

3.4. Kurum Analizi

Tablo 4, blokzincir teknolojisi araştırmalarına en fazla katkı sağlayan kurumları göstermektedir. İstinye Üniversitesi 35 belge ile ilk sırada yer alırken, Yakın Doğu Üniversitesi ve Batı Hazar Üniversitesi 33'er belge ile ikinci sırayı paylaşmaktadır. Atıf sayısı bakımından Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi 976 atıf ile ilk sırada yer alırken, Yakın Doğu Üniversitesi 984 atıf ile ikinci, Nişantaşı Üniversitesi 729 atıf ile üçüncü sırada yer almaktadır. Toplam bağlantı gücü açısından İstinye Üniversitesi 132 puan ile en yüksek işbirliği ağına sahip kurumdur.

Tablo 4. En üretken kurumlar ve iş birliği göstergeleri

Sıra	Kurum	Belge Sayısı	Atıf Sayısı	Toplam Bağlantı Gücü
1	İstinye Üniversitesi	35	476	132
2	Yakın Doğu Üniversitesi	33	984	14
3	Batı Hazar Üniversitesi	33	311	76
4	Ulusal Savunma Üniversitesi	28	465	40
5	Boğaziçi Üniversitesi	27	457	15
6	Yuan Ze Üniversitesi	27	269	113
7	Ankara Üniversitesi	24	122	21
8	Nişantaşı Üniversitesi	21	729	19
9	Yıldız Teknik Üniversitesi	21	425	36
10	Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi	20	976	71

Kaynak: Yazarlar tarafından WoS Core Collection veritabanından elde edilen verilere dayanarak oluşturulmuştur.



Şekil 11. Kurum analizi ağı haritası

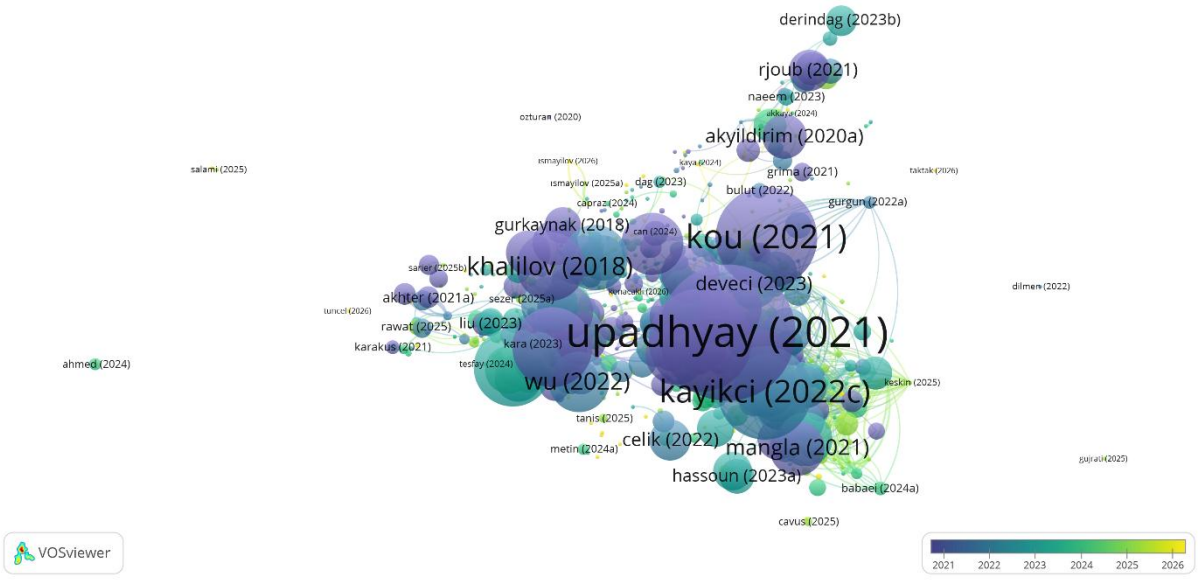
3.5. Metinlerin Bibliyografik Eşleşme Analizi

Tablo 5, çalışmaların atıf sayıları ve bibliyometrik ağ içerisindeki bağlantı sayılarını göstermektedir. Atıf sayısı yüksek olan bazı çalışmaların (Upadhyay, 2021; Kou, 2021; Dehghani, 2021) herhangi bir bağlantıya sahip olmaması, bu çalışmaların literatürde önemli bir etki yaratmakla birlikte, diğer çalışmalarla doğrudan entelektüel bağlantı kurma konusunda daha izole olduklarını düşündürmektedir. Buna karşılık, Kayikci (2022c) 6 bağlantı ile en fazla ilişkiye sahip çalışma olarak öne çıkmaktadır.

Tablo 5. En fazla atıf alan çalışmalar ve atıf göstergeleri

Sıra	Yazar(lar) ve Yıl	Atıf Sayısı	Bağlantı Sayısı
1	Upadhyay (2021)	451	0
2	Galanakis (2021)	304	1
3	Kou (2021)	297	0
4	Kayikci (2022c)	265	6
5	Dehghani (2021)	213	0
6	Heidari (2023b)	207	1
7	Khalilov (2018)	171	4
8	Han (2022)	160	2
9	Zeba (2021)	156	0
10	Kazancoglu (2022)	152	0

Kaynak: Yazarlar tarafından WoS Core Collection veritabanından elde edilen verilere dayanarak oluşturulmuştur.



Şekil 12. Metinlerin bibliyografik eşleşme ağ haritası

3.6. Tematik İnceleme

TEA literatürü incelendiğinde, çalışmaların yedi temel tema etrafında yoğunlaştığı görülmektedir. Bu temalar; sistemin kuramsal temelleri, blockchain entegrasyonu, işletmeler arası (B2B) uygulamalar, teknoloji kabulü, uygulama zorlukları, kamu yararı kuruluşlarındaki kullanım alanları ve geleceğe yönelik araştırma eğilimlerinden oluşmaktadır.

Literatürde TEA, yaklaşık altı yüzyıldır kullanılan DEA gelişmiş bir versiyonu olarak değerlendirilmektedir. Geleneksel sistemden farklı olarak işlemlerin blockchain üzerinde doğrulanması, kayıtların değiştirilemezliği, şeffaflık ve güvenilirlik gibi avantajlar sağlamaktadır. Araştırmalar, TEA'nın muhasebe bilgi kalitesini artırabileceğini ve gelecekte muhasebe uygulamalarını dönüştürme potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir (Cai, 2021; Inder, 2023; Sarwar vd., 2026; Sestanj-Peric, 2025).

En yoğun araştırılan konulardan biri TEA'nın blockchain teknolojisi ile bütünleşmesidir. Çalışmalar, blockchain'in TEA için güçlü bir altyapı sunduğunu ortaya koyarken, mevcut araştırmaların büyük bölümünün teorik düzeyde kaldığını ve gerçek uygulamaların oldukça sınırlı olduğunu göstermektedir. Bununla birlikte Hyperledger Fabric gibi platformlar üzerinden geliştirilen örnek uygulamalar, sistemin kurumsal finans ve işletme süreçlerinde uygulanabilirliğine ilişkin önemli bulgular sunmaktadır (Fikri vd., 2022; Kitsantas & Chytis, 2022; Sarwar vd., 2026; Thies vd., 2023).

Araştırmalar, özellikle B2B işlemlerde geleneksel muhasebe sistemlerinin güven ve doğrulama açısından bazı sınırlılıklar taşıdığını göstermektedir. Blockchain tabanlı TEA'nın ise işlemlerin doğrulanabilirliğini artırarak daha güvenilir ve şeffaf bir kayıt yapısı sağlayabileceği ifade edilmektedir. Bu kapsamda önerilen hibrit muhasebe modelleri, mevcut muhasebe sistemleri ile blockchain altyapısını birlikte kullanarak uygulama maliyetlerini azaltmayı ve güvenilirliği artırmayı amaçlamaktadır (Sarwar vd., 2023, 2024).

Literatürde blockchain tabanlı muhasebe sistemlerinin benimsenmesini etkileyen faktörler de önemli bir araştırma alanı oluşturmaktadır. Yapılan çalışmalar, performans beklentisi, kullanım kolaylığı, güven, algılanan fayda ve akıllı sözleşmeler gibi faktörlerin teknoloji kabulünü olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. Buna karşılık sistem karmaşıklığı ve uygulama maliyetleri benimsemeyi sınırlandıran temel unsurlar arasında yer almaktadır (Abu Afifa vd., 2022; Hoang vd., 2023; Malalla vd., 2025).

TEA'nın yaygınlaşmasının önündeki en önemli engeller; teknik altyapı eksikliği, mevcut muhasebe sistemleriyle entegrasyon güçlükleri, uygulama maliyetleri ve standart eksikliği olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca mevcut çalışmaların büyük bölümünün kavramsal düzeyde kalması, sistemin gerçek işletmelerde uygulanmasına yönelik ampirik kanıtların sınırlı olduğunu göstermektedir (Akter vd., 2024; Alsalmi vd., 2023; Thies vd., 2023).

Bazı araştırmalar, TEA'nın yalnızca ticari işletmeler için değil, kamu yararı kuruluşları ve sivil toplum örgütlerinde de hesap verebilirliği artırabilecek önemli bir araç olduğunu ortaya koymaktadır. Blockchain tabanlı kayıt yapısının daha şeffaf, güvenilir ve denetlenebilir raporlama sağlayabileceği belirtilmekle birlikte, teknolojinin dikkatli uygulanmaması durumunda aşırı raporlama yükü oluşturabileceği de vurgulanmaktadır (Kuruppu vd., 2022).

Literatür, TEA'nın blockchain, yapay zekâ ve diğer dijital teknolojilerle birlikte gelişeceğini öngörmektedir. Özellikle gerçek zamanlı muhasebe, sürekli denetim, akıllı sözleşmeler ve makine öğrenmesi destekli muhasebe sistemleri geleceğin temel araştırma alanları olarak değerlendirilmektedir. Bunun yanında enerji sektörü, dijital ödeme sistemleri ve gelişmiş

analitik uygulamalarında TEA'nın kullanımına yönelik çalışmalar giderek artmaktadır (Han vd., 2023; Maiti vd., 2021; Petratos & Faccia, 2021; Weinberg & Faccia, 2025).

4. Sonuçlar

Bu çalışma, blokzincir teknolojisinin muhasebe kayıt sistemleri üzerindeki etkisini, DEA'dan TEA'ya geçiş süreci kapsamında incelemiştir. Araştırma iki aşamada yürütülmüştür. İlk aşamada Türkiye adresli 735 blokzincir çalışması bibliyometrik analiz yöntemiyle değerlendirilmiş, ikinci aşamada ise TEA'yı doğrudan ele alan 21 çalışma sistematik olarak incelenmiştir.

Bibliyometrik analiz sonuçları, Türkiye'de blokzincir alanındaki akademik çalışmaların özellikle 2021 yılından itibaren hızla arttığını göstermektedir. Ayrıca alanda öne çıkan araştırmacılar, kurumlar ve temel araştırma konuları belirlenmiştir. Anahtar kelime analizi, blokzincir, güvenlik, akıllı sözleşmeler, gizlilik, Nesnelerin İnterneti (IoT), Bitcoin ve kripto para kavramlarının literatürde en fazla öne çıkan temalar olduğunu ortaya koymuştur.

Sistematik literatür incelemesi ise TEA çalışmalarının kuramsal temeller, blokzincir entegrasyonu, B2B, teknoloji kabulü, uygulama zorlukları, kamu yararı kuruluşlarındaki uygulamalar ve gelecekteki araştırma alanları olmak üzere yedi temel tema etrafında şekillendiğini göstermiştir. Mevcut çalışmalar, ağırlıklı olarak blokzincirin muhasebe kayıtlarının güvenilirliği, şeffaflığı, denetlenebilirliği ve finansal raporlama üzerindeki etkilerine odaklanmaktadır.

Araştırma bulguları, TEA'nın güçlü bir kuramsal altyapıya sahip olduğunu ve blokzincir teknolojisi sayesinde muhasebe süreçlerinin daha güvenilir, şeffaf ve doğrulanabilir hâle gelebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, elde edilen bulgular blokzincirin mevcut DEA'nın yerine geçmesinden ziyade onu destekleyen ve güvenilirliğini artıran tamamlayıcı bir teknoloji olduğunu ortaya koymaktadır. Ancak standartların henüz tam olarak oluşmamış olması, hukuki düzenlemelerdeki belirsizlikler, mevcut muhasebe sistemleriyle entegrasyon güçlükleri ve yüksek uygulama maliyetleri, TEA'nın yaygınlaşmasının önündeki en önemli engeller olarak görülmektedir.

Diğer taraftan, literatürde yer alan çalışmaların büyük çoğunluğunun kavramsal nitelikte olduğu, gerçek işletme uygulamalarına dayanan ampirik araştırmaların ise oldukça sınırlı kaldığı görülmektedir. Bu nedenle gelecekte farklı sektörlerde gerçekleştirilecek uygulama örnekleri (vaka çalışmaları), maliyet-fayda analizleri, muhasebe standartlarına yönelik düzenlemeler ve blokzincir tabanlı muhasebe sistemlerinin denetim süreçlerine etkisini inceleyen çalışmaların literatüre önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Ayrıca yapay

zekâ, makine öğrenmesi ve akıllı sözleşmeler gibi yeni teknolojilerin TEA ile değerlendirilmesi de muhasebenin dijital dönüşümünü anlamak açısından önemli araştırma fırsatları sunmaktadır.

Sonuç olarak bu çalışma, Türkiye'deki blokzincir araştırmalarının bibliyometrik görünümünü ortaya koyarken, TEA literatürünü de sistematik bir bakış açısıyla değerlendirmiştir. Elde edilen bulgular, blokzincir teknolojisinin muhasebe kayıt sistemlerinde önemli bir dönüşüm potansiyeline sahip olduğunu ancak bu dönüşümün başarılı olabilmesi için teknolojik gelişmelerin yanında standartlaşma, yasal düzenlemeler ve uygulama altyapısının da geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir.

KAYNAKÇA

Abu Afifa, M. M., Vo Van, H., & Le Hoang Van, T. (2022). Blockchain adoption in accounting by an extended UTAUT model: Empirical evidence from an emerging economy. *Journal of Financial Reporting and Accounting*, *21*(1), 5-44. https://doi.org/10.1108/JFRA-12-2021-0434

Akter, M., Kummer, T.-F., & Yigitbasioglu, O. (2024). Looking beyond the hype: The challenges of blockchain adoption in accounting. *International Journal of Accounting Information Systems*, *53*, 100681. https://doi.org/10.1016/j.accinf.2024.100681

Alewine, H. C. (2020). Space accounting. *Accounting, Auditing & Accountability Journal*, *33*(5), 991-1018. https://doi.org/10.1108/AAAJ-06-2019-4040

Alsalmi, N., Ullah, S., & Rafique, M. (2023). Accounting for digital currencies. *Research in International Business and Finance*, *64*, 101897. https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2023.101897

Cai, C. W. (2021). Triple-entry accounting with blockchain: How far have we come? *Accounting & Finance*, *61*(1), 71-93. https://doi.org/10.1111/acfi.12556

Dabbicco, G., Caruana, J., & Bisogno, M. (2025). The role of public sector accounting in the achievement of sustainable development goals: The case of Italy. *Meditari Accountancy Research*, *33*(7), 313-337. https://doi.org/10.1108/MEDAR-03-2024-2410

Esmeray, A., & Dağlı, Ö. B. (2017). Küçük ve Orta Ölçekli İşletmelerde (KOBİ) Muhasebe Bilgi Sistemi: Kayseri de Faaliyet Gösteren İşletmeler Üzerine Bir Araştırma - Accounting Information System in Small and Medium Enterprises: A Research on Enterprises in Kayseri. *Journal of Business Research - Turk*, *9*(4). https://doi.org/10.20491/isarder.2017.356

Fikri, N., Rida, M., Abghour, N., Moussaid, K., Omri, A. E., & Myara, M. (2022). A Blockchain Architecture for Trusted Sub-Ledger Operations and Financial Audit Using Decentralized Microservices. *IEEE Access*, *10*, 90873-90886. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3201885

Han, H., Shiwakoti, R. K., Jarvis, R., Mordi, C., & Botchie, D. (2023). Accounting and auditing with blockchain technology and artificial Intelligence: A literature review. *International Journal of Accounting Information Systems*, *48*, 100598. https://doi.org/10.1016/j.accinf.2022.100598

Hoang, H. T. T., Nguyen, L. H., & Dinh, D. T. (2023). Adoption of blockchain as an open accounting information system in Vietnam: A triple-entry accounting approach. *International Journal of Advanced and Applied Sciences*, *10*(9), 196-206. https://doi.org/10.21833/ijaas.2023.09.022

Inder, S. (2023). Triple Entry Accounting with Blockchain Technology. İçinde S. Grima, E. Thalassinos, G. G. Noja, T. V. Stamataopoulos, T. Vasiljeva, & T. Volkova (Ed.), *Digital Transformation, Strategic Resilience, Cyber Security and Risk Management* (C. 111B, s. 0). Emerald Publishing Limited. https://doi.org/10.1108/S1569-37592023000111B008

Kıllı, M., & Işık, Y. (2019). Muhasebe Eğitiminde Bilgi Teknolojilerinin Kullanımına Yönelik Öğrenci Görüşleri Üzerine Hatay ve Osmaniye İllerinde Bir Araştırma. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi*. https://doi.org/10.26466/opus.527360

Kitsantas, T., & Chytis, E. (2022). Blockchain Technology as an Ecosystem: Trends and Perspectives in Accounting and Management. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, *17*(3), 1143-1161. https://doi.org/10.3390/jtaer17030058

Kuruppu, S. C., Dissanayake, D., & de Villiers, C. (2022). How can NGO accountability practices be improved with technologies such as blockchain and triple-entry accounting? *Accounting, Auditing & Accountability Journal*, *35*(7), 1714-1742. https://doi.org/10.1108/AAAJ-10-2020-4972

Maiti, M., Kotliarov, I., & Lipatnikov, V. (2021). A future triple entry accounting framework using blockchain technology. *Blockchain: Research and Applications*, *2*(4), 100037. https://doi.org/10.1016/j.bcra.2021.100037

Malalla, M. T. E., Kukreja, G., & Sharma, R. B. (2025). The effect of blockchain technology on the accounting and assurance profession: Evidence from GCC. *Competitiveness Review*, *36*(2), 435-457. https://doi.org/10.1108/CR-12-2024-0258

Müller, V. (2020). Hedge Accounting and its Consequences on Portfolio Earnings – A Simulation Study. *Accounting in Europe*, *17*(2), 204-237. https://doi.org/10.1080/17449480.2020.1775267

Narayan, A. K., & Oru, M. (2024). Accounting as a social and moral practice: Bridging cultures, balancing Indigenous factors, and fostering social accountability. *Meditari Accountancy Research*, *32*(5), 1734-1757. https://doi.org/10.1108/MEDAR-06-2023-2044

Petratos, P., & Faccia, A. (2021). Securing Energy Networks: Blockchain and Accounting Systems. *2021 International Conference on Electrical, Computer and Energy Technologies (ICECET)*, 1-5. https://doi.org/10.1109/ICECET52533.2021.9698728

Quinn, M., & Murphy, B. (2025). Accounting history in a digital age: Empirical experiences, improving methods and unlocking new research avenues. *Accounting History*, *30*(1), 23-43. https://doi.org/10.1177/10323732231203011

Sangster, A., & Scataglinibelghitar, G. (2010). Luca Pacioli: The Father of Accounting Education. *Accounting Education*, *19*(4), 423-438.

Sarwar, M. I., Khan, I., Maghrabi, L. A., Jaffar, A., & Akram, S. (2024). Tripartite Accounting Framework: A Novel Blockchain-Based Model for Recording B2B Transactions. *IEEE Access*, *12*, 198097-198122. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3522093

Sarwar, M. I., Khan, I., Maghrabi, L. A., & Nisar, K. (2026). A Survey on Blockchain-Based Triple-Entry Accounting in B2B Context. *Journal of Information Systems*, *40*(1), 25-45. https://doi.org/10.2308/ISYS-2024-004

Sarwar, M. I., Nisar, K., Khan, I., & Shehzad, D. (2023). Blockchains and Triple-Entry Accounting for B2B Business Models. *Ledger*, *8*. https://doi.org/10.5195/ledger.2023.288

Sestanj-Peric, T. (2025). The Influence of Blockchain-based Triple-entry Accounting on Accounting Information -a Theoretical and Conceptual Perspective. *Proceedings of the Central European Conference on Information and Intelligent Systems*, 339-344.

Sevilengül, O. (2020). *Genel Muhasebe* (Gözden Geçirilmiş 19. Baskı). Gazi Kitabevi.

Şeker, S., & Şeker, F. (2019). Token'lardan Çivi Yazılı Kil Tabletlere: Yazının İcadında Muhasebenin İzleri. *Accounting and Financial History Research Journal*, (16), 86-110.

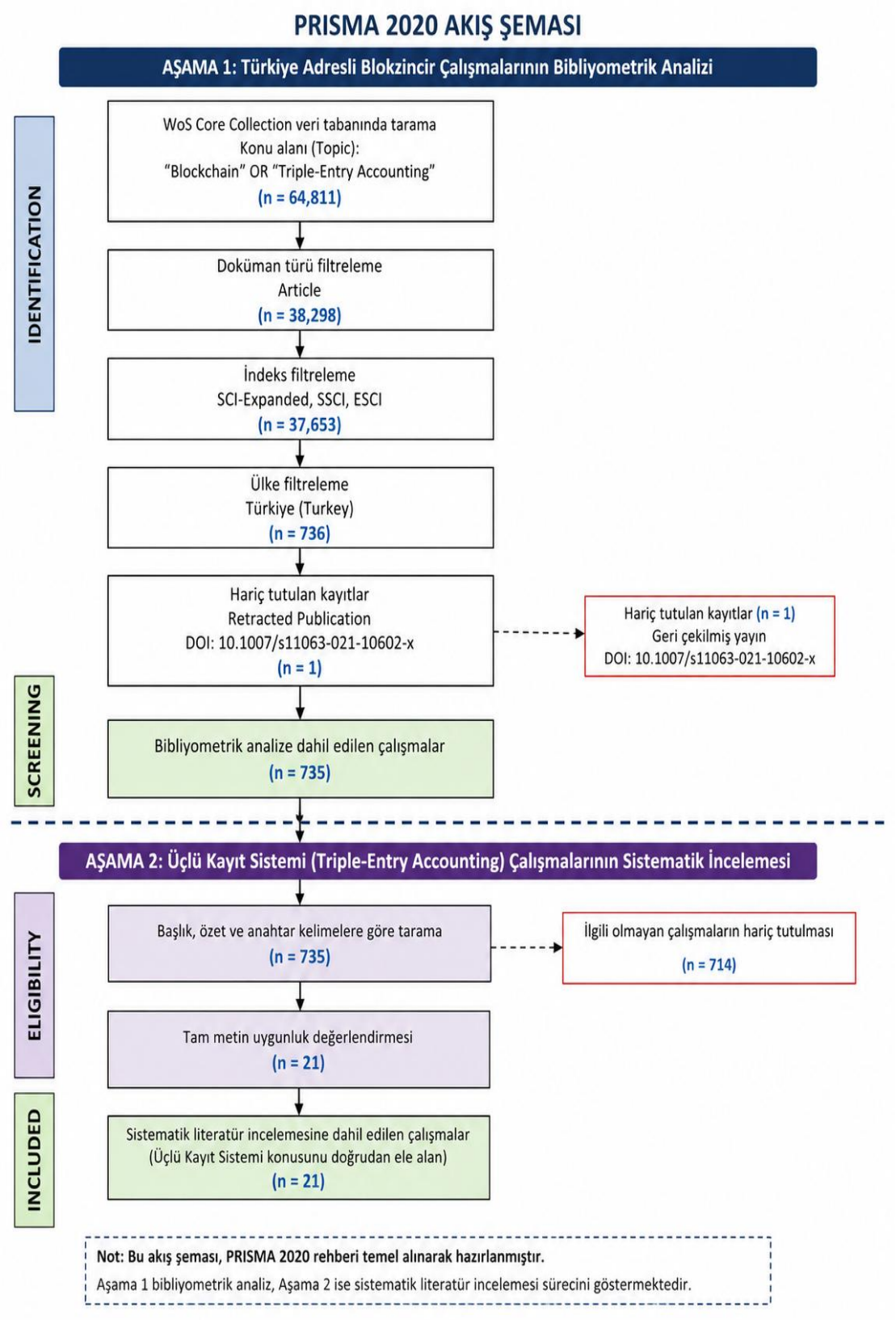
Thies, S., Kureljusic, M., Karger, E., & Krämer, T. (2023). Blockchain-Based Triple-Entry Accounting: A Systematic Literature Review and Future Research Agenda. *Journal of Information Systems*, *37*(3), 101-118. https://doi.org/10.2308/ISYS-2022-029

van Eck, N. J., & Waltman, L. (2023). *VOSviewer manual (Version 1.6.19). Centre for Science and Technology Studies (CWTS)* [Yazılım]. Leiden University.

Weinberg, A. I., & Faccia, A. (2025). Empowering Triple-Entry Accounting with Machine Learning and Blockchain: Unveiling Transparency Through Advanced Analytics. Içinde J. Osterrieder, I. F. Coita, & A. Dzurovski (Ed.), *Transparency in FinTech: Exploring Technological*

Advances, Regulation, and Societal Impact with Case Studies (ss. 59-85). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-032-03523-3_3

Ek 1. PRISMA 2020 Çalışma Seçim Süreci Akış Şeması



INFLUENCE OF ORGANIZATIONAL CULTURE ON EMPLOYEE JOB SATISFACTION IN PUBLIC INSTITUTIONS: A STUDY OF FEDERAL POLYTECHNIC, ILARO, NIGERIA

Stephen Oluwatosin KAZEEM
Department of Public Administration
Federal Polytechnic Ilaro,
Ogun State, Nigeria.

ABSTRACT

Organizational culture has been widely acknowledged as a critical determinant of employee attitudes and behaviors in the workplace. However, its specific influence on job satisfaction within public institutions in developing countries remains underexplored. This study examines the influence of organizational culture on employee job satisfaction in public institutions, using The Federal Polytechnic Ilaro, Nigeria, as a case study. The research specifically aimed to: investigate the impact of organizational culture on employee job satisfaction; identify the organizational cultural dimensions that most significantly influence satisfaction; and assess the relationship between organizational culture and employee job satisfaction. A cross-sectional survey research design was adopted, with data collected from 225 respondents using a structured questionnaire based on a 5-point Likert scale. The sample size was determined using Taro Yamane's formula from a population of 1,125 staff members. Descriptive statistics and chi-square tests were employed for data analysis. Findings revealed that organizational culture has a positive and significant impact on employee job satisfaction, with key cultural dimensions including leadership style, teamwork and collaboration, recognition and reward systems, and fairness in workplace practices being identified as critical factors. The study established a significant relationship between organizational culture and employee job satisfaction ($\chi^2 = 156.73$, $p < 0.05$). The study concludes that a well-defined and supportive organizational culture is essential for improving job satisfaction in public institutions. It recommends that public institutions should actively promote core organizational values, encourage transparent communication, foster inclusive work environments, implement recognition systems, and provide leadership development programs to enhance employee satisfaction and institutional performance.

Keywords: Organizational Culture, Employee Job Satisfaction, Public Institution, Nigeria, Higher Education

YEŞİL BİLİŞİM ARAŞTIRMALARINDA KÜRESEL İŞBİRLİĞİ AĞLARI: EKONOMİK KALKINMA VE İŞBİRLİĞİ ÖRGÜTÜ (OECD) ÜLKELERİ ÜZERİNE BİR İNCELEME

Kamil Kaan ÖZDEMİR
Muğla Sıtkı Koçman University, Fethiye Faculty of Business Administration, Department of Management Information Systems, 48300 Muğla, Turkiye
ORCID ID: 0009-0009-1785-1534
Doç.Dr. Muhammet DAMAR
Muğla Sıtkı Koçman University, Fethiye Faculty of Business Administration, Department of Management Information Systems, 48300 Muğla, Turkiye
ORCID ID: 0000-0002-3985-3073

ÖZET

Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (OECD), küresel ekonominin ve politika geliştirme süreçlerinin merkezinde yer alan, Türkiye'nin de kurucu üyeleri arasında bulunduğu 38 üyeli uluslararası bir organizasyondur. OECD ülkeleri, dünya Gayrisafi Yurt İçi Hasılanın (GSYİH) ve küresel ticaretin çok büyük bir bölümünü oluşturdukları için genellikle "gelişmiş ülkeler kulübü" olarak ifade edilmektedir. Bunun yanında ülke listesi incelendiğinde OECD ülkelerinin küresel politikalara ve ekonomiye yön veren öncü ülkelerden oluştuğu görülebilir. Küresel ısınma, çevresel sorunlar son yıllarda tüm dünya ülkelerini derinden etkilemiştir. Yükselen yapay zeka teknolojileri ve sunuculara duyulan ihtiyaçlar ise yeşil bilişim kavramının önemini son yıllarda hayatımıza daha yoğun sokmuştur. Yeşil bilişim, bilişim teknolojilerinin tasarımı, üretimi, kullanımı ve geri dönüşümü süreçlerinin çevreye en az zarar verecek ve enerji verimliliğini en üst düzeye çıkaracak şekilde optimize edilmesi olarak ifade edilebilir. Çalışmamız tam da bu amaçla Web of Science (WoS) bibliyometrik veri kaynağından 05/07/2026 tarihinde yeşil bilişim ve türev sözcükleri ile 2015 sonrasındaki araştırma makalelerini bibliyometrik yöntemler ve metin madenciliği yöntemleri ile analiz etmektedir. Bu noktada elde edilen araştırma makaleleri incelendiğinde yapay zeka teknolojilerinin de getirdiği şartlar ile birlikte büyük sunucu ihtiyaçlarının doğduğu ve bu durumun yeşil bilişim kavramına yıllar içinde ilgiyi artırdığı görülmüştür. Türkiye'nin küresel literatürün biraz gerisinde kaldığı görülmüştür. Çalışmamız OECD ülkelerinin veriye, sistemli bir işbirliğine ve ortak bir altyapıya dayalı misyonuna da uyumlu olduğu görülebilir. OECD ülkeleri dışında yeşil bilişim konusunda Çin'in literatüre önemli noktada katkı veren bir diğer ülke olduğu görülmüştür.

Anahtar kelimeler: Ekonomik Kalkınma ve İşbirliği Örgütü, Yeşil Bilişim, Bilgi Teknolojileri Yönetimi, Bilimsel Üretkenlik Analizi, İçerik Analizi, Küresel İşbirliği.

GLOBAL COLLABORATION NETWORKS IN GREEN COMPUTING RESEARCH: A REVIEW OF ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD) COUNTRIES

ABSTRACT

The Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) is a 38-member international organization, of which Türkiye is a founding member, and which plays a central role in the global economy and policy-making processes. OECD countries are often referred to as the "club of developed countries" because they account for a very large portion of the world's Gross Domestic Product (GDP) and global trade. Furthermore, an examination of the country list reveals that OECD countries are among the leading nations shaping global policies and the economy. Global warming and environmental problems have profoundly affected all countries in the world in recent years. The rising need for artificial intelligence technologies and servers has brought the concept of green computing more into our lives in recent years. Green computing can be defined as the optimization of the design, production, use, and recycling processes of information technologies in a way that minimizes environmental damage and maximizes energy efficiency. Our study analyzes research articles from 2015 onwards, using bibliometric methods and text mining techniques, from the Web of Science (WoS) bibliometric data source, specifically targeting the keywords "green computing" and its derivatives as of July 5, 2026. An examination of the resulting research articles reveals that the demands of artificial intelligence technologies have led to increased server requirements, and this has boosted interest in green computing over the years. Turkey appears to lag somewhat behind the global literature. Our study is consistent with the OECD countries' mission of relying on data, systematic collaboration, and a shared infrastructure. Outside of OECD countries, China is another country making significant contributions to the literature on green computing.

Keywords: Organization for Economic Cooperation and Development, Green Computing, Information Technology Management, Scientific Productivity Analysis, Content Analysis, Global Cooperation.

1. GİRİŞ

Çevresel bozulma ve enerji güvenliği, dünya genelinde yenilenebilir enerjinin geliştirilmesine daha fazla önem verilmesine yol açmaktadır (**Chu, 2023**). Çevresel baskılar ve ekolojik dengenin korunması ihtiyacı nedeniyle sürdürülebilir kalkınma günümüzün en kritik küresel sorunlarından biri haline gelmiştir (**Demirtas vd., 2026**). Çevresel sürdürülebilirlik, doğal kaynakları koruma ve küresel ekosistemleri sağlık ve refahı destekleyecek şekilde

koruma sorumluluğudur, hem şimdi hem de gelecekte. Bu nedenle, enerji geçişleri, çevre ve sürdürülebilir kalkınma arasındaki bağlantının altını çizmek önemlidir **(Khan vd., 2022).**

Küresel ısınma, dünya genelindeki ülkeler için büyük bir endişe kaynağı haline gelmiştir. Bu bağlamda, gelişmiş ülkeler sürdürülebilir kalkınmayı sağlamak için küresel emisyonları azaltmaya karar vermişlerdir. OECD ülkelerinin enerji karışımı %80 oranında fosil yakıtlardan oluşmakta ve dünya çapındaki karbon emisyonlarının yaklaşık %35'ini oluşturmaktadır (**Hou vd., 2023**). Son zamanlarda, karbondioksit (CO2) emisyonları konusu, politika yapıcılar, çevre bilimciler, ulusal ve uluslararası kuruluşlar arasında önemli bir ilgi çekmiştir ve OECD ülkeleri karbon emisyonlarının çoğundan sorumludur (**Paramati vd., 2021**). Tüm ülkeler için özellikle de OECD ülkelerinin başı çektiği ülkeler sürdürülebilir teknolojik gelişmelere önem vermeye başlamışlardır. Ekonomik ve yenilikçi etkenlerle desteklenen yeşil enerjiye öncelik vermenin, daha geniş sürdürülebilir kalkınma hedeflerine ulaşmak için çok önemlidir (**Zhao & Shah, 2024**). Bu noktada sürdürülebilir teknolojiler ön plana çıkmaktadır. Yeşil teknoloji, enerji verimliliğini artırmak ve çevre üzerindeki olumsuz etkileri azaltmak için enerji üretiminde ve tüketiminde kullanılan teknolojileri ifade etmektedir (**Paramati vd., 2021**). Birçok ülke, büyüme sürecinin çevresel etkilerini dikkate almadan gayrı safi milli hasılayı artırmaya odaklanmaktadır(**Taşkın vd., 2020**).

Bilgi ve iletişim teknolojilerindeki baş döndürücü gelişmeler, sadece kendi sektörünü değil tüm sektörleri şekillendirmekte, her geçen gün yeni yeni yaklaşımların oluşmasına neden olmaktadır (**Damar, 2022c**). Yeşil bilgi işlem veya yeşil bilişim teknolojisi de bunlardan birisidir (**Göksen vd., 2016; Damar, & Gökşen, 2018**). İklim değişikliğinin çözümünde en önemli araçlardan biri bilgi ve iletişim teknolojileridir ve bu teknolojiler, insanlığın doğa üzerindeki yıkıcı etkisini azaltmada ve verimlilik artışı potansiyeli taşımada önemli bir araçtır. Bilgi işlem ortamının çevreyle etkileşimi hem olumlu hem de olumsuz etkiler içermektedir (**Damar, & Gökşen, 2018**). Yeşil bilişim, bilişim teknolojilerinin çevreye duyarlı tasarımını, üretimini ve dağıtımını ifade ettiği gibi; kullanım ömrü tamamlandıktan sonra, cihazların doğaya zarar vermeden dönüştürülmesi anlamına gelmektedir (**Gökşen vd., 2016**).

Karbon ayak izinin çevresel etkisini azaltmak için yeşil teknolojilerin kullanımı konusunda birçok tartışma yaşanmıştır (**Wang vd., 2023**). Teoride yenilenebilir enerjinin çok boyutlu pozitif dışsallıkları olmasına rağmen, yenilebilir enerjinin ekonomik ve çevresel belirleyicileri üzerine literatür hala çok yenidir (**Hossain vd., 2024**). Çevreyle ilgili teknolojiler ve yenilenebilir enerji son dönem çevre literatürü, teknolojik gelişmelerin ve yenilenebilir enerjinin çevreyi korumadaki önemli rollerini tartışsa da çevre teknolojilerinin yenilenebilir

enerji üzerindeki etkisine ilişkin literatür oldukça sınırlı kaldığı ifade edilmiştir (**Chu, 2023**). Bu noktada son yıllarda yeşil bilişim kavramı literatürde oldukça öne çıkmaktadır. Türkçe literatür incelendiğinde, elektronik atık ve elektronik atık yönetimi: Türkiye'de mevcut durum ve öneriler **(Damar, 2022a**), yeşil bilişim: bir kamu kurumu örneği ve politika önerileri (**Gökşen vd., 2016**), yeşil bilişim yaklaşımlarıyla kullanıcı ve kurum odaklı enerji yönetim sistemi (**Damar & Gökşen, 2018**), yeşil bilişim yaklaşımıyla bilgisayar kullanım oranını (**Damar, 2016**), Turizm sektöründe yeşil bilişim uygulamaları (**Akın, 2022**), işletmelerin yeşil bilişim stratejilerinin AHP yöntemi ile değerlendirilmesi (**Fidanboy, 2022**), bilişim sektörünün gelişimi içinde güncel teknolojiler arasında değerlendirilmesi gibi (**Damar, 2022b**), pek çok araştırma yapılmıştır. Fakat literatürde OECD ülkeleri ve Türkiye özelinde yeşil bilişim konusunda güncel literatürü ve ülkelerin bilimsel üretkenliğini ortaya koyan ve bunu araştırma konuları özelinde ifade eden bir araştırmaya rastlanmamıştır. Araştırmamız bu boşluğu gidermek amacıyla gerçekleştirilmiştir.

2. METODOLOJİ

Çalışmamız, Web of Science (WoS) bibliyometrik veri kaynağında yer alan 2015 sonrası üretilen yeşil bilişim konulu OECD ülkeleri adresli araştırmaları analiz etmektedir. Elde edilen veriler, 5 Temmuz 2026 tarihinde WoS üzerinden elde edilmiştir. Bu çalışma için seçilen veri seti, "Green computing" or "Green IT" or "Green Information Technology" or "Green IS" or "Green Information Systems" or "Sustainable computing" or "Sustainable IT" or "Sustainable Information Systems" kullanılarak WoS veri tabanlarında 2015 yılından itibaren yayınlanan araştırma makalelerinden oluşmaktadır (Tablo 1). Analizler için R Bibliometrix ve VoSViewer programları kullanılmıştır. Veri seti, makale başlıkları taranarak seçilmiş olup, bu sayede yeşil bilişim ile doğrudan ilgili daha hedefli bir makale koleksiyonuna erişim sağlanmıştır. Analiz sürecinde, yayın dağılımı yıllara göre, en çok alıntı yapılan öncü makaleler, üretken yazarlar ve kurumlar arası iş birliği ağları incelenmiştir.

Tablo 1. Yeşil Bilişim Konusunda Araştırma Sürecinde Kullanılan Arama Sözcükleri

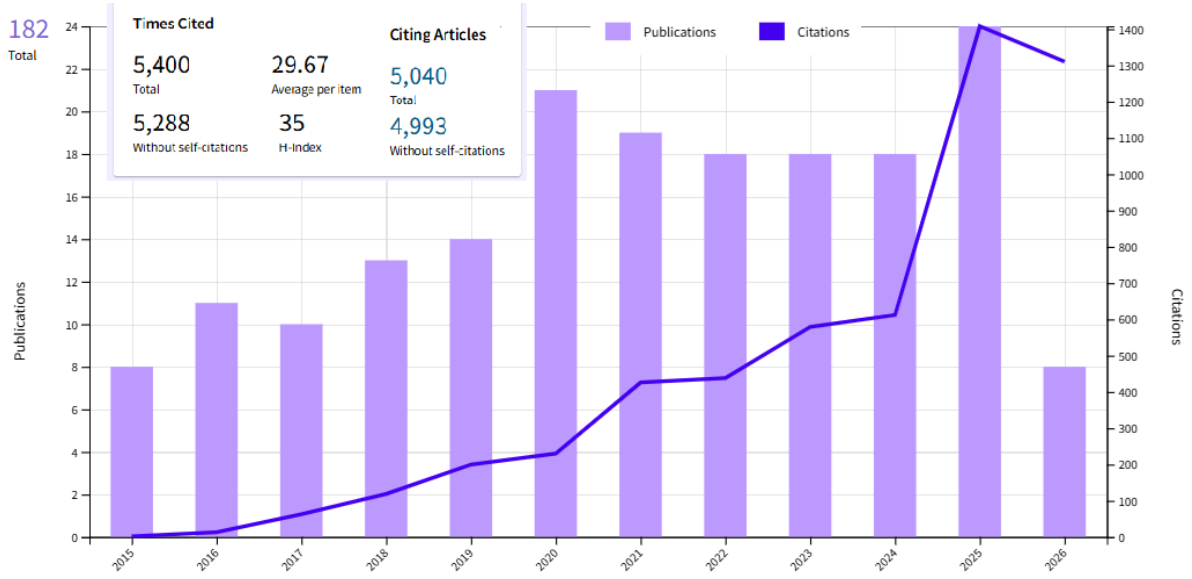
Arama Sözcüğü	**N**
ti =("Green computing" or "Green IT" or "Green Information Technology" or "Green IS" or "Green Information Systems" or "Sustainable computing" or "Sustainable IT" or "Sustainable Information Systems")	1,259
cu=("AUSTRALIA" or "AUSTRIA" or "BELGIUM" or "CANADA" or "CHILE" or "COLOMBIA" or "COSTA RICA" or "CZECH REPUBLIC" or "DENMARK" or "ESTONIA" or "FINLAND" or "FRANCE" or "GERMANY" or "GREECE" or "HUNGARY" or "ICELAND" or "IRELAND" or "ISRAEL" or "ITALY" or "JAPAN" or "KOREA" or "LATVIA" or "LITHUANIA" or "LUXEMBOURG" or "MEXICO" or "NETHERLANDS" or "NEW ZEALAND" or "NORWAY" or "POLAND" or "PORTUGAL" or "SLOVAK REPUBLIC" or "SLOVENIA" or "SPAIN" or "SWEDEN" or "SWITZERLAND" or "TÜRKIYE" or "TURKEY" or "UNITED KINGDOM" or "UNITED STATES" or "ENGLAND" or "SCOTLAND" or "WALES" or "NORTHERN IRELAND") and ti =("Green computing" or "Green IT" or "Green Information Technology" or "Green IS" or "Green Information Systems" or "Sustainable computing" or "Sustainable IT" or "Sustainable Information Systems")	511
cu=("AUSTRALIA" or "AUSTRIA" or "BELGIUM" or "CANADA" or "CHILE" or "COLOMBIA" or "COSTA RICA" or "CZECH REPUBLIC" or "DENMARK" or "ESTONIA" or "FINLAND" or "FRANCE" or "GERMANY" or "GREECE" or "HUNGARY" or "ICELAND" or "IRELAND" or "ISRAEL" or "ITALY" or "JAPAN" or "KOREA" or "LATVIA" or "LITHUANIA" or "LUXEMBOURG" or "MEXICO" or "NETHERLANDS" or "NEW ZEALAND" or "NORWAY" or "POLAND" or "PORTUGAL" or "SLOVAK REPUBLIC" or "SLOVENIA" or "SPAIN" or "SWEDEN" or "SWITZERLAND" or "TÜRKIYE" or "TURKEY" or "UNITED KINGDOM" or "UNITED STATES" or "ENGLAND" or "SCOTLAND" or "WALES" or "NORTHERN IRELAND") and ti =("Green computing" or "Green IT" or "Green Information Technology" or "Green IS" or "Green Information Systems" or "Sustainable computing" or "Sustainable IT" or "Sustainable Information Systems") and Proceeding Paper or Editorial Material or Book Chapters or Review Article or Early Access or Letter or Meeting Abstract or Book Review or Correction (Exclude – Document Types)	261
cu=("AUSTRALIA" or "AUSTRIA" or "BELGIUM" or "CANADA" or "CHILE" or "COLOMBIA" or "COSTA RICA" or "CZECH REPUBLIC" or "DENMARK" or "ESTONIA" or "FINLAND" or "FRANCE" or "GERMANY" or "GREECE" or "HUNGARY" or "ICELAND" or "IRELAND" or "ISRAEL" or "ITALY" or "JAPAN" or "KOREA" or "LATVIA" or "LITHUANIA" or "LUXEMBOURG" or "MEXICO" or "NETHERLANDS" or "NEW ZEALAND" or "NORWAY" or "POLAND" or "PORTUGAL" or "SLOVAK REPUBLIC" or "SLOVENIA" or "SPAIN" or "SWEDEN" or "SWITZERLAND" or "TÜRKIYE" or "TURKEY" or "UNITED KINGDOM" or "UNITED STATES" or "ENGLAND" or "SCOTLAND" or "WALES" or "NORTHERN IRELAND") and ti =("Green computing" or "Green IT" or "Green Information Technology" or "Green IS" or "Green Information Systems" or "Sustainable computing" or "Sustainable IT" or "Sustainable Information Systems") and Proceeding Paper or Editorial Material or Book Chapters or Review Article or Early Access or Letter or Meeting Abstract or Book Review or Correction (Exclude – Document Types) and 2026 or 2025 or 2024 or 2023 or 2022 or 2021 or 2020 or 2019 or 2018 or 2017 or 2016 or 2015 (Publication Years)	185

3. BULGULAR

Belirtilen arama anahtar kelimeleri ile araştırma makaleleri üzerinden gerçekleştirilen taramada 1259 makale elde edilmiştir. OECD ülkeleri filtrelendiğinde ise 511 dokümana erişilmiştir. Bu dokümanların sadece 261 tanesi OECD adresli araştırma makaleleridir ve 2015 sonrası sadece 185 araştırma makalesine erişilmiştir. Aşağıda Tablo 2 üzerinde de görüleceği

üzere OECD ülkelerinin hepsinde yeşil bilişim kavramına dönük homojen bir araştırma dağılımı olmamak ile birlikte bazı ülkelerde ilgili konu oldukça zayıf kalmıştır.

Şekil 1. OECD Ülkelerinin Yeşil Bilişim Konulu Araştırmalarının Yıllara Göre Dağılımı



Tablo 2. Yeşil Bilişim Konusundaki OECD Ülke Adresli Yayınlarda Bilimsel Üretkenlik

#	Ülkeler	N	%	#	Ülkeler	N	%
1	İngiltere	31	17.03	26	Türkiye	5	2.74
2	Hindistan	23	12.63	27	İran	4	2.19
3	İtalya	23	12.63	28	Slovenya	4	2.19
4	İspanya	23	12.63	29	İsviçre	4	2.19
5	Almanya	20	10.98	30	Tayvan	4	2.19
6	Güney Kore	20	10.98	31	Kolombiya	3	1.64
7	Avustralya	16	8.79	32	Polonya	3	1.64
8	Çin Halkları Cumhuriyeti	15	8.24	33	Arjantin	2	1.09
9	ABD	13	7.14	34	Belçika	2	1.09
10	Fransa	12	6.59	35	Estonya	2	1.09
11	Suudi Arabistan	10	5.49	36	Ürdün	2	1.09
12	Kanada	7	3.84	37	Lübnan	2	1.09
13	Japonya	7	3.84	38	Meksika	2	1.09
14	Norveç	7	3.84	39	Nijerya	2	1.09
15	İsveç	7	3.84	40	Rusya	2	1.09
16	Finlandiya	6	3.29	41	Güney Afrika	2	1.09
17	Malezya	6	3.29	42	Afganistan	1	0.54
18	Hollanda	6	3.29	43	Cezayir	1	0.54
19	Pakistan	6	3.29	44	Brunei	1	0.54
20	Türkiye	6	3.29	45	Şili	1	0.54
21	Avusturya	5	2.74	46	Çekya	1	0.54
22	Danimarka	5	2.74	47	Ekvador	1	0.54
23	İrlanda	5	2.74	48	Mısır	1	0.54
24	Portekiz	5	2.74	49	Gana	1	0.54
25	İskoçya	5	2.74	50	Yunanistan	1	0.54

Tablo 3, yeşil bilişim alanında dünya çapındaki akademik odak noktalarını ve iş birliklerini anlamak açısından oldukça kıymetlidir.

Tablo 3. OECD Ülkeleri Adresli Yeşil Bilişim Konulu Makalelerde En Üretken Kurumlar

#	Üniversiteler	Ülkeler	N	%
1	Castilla La Mancha Üniversitesi	İspanya	9	4.94
2	Aqclab Yazılım Kalite Laboratuvarı	İspanya	6	3.29
3	Nottingham Trent Üniversitesi	Birleşik Krallık	6	3.29
4	Jawaharlal Nehru Üniversitesi Yeni Delhi	Hindistan	5	2.74
5	Manchester Metropolitan Üniversitesi	Birleşik Krallık	5	2.74
6	Northumbria Üniversitesi	Birleşik Krallık	5	2.74
7	Bari Aldo Moro Üniversitesi	İtalya	5	2.74
8	Kral Abdulaziz Üniversitesi	Suudi Arabistan	4	2.19
9	Seul Ulusal Bilim Ve Teknoloji Üniversitesi	Güney Kore	4	2.19
10	Londra Üniversitesi	Birleşik Krallık	4	2.19
11	Manchester Üniversitesi	Birleşik Krallık	4	2.19
12	Yeni Güney Galler Üniversitesi Sydney	Avustralya	4	2.19
13	İslami Azad Üniversitesi	İran	3	1.64
14	Max Planck Derneği	Almanya	3	1.64
15	Ulusal Teknoloji Enstitüsü Nıt Sistemi	Hindistan	3	1.64

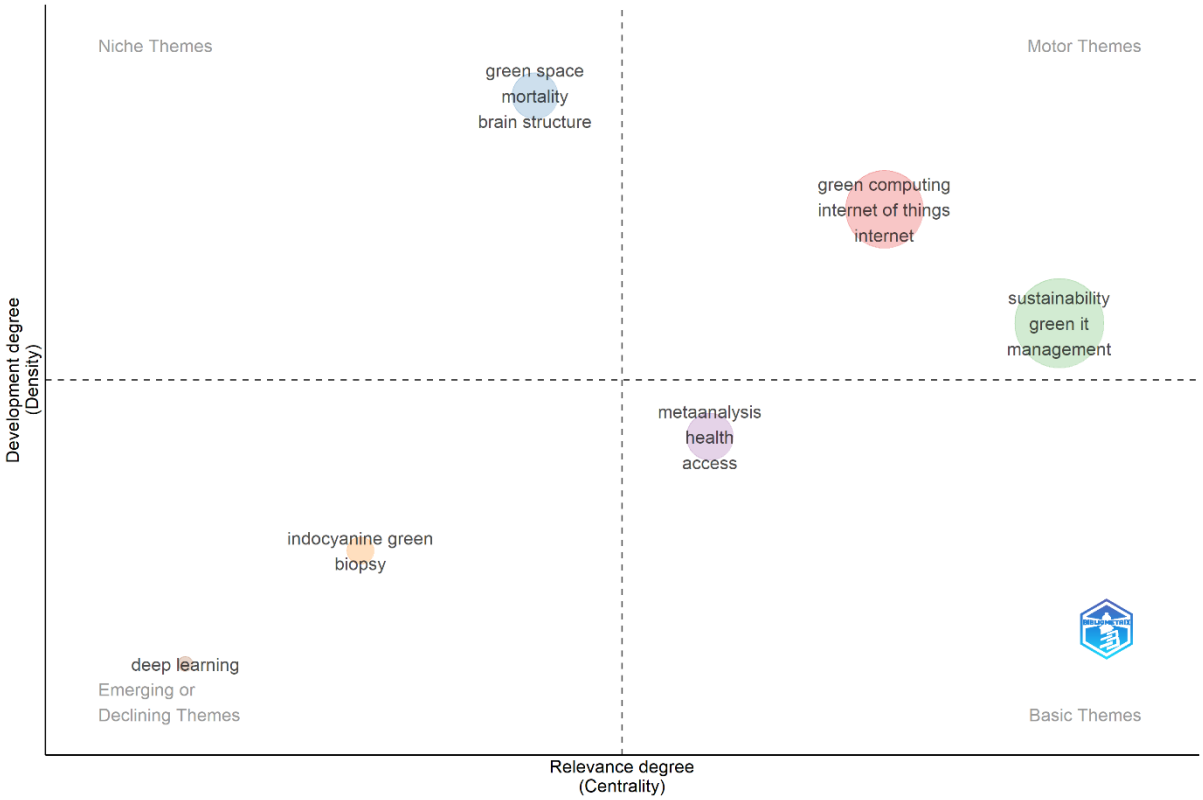
Tablo 4'e bakıldığında teknik alanların (Bilgisayar Bilimleri, Mühendislik) ve doğrudan ilgili Çevre Bilimlerinin ilk üçte yer alması beklenen bir durumdur. Ancak asıl dikkat çekici olan, konunun donanım ve altyapı meselesi olmaktan çıkıp stratejik bir kurum kültürü hedefine dönüştüğünü gösteren İşletme Ekonomisi alanının %15.38 ile beşinci sıraya yerleşmesidir. Yönetim bilişim sistemleri gibi alanlardaki bu güçlü literatür artışı, yeşil bilişimin artık sadece mühendisleri değil, dijital dönüşüm liderlerini ve yöneticileri de doğrudan ilgilendirdiğini kanıtlıyor. Psikoloji ve Kent Çalışmaları gibi alanların listeye girmesi ise konunun insan davranışı ve akıllı şehir uygulamaları bağlamında disiplinlerarası bir yapıya büründüğünü gösteriyor.

Tablo 4. OECD Ülkelerinin Yeşil Bilişim Makalelerinin İlişkili Olduğu Araştırma Alanları

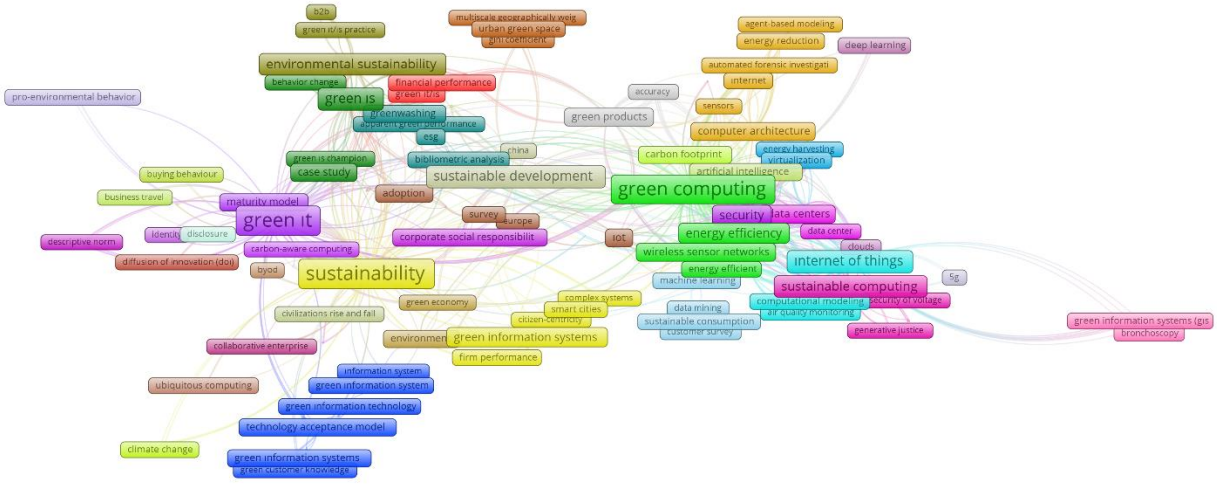
#	Araştırma Alanı	N	%	#	Araştırma Alanı	N	%
1	Bilgisayar Bilimleri	58	31.86	13	Kalkınma Çalışmaları	3	1.64
2	Mühendislik	38	20.87	14	Coğrafya	3	1.64
3	Çevre Bilimleri Ekoloji	36	19.78	15	Cerrahi	3	1.64
4	Fen Bilimleri Teknoloji Diğer Konular	32	17.58	16	Ulaşım	3	1.64
5	İşletme Ekonomisi	28	15.38	17	Anesteziyoloji	2	1.09
6	Telekomünikasyon	23	12.63	18	Kimya	2	1.09
7	Bilişim Bilimleri Kütüphane Bilimi	10	5.49	19	İnşaat Yapı Teknolojisi	2	1.09
8	Psikoloji	7	3.84	20	Eğitim Eğitim Araştırmaları	2	1.09
9	Enerji Yakıtları	6	3.29	21	Genel İç Hastalıkları	2	1.09
10	Sosyal Bilimler Diğer Konular	6	3.29	22	Devlet Hukuku	2	1.09
11	Kent Çalışmaları	6	3.29	23	Tarih	2	1.09
12	Kamu Yönetimi	5	2.74	24	Aletler Enstrümantasyon	2	1.09

Araştırmada öne çıkan anahtar kelimeler ve konu analizleri Şekil 2 ve Şekil 3'de gösterilmiştir.

Şekil 2. Anahtar Kelimelere Dayalı OECD Ülkelerinin Yeşil Bilişim Araştırmalarının Tematik Haritası



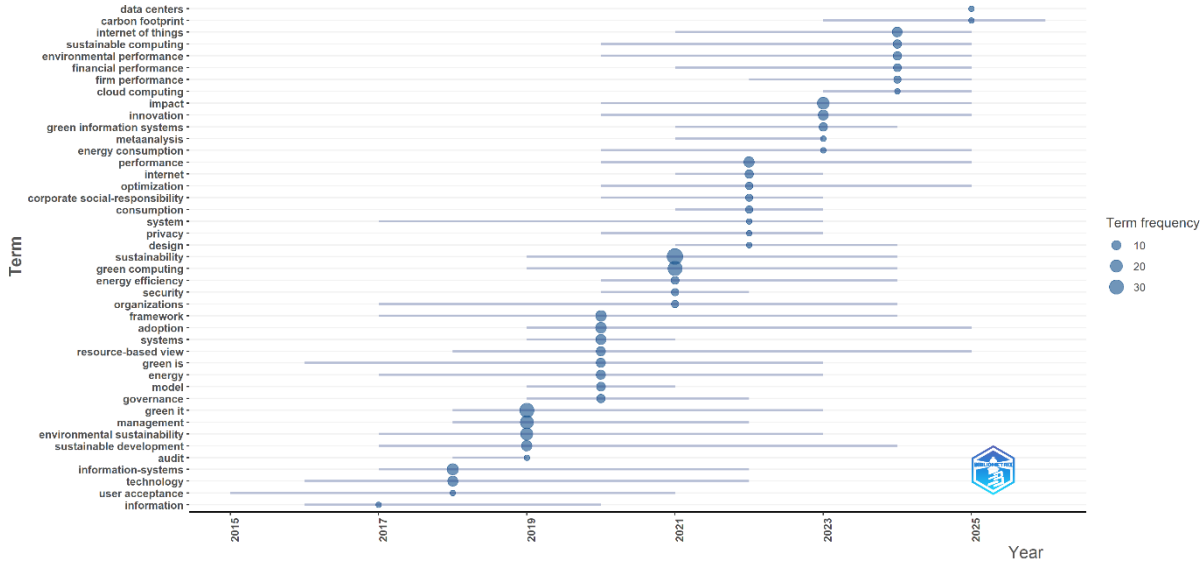
Şekil 3. Anahtar Kelimelere Dayalı OECD Ülkelerinin Yeşil Bişim Araştırmalarının Ortak Bulunurluk Analizi



Şekil 2, Şekil 3 ve Şekil 4 tematik olarak incelediğimizde, literatürün son yıllarda nasıl bir evrim geçirdiğine dair çok güçlü bir tablo ortaya çıkmaktadır. Yönetim bilişim sistemleri

disiplini açısından bakıldığında bu veri bize yeşil bilişimin artık sadece bir "donanım ve enerji tasarrufu" meselesi olmaktan çıkıp, kurumsal strateji, benimseme yani adaptasyon ve organizasyonel performans boyutlarına kaydığını kanıtlamaktadır.

Şekil 4. OECD Ülkelerinin Yeşil Bişim Araştırmalarındaki Trend Analizi



4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Dünya çapındaki iklim değişiklikleri, doğal sermayeye verilen zararlar ve finansal krizler, yeşil büyümeye geçişi zorunlu kılmaktadır(Koçak, 2020). Yeşil ekonominin geliştirilmesi, dünya çapındaki hükümetler ve politika yapıcılar için akademik ve politika açısından büyük önem taşımaktadır (Taşkın vd., 2020). OECD ülkelerindeki toplam enerji tüketiminin 2050 yılına kadar %15 artacağını öngörüşmektedir (Hou vd., 2023). Dolayısı ile hızla gelişen bilgi ve iletişim teknolojilerine rağmen son beş yılda OECD ülkeleri için 182 araştırma makalesinin WoS üzerinden elde edilmesi OECD ülkeleri için yeşil bilişim alanını gelişmeye açık bir alan olduğunu gösterdiği ifade edilebilir.

Elde edilen bulgular kurumlar bazında analiz edildiğinde, listenin en dikkat çekici özelliği, Birleşik Krallık kökenli üniversitelerin (Nottingham Trent, Manchester Üniversitesi, Northumbria, Londra Üniversitesi) ağırlıklı olmasıdır. Bu durum, Birleşik Krallık ve Avrupa Birliği'nin dijital dönüşüm süreçlerinde "ikiz dönüşüm" (Twin Transition - yeşil ve dijital dönüşümün eşzamanlı yürütülmesi) politikalarına verdiği fon ve teşviklerin bir sonucu olarak yorumlanabilir. Bununla birlikte *yazılım kalitesi ve standartlaşma vurgusu* da literatürde öne çıkmıştır. İlk iki sırada İspanya'dan Castilla-La Mancha Üniversitesi ve onunla yakın çalışan Aqclab Yazılım Kalite Laboratuvarı'nın yer alması tesadüf değildir. Castilla-La Mancha, dünyada ISO/IEC 25000 (SQuaRE) yazılım kalitesi ve yeşil yazılım (Green IT / Green Code)

metrikleri üzerine en çok Ar-Ge faaliyeti yürüten küresel merkezlerden biridir. Bu durum, yeşil bilişimin artık sadece donanımsal (enerji tasarruflu veri merkezleri vb.) değil, kod ve yazılım mimarisi düzeyinde de yoğun şekilde çalışıldığını göstermektedir. Benzer çalışmalar aslında bir OECD ülkesi olarak Türkiye'deki üniversiteler için de kritik ve çok değerli bir araştırma alanı olarak görülebilir. Bu tür yaklaşımların ve uluslararası işbirliklerin Türkiye adresli üniversitelerimizin uluslararasılaşmasını da etkinleştirecektir (Damar & Aydın, 2021; Damar vd., 2022; Damar vd., 2020).

Bununla birlikte OECD dışı ülkelerin rolü dikkat çekici olmuştur. Yeşil bilişim konusunda OECD ülkeleri ile birlikte Çin ve İran gibi pek çok ülke çalışmaktadır. Veri seti *OECD ülkelerinin* çalışmaları başlığını taşısa da, küresel konsorsiyumlarda veya ortak yazarlı makalelerde Hindistan (Jawaharlal Nehru), Suudi Arabistan (Kral Abdulaziz Üniversitesi) ve İran (Islamic Azad) gibi OECD dışı ülkelerin de ortaklıklar kurarak bu ağa dahil olduğu görülmektedir. Yeşil bilişim, küresel bir sorun olan iklim krizi ile bilişim teknolojileri gibi küresel bir aracı birleştirdiği için uluslararası iş birliklerine son derece açıktır.

Yeşil enerji benimsenmesi, ekonomik büyüme, inovasyon ve sürdürülebilir kalkınma arasındaki etkileşimler, bu faktörlerin sürdürülebilirliğe nasıl katkıda bulunduğunu anlamaya yönelik artan ilgiyi yansıtan kapsamlı araştırmaların konusu olmuştur (Zhao & Shah, 2024). Yenilenebilir enerji, yeşil ticaret, çevre dostu teknolojiler ve çevre vergileri gibi yeşil geçiş politikalarının ekolojik sürdürülebilirlik üzerindeki farklı etkileri, politika tasarımı için kritik öneme sahiptir (Bektaş, 2026). Bilgi ve iletişim teknolojilerinin farklı göstergelerinin CO2 üzerinde çelişkili etkileri olabileceğinden, hükümetler CO2'yi azaltmak için bilgi ve iletişim teknolojilerini kullanırken dikkatli olmalıdır (Nghiem vd., 2023). "Sürdürülebilir kalkınma" hedefine ulaşmanın en önemli yollarından biri, yeşil teknoloji inovasyonunu teşvik etmektir (Behera & Sethi, 2022). Bu çalışmanın da yeşil bilişim kavramının bir OECD ülkesi olan Türkiye'nin de küresel literatürdeki gelişmeleri görmesi ve kural koyucuların küresel araştırmalardan daha fazla yararlanıp ulusal literatüre katkı sunması adına oldukça önemlidir.

Bunun yanında son yıllardaki araştırmalar ve konu analizleri değerlendirildiğinde, teknolojinin kendisinden çok organizasyonların bu teknolojileri nasıl yöneteceğine, sistemleri nasıl adapte edeceğine ve süreçleri nasıl yöneteceğine odaklanmıştır. Teknoloji artık bir araçtır. Asıl araştırma problemi kurum kültürünün ve bilgi teknolojisi yönetişiminin yeşil dönüşüme nasıl entegre edileceğidir. Konu analizlerinden elde edilen bir diğer nokta da OECD ülkelerindeki araştırmaların, yeşil bilişim yatırımlarının sadece çevresel kaygılarla (Kurumsal

Sosyal Sorumluluk) yapılmadığı, aynı zamanda firmaya rekabet avantajı ve finansal getiri sağlaması beklentisiyle yapıldığını göstermektedir.

KAYNAKÇA

Akın, M. H. (2022). Turizm sektöründe yeşil bilişim uygulamaları. Turizm Akademik Dergisi, 9(1), 179-192.

Behera, P., & Sethi, N. (2022). Nexus between environment regulation, FDI, and green technology innovation in OECD countries. Environmental Science and Pollution Research, 29(35), 52940-52953.

Bektaş, V. (2026). Ecological sustainability in Oecd countries: the divergent effects of green trade, environmentally friendly technologies, renewable energy, and environmental taxation. Sustainable Development, 34(1), 376-391.

Chu, L. K. (2023). Environmentally related technologies and environmental regulations in promoting renewable energy: evidence from OECD countries. Journal of Environmental Studies and Sciences, 13(1), 177-197.

Damar, M, Özdağoğlu, G., & Saso, L. (2022). Designing a business intelligence-based monitoring platform for evaluating research collaborations within university networks: the case of UNICA - the Network of Universities from the Capitals of Europe. Information Research, 27(4), paper 945. https://doi.org/10.47989/irpaper945

Damar, M. (2016). Yeşil bilişim yaklaşımıyla bilgisayar kullanım oranının ölçülmesi ve bir uygulama (Master's thesis, Dokuz Eylul Universitesi (Turkey)). Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yönetim Bilişim Sistemleri Anabilim Dalı Yönetim Bilişim Sistemleri Programı Yüksek Lisans Tezi, İzmir.

Damar, M. (2022b). Dijital Dünyanın Dünü, Bugünü Ve Yarını: Bilişim Sektörünün Gelişimi Üzerine Değerlendirme. Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi, 12(Dijitalleşme), 51-76.

Damar, M. (2022c). Dijital Dünyanin Dünü, Bugünü Ve Yarini: Bilişim Sektörünün Gelişimi Üzerine Değerlendirme. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*, *12*(Dijitalleşme), 51-76.

Damar, M., & Aydın, Ö. (2021). Türkiye'nin 2010 Sonrası Yönetim Bilişim Sistemleri Alanında Uluslararası Q1 Dergilerinde Durumu. İzmir İktisat Dergisi, 36(4), 811-842.

Damar, M., & Gökşen, Y. (2018). Yeşil Bilişim yaklaşımlarıyla kullanıcı ve kurum odaklı enerji yönetim sistemi. Journal of Science and Engineering, 20(58),259-274.

Damar, M., (2022a). *Elektronik Atık Ve Elektronik Atık Yönetimi: Türkiye'de Mevcut Durum Ve Öneriler* . 2. Uluslararası Bilimsel Araştırmalar Ve Yenilikçi Çalışmalar Sempozyumu (2nd. International Symposium of Scientific Research and Innovative Studies (ISSRIS'22)), Balıkesir, Turkey.

Damar, M., Özdağoğlu, G., & Özveri, O. (2020). Bilimsel üretkenlik bağlamında dünya sıralama sistemleri ve Türkiye'deki üniversitelerin mevcut durumu. *Journal of University Research*, *3*(3), 107-123.

Demirtas, N., Okoth, E., Sogut, Y., Erdem, A., Koseoglu, Y., & Sanver, C. (2026). Sustainable development beyond emissions: the role of ICT, load capacity factor, green technology patents, and energy transition in OECD countries. Scientific Reports. 16, 10628.

Fidanboy, C. Ö. (2022). İşletmelerin Yeşil Bilişim Stratejilerinin AHP Yöntemi İle Önceliklendirilmesi: Bilişim İşletmeleri Örneği. Yönetim Bilimleri Dergisi, (Özel Sayı), 127-149.

Gökşen, Y., Damar, M., & Doğan, O. (2016). Yeşil Bilişim: Bir Kamu Kurumu Örneği ve Politika Önerileri. Ege Academic Review, 16(4), 673.

Hossain, M. R., Dash, D. P., Das, N., Ullah, E., & Hossain, M. E. (2024). Green energy transition in OECD region through the lens of economic complexity and environmental technology: A method of moments quantile regression perspective. Applied Energy, 365, 123235.

Hou, H., Lu, W., Liu, B., Hassanein, Z., Mahmood, H., & Khalid, S. (2023). Exploring the role of fossil fuels and renewable energy in determining environmental sustainability: Evidence from OECD countries. Sustainability, 15(3), 2048.

Khan, I., Zakari, A., Ahmad, M., Irfan, M., & Hou, F. (2022). Linking energy transitions, energy consumption, and environmental sustainability in OECD countries. Gondwana Research, 103, 445-457.

Koçak, D. (2020). Green growth dynamics in OECD countries: an application of grey relational analysis. Grey Systems: Theory and Application, 10(4), 545-563.

Nghiem, X. H., Bakry, W., Al-Malkawi, H. A. N., & Farouk, S. (2023). Does technological progress make OECD countries greener? New evidence from panel CS-ARDL. Management of Environmental Quality: An International Journal, 34(6), 1555-1579.

Paramati, S. R., Mo, D., & Huang, R. (2021). The role of financial deepening and green technology on carbon emissions: Evidence from major OECD economies. Finance Research Letters, 41, 101794.

Taşkın, D., Vardar, G., & Okan, B. (2020). Does renewable energy promote green economic growth in OECD countries?. Sustainability Accounting, Management and Policy Journal, 11(4), 771-798.

Wang, Z., Sami, F., Khan, S., Alamri, A. M., & Zaidan, A. M. (2023). Green innovation and low carbon emission in OECD economies: sustainable energy technology role in carbon neutrality target. Sustainable Energy Technologies and Assessments, 59, 103401.

Zhao, T., & Shah, S. A. A. (2024). Green energy, economic growth, and innovation for sustainable development in OECD countries. Sustainability, 16(22), 10113.

THE EVOLUTION OF TELEMEDICINE RESEARCH IN TURKIYE: A COMPREHENSIVE CONTENT ANALYSIS AND STRATEGIC RECOMMENDATIONS

Kamil Kaan ÖZDEMİR
Muğla Sıtkı Koçman University, Fethiye Faculty of Business Administration, Department of Management Information Systems, 48300 Muğla, Turkiye
ORCID ID: 0009-0009-1785-1534
Melih TAKYACİ
Dokuz Eylül University, Faculty of Science, Department of Computer Science, 48300 Izmir, Turkiye
ORCID ID: 0009-0008-5987-5924
Doç.Dr. Muhammet DAMAR
Muğla Sıtkı Koçman University, Fethiye Faculty of Business Administration, Department of Management Information Systems, 48300 Muğla, Turkiye
ORCID ID: 0000-0002-3985-3073

ABSTRACT

Telemedicine facilitates access to healthcare services, particularly in regions where access is more difficult, and increases citizen satisfaction with healthcare services. Many countries are conducting numerous scientific studies in the field of telemedicine. So, what is the general state of scientific research on telemedicine originating from Turkiye, and what kind of scientific research are Turkish researchers producing? This is precisely the central question of our research. Furthermore, the public order within Turkiye is another research question. Our study revealed a significant legal gap in Turkiye regarding telemedicine services. Data on telemedicine originating from Turkiye was obtained from Web of Science (WoS) on July 10, 2026. As part of the study, a comprehensive literature review was conducted in WoS international academic databases using keywords such as "telemedicine," "telehealth," and related terms. The analysis examined publication distribution by year, the most cited leading articles, prolific authors, and inter-institutional collaboration networks. Furthermore, by conducting co-occurrence analyses of author keywords, the specific medical disciplines (e.g., radiology, dermatology, chronic disease management) where telemedicine research in Türkiye is concentrated and the gaps in the literature were identified. In this way, the current state, historical development trends, and intellectual structure of telemedicine and remote health-focused scientific publications originating from Turkiye were comprehensively revealed using bibliometric analysis methods. The findings demonstrate the evolution of sub-themes such as artificial intelligence and mobile health (m-health) integration over the years, while proving that interdisciplinary studies are on an upward trend. This research provides a roadmap for researchers, health policymakers, and technology developers aiming to strengthen Türkiye's

digital health ecosystem; it also identifies priority areas for future academic projects and funding strategies.

Keywords: Health informatics, telemedicine, telehealth, remote health services, bibliometric analysis, Turkiye.

TÜRKİYE'DE TELETIP ARAŞTIRMALARININ EVRİMİ: KAPSAMLI İÇERİK ANALİZİ VE STRATEJİK ÖNERİLER

ÖZET

Teletıp sayesinde özellikle sağlık hizmetlerinin erişiminin daha zor olduğu bölgelere erişim kolaylaştırılabilmekte ve sağlık hizmetlerinden vatandaşın memnuniyeti artırılmaktadır. Birçok ülke teletıp alanında pek çok bilimsel araştırmaya imza atmaktadır. Pekala teletıp konusunda Türkiye adresli bilimsel araştırmaların genel durumu nedir ve Türkiye adresli araştırmacılar ne tür bilimsel araştırmalar ortaya koymaktadır. Araştırma sorumuz tam da bu merkeze oturmaktadır. Ayrıca Türkiye'nin içinde bulunduğu kamusal düzen de bir başka araştırma sorumuzdur. Yapmış olduğumuz çalışmamızda Türkiye'de bu noktada teletıp hizmetleri konusunda önemli bir yasal dayanak boşluğunun olduğu görülmüştür. Web of Science (WoS) üzerinden 10/07/2026 tarihinde Türkiye adresli teletıp konulu veri elde edilmiştir. Çalışma kapsamında WoS uluslararası akademik veri tabanlarında "telemedicine", "telehealth" ve türevi anahtar kelimeler ile kapsamlı bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Analiz sürecinde; yıllara göre yayın dağılımı, en çok atıf alan öncü makaleler, üretken yazarlar ve kurumlar arası işbirliği ağları incelenmiştir. Ayrıca, yazar anahtar kelimelerinin eş-bulunma analizleri yapılarak, Türkiye'deki teletıp araştırmalarının hangi spesifik tıp disiplinlerinde (örn. radyoloji, dermatoloji, kronik hastalık yönetimi) yoğunlaştığı ve literatürdeki boşluklar tespit edilmiştir. Bu sayede Türkiye adresli teletıp ve uzaktan sağlık odaklı bilimsel yayınların mevcut durumunu, tarihsel gelişim eğilimlerini ve entelektüel yapısını bibliyometrik analiz yöntemleriyle bütüncül bir şekilde ortaya konulmuştur. Bulgular, yapay zeka ve mobil sağlık (m-sağlık) entegrasyonu gibi alt temaların yıllar içindeki evrimini gösterirken, disiplinlerarası çalışmaların artış trendinde olduğunu kanıtlamaktadır. Bu araştırma, Türkiye'nin dijital sağlık ekosistemini güçlendirmeyi hedefleyen araştırmacılar, sağlık politikası yapıcıları ve teknoloji geliştiricileri için rehber niteliğinde bir yol haritası sunmakta; aynı zamanda gelecekteki akademik projeler ve fonlama stratejileri için öncelikli alanları belirlemektedir.

Anahtar kelimeler: Sağlık bilişimi, teletıp, telesağlık, uzaktan sağlık hizmeti, bibliyometrik analiz, Türkiye.

1.INTRODUCTION

The healthcare sector is significantly impacted by technological advancements, and information and communication technologies (ICTs) play an undeniable role in these advancements. In the internet age, access to and delivery of information has become considerably easier. This has a significant and valuable impact on the healthcare sector. Within the field of health sciences, telemedicine has become a major area of influence. In recent years, particularly with the catalytic effect of the COVID-19 pandemic, digital transformation in the delivery of healthcare services has gained momentum, and telemedicine applications have become a strategic focus and research area globally, with telehealth applications being recommended in the literature (Ganjali et al., 2022; Jnr, 2020; Machado et al., 2020; Damar et al., 2025a; Damar et al., 2025b; Canbay, 2020).

Turkiye is also one of the countries that attaches importance to telehealth. Turkiye's strong technological advancements in healthcare infrastructure have been integrated into this global transformation, and a remarkable academic growth has been observed in the literature on remote healthcare services. The increasing elderly population, longer life expectancy, rise in chronic diseases, and the need to ensure equal and equitable access to healthcare for people in rural areas, along with the manageability of rising healthcare expenditures, can be considered reasons why telemedicine applications are a solution both globally and in our country.

Additionally, during the coronavirus pandemic, telemedicine has become an integral part of our lives, taking on a vital responsibility for many individuals' health issues. It has emerged as a strategic tool in establishing an efficient, effective, accessible, and equitable healthcare system (Bashshur et al., 2020; Portnoy et al., 2020; Khoshrounejad et al., 2021; Bokolo, 2021). During the outbreak, telemedicine has become a crucial tool worldwide. It has become indispensable for increasing patient monitoring, preventing the spread of the disease, facilitating timely detection of illnesses, and ensuring the continuity of care for patients with multiple chronic conditions (Omboni et al., 2022). Therefore, the advancements in information and communication technologies, especially their use in the healthcare sector, can often be of critical and strategic value for human social life.

Telemedicine, especially after the rapid integration of the internet into our lives in the 1990s, has become a subject of increasing discussion, particularly emerging as a viable solution in areas facing challenges in accessing healthcare services. This holds true within our country as well. According to Korkmaz & Hoşman (2018), the increasing elderly population, extended life expectancy, the rise in chronic diseases, and the need to ensure equal and just access to

healthcare for people in rural areas, along with the controllability of the increasing healthcare expenditure costs, are considered as reasons why telemedicine applications would be a solution both globally and within our country. Therefore, advancements in information and communication technologies, especially their use in the healthcare sector, can often have critical and strategic value for human social life. Telemedicine research also holds an important place in this regard. Recognizing this importance, our study will analyze the most current research on telemedicine through Web of Science (WoS) research articles using bibliometric methods and text mining techniques, and will share the developments in the literature with researchers in the field.

2.METHODOLOGY

Our study focuses on the general state of scientific research on telemedicine originating from Turkiye, and the types of scientific research produced by researchers based in Turkiye. This is the central question of our research. Furthermore, the regulatory (legal) framework in Turkiye is another research question. Our study revealed a significant legal gap in Turkiye regarding telemedicine services. Data on telemedicine originating from Turkiye was obtained from Web of Science (WoS) on July 10, 2026. The dataset selected for this study consisted of research articles from 2020 onwards in international academic databases using the keywords "telemedicine," "telehealth," and related terms (Table 1). R Bibliometrix and VoSViewer programs were used for the analyses.

Table 1. Search Term Used in The Context Of Telemedicine

Search Strings	**N**
ti=("telemedicine" OR "telehealth" OR "tele-medicine" OR "e-health" OR "ehealth" OR "remote healthcare" OR "telecare" OR "teleconsultation") and Article (Document Types) and 2025 or 2026 or 2024 or 2023 or 2022 or 2021 or 2020 (Publication Years) and Early Access or Book Chapters or Proceeding Paper or Retracted Publication or Data Paper or Publication With Expression Of Concern or Withdrawn Publication (Exclude – Document Types)	12,124
ti=("telemedicine" OR "telehealth" OR "tele-medicine" OR "e-health" OR "ehealth" OR "remote healthcare" OR "telecare" OR "teleconsultation") and Article (Document Types) and 2025 or 2026 or 2024 or 2023 or 2022 or 2021 or 2020 (Publication Years) and Early Access or Book Chapters or Proceeding Paper or Retracted Publication or Data Paper or Publication With Expression Of Concern or Withdrawn Publication (Exclude – Document Types) and TURKEY or TURKIYE (Countries/Regions)	212

The dataset was selected by searching through article titles, thus allowing access to a more targeted collection of articles directly related to telemedicine. The analysis process examined publication distribution by year, the most cited pioneering articles, prolific authors, and inter-institutional collaboration networks. Additionally, co-occurrence analyses of author

keywords were conducted to identify the specific medical disciplines where telemedicine research in Türkiye is concentrated and to determine gaps in the literature.

3.RESULTS

Based on the specified search keywords, a search using the title yielded 12,124 articles. A search using the filters "Türkiye" and "Turkey" revealed 212 research articles. The findings from the analysis of these datasets are presented below under two headings: global literature and Turkish-specific literature.

3.1General Pattern of Telemedicine Research in the Global Literature

Research on telehealth has been present in the literature since 1980. The first study in the literature is "Telemedicine connects patients in Sioux Lookout with doctors in Toronto" (Dunn et al., 1980). A review of the global literature reveals a surge in interest in telemedicine, particularly from 2020 onwards, with 2021-2022 being the period with the most intensive research in this area. Institutions with productive work in this field are shown in Table 2.

Table 2. The Most Productive Countries in the World in Telemedicine

#	Countries/Regions	N	%	#	Countries/Regions	N	%
1	USA	5,709	47.07	26	Belgium	105	0.86
2	Australia	942	7.76	27	Malaysia	100	0.82
3	Peoples R China	784	6.46	28	Ireland	98	0.80
4	England	534	4.40	29	Norway	96	0.79
5	India	464	3.82	30	Egypt	90	0.74
6	Canada	460	3.79	31	Thailand	90	0.74
7	Italy	452	3.72	32	Indonesia	81	0.66
8	Germany	440	3.62	33	New Zealand	80	0.66
9	Netherlands	369	3.04	34	Portugal	80	0.66
10	Spain	354	2.91	35	South Africa	76	0.62
11	Brazil	334	2.75	36	United Arab Emirates	71	0.58
12	Saudi Arabia	309	2.54	37	Turkey	67	0.55
13	France	274	2.25	38	Austria	66	0.54
14	Sweden	185	1.52	39	Greece	65	0.53
15	South Korea	171	1.41	40	Scotland	65	0.53
16	Japan	162	1.33	41	Romania	64	0.52
17	Taiwan	148	1.22	42	Colombia	59	0.48
18	Turkiye	144	1.18	43	Finland	58	0.47
19	Denmark	135	1.11	44	Argentina	56	0.46
20	Iran	124	1.02	45	Jordan	54	0.44
21	Pakistan	123	1.01	46	Nigeria	54	0.44
22	Singapore	120	0.99	47	Mexico	53	0.43
23	Switzerland	119	0.98	48	Czech Republic	49	0.40
24	Israel	109	0.89	49	Chile	48	0.39
25	Poland	109	0.89	50	Bangladesh	44	0.36

This situation can be seen to directly coincide with the COVID-19 period. Article production from 2020 onwards was observed to be as follows: 2026 (n=736, 6.06%), 2025 (n=1766, 14.56%), 2024 (n=1884, 15.53%), 2023 (n=1968, 16.22%), 2022 (n=2206, 18.19%),

2021 (n=2156, 17.77%), and 2020 (n=1411, 11.63%). In addition, the most productive research institutions in the world on telemedicine are given in Table 3, and the research areas where telemedicine is intensively studied are given in Table 4.

Table 3. The World's Most Productive Research Institutions in Telemedicine

#	Affiliations	N	%
1	University Of California System	523	4.31
2	Harvard University	505	4.16
3	Harvard University Medical Affiliates	423	3.48
4	US Department Of Veterans Affairs	362	2.98
5	Veterans Health Administration	347	2.86
6	Harvard Medical School	306	2.52
7	University Of Texas System	265	2.18
8	State University System Of Florida	261	2.15
9	University System Of Ohio	244	2.01
10	University Of California San Francisco	217	1.78
11	University Of Pennsylvania	214	1.76
12	Johns Hopkins University	208	1.71
13	Pennsylvania Commonwealth System Of Higher Education	203	1.67
14	University Of Washington	203	1.67
15	University Of Washington Seattle	200	1.64

Table 4. Research Areas Where Telemedicine is Extensively Studyed in the Global Literature

#	Research Areas	N	%	#	Research Areas	N	%
1	Health Care Sciences Services	3,335	27.50	26	Substance Abuse	154	1.27
2	Public Environmental Occupational Health	1,427	11.76	27	Environmental Sciences Ecology	153	1.26
3	Medical Informatics	1,268	10.45	28	Business Economics	150	1.23
4	General Internal Medicine	1,250	10.30	29	Ophthalmology	126	1.03
5	Computer Science	634	5.22	30	Infectious Diseases	120	0.99
6	Psychology	625	5.15	31	Otorhinolaryngology	119	0.98
7	Nursing	535	4.41	32	Biomedical Social Sciences	117	0.96
8	Neurosciences Neurology	520	4.28	33	Respiratory System	116	0.95
9	Pediatrics	477	3.93	34	Nutrition Dietetics	104	0.85
10	Engineering	467	3.85	35	Rheumatology	103	0.84
11	Rehabilitation	425	3.50	36	Social Sciences Other Topics	97	0.80
12	Psychiatry	403	3.32	37	Information Science Library Science	96	0.79
13	Oncology	359	2.96	38	Emergency Medicine	85	0.70
14	Surgery	355	2.92	39	Gastroenterology Hepatology	80	0.66
15	Education Educational Research	258	2.12	40	Chemistry	79	0.65
16	Science Technology Other Topics	255	2.10	41	Instruments Instrumentation	74	0.61
17	Obstetrics Gynecology	254	2.09	42	Immunology	67	0.55
18	Geriatrics Gerontology	237	1.95	43	Dermatology	66	0.54
19	Cardiovascular System Cardiology	217	1.78	44	Sport Sciences	64	0.52
20	Telecommunications	202	1.66	45	Social Work	63	0.52
21	Endocrinology Metabolism	196	1.61	46	Physics	62	0.51
22	Research Experimental Medicine	183	1.50	47	Family Studies	57	0.47

23	Pharmacology Pharmacy	180	1.48	48	Audiology Speech Language Pathology	56	0.46
24	Orthopedics	177	1.46	49	Anesthesiology	49	0.40
25	Urology Nephrology	158	1.30	50	Materials Science	46	0.37

3.2General Overview of Telemedicine Research in Turkish Literature

It has been observed that 212 research articles with a Turkish address are available on the Web of Sciences (WoS) from 2020 onwards. Of these publications, 3 are in Turkish, 1 is in Spanish and Persian, and the rest are in English. As can be seen in Table 5, the University of Health Sciences Turkey, Istanbul University Cerrahpasa, and Ege University are the three leading institutions in this field. The distribution of telemedicine research with a Turkish address according to research areas can be seen in Table 6.

Table 5. The Most Productive Research Institutions in Turkiye Regarding Telemedicine

#	Affiliations	N	%
1	University Of Health Sciences Turkey	20	9.43
2	Istanbul University Cerrahpasa	14	6.60
3	Ege University	13	6.13
4	Dokuz Eylul University	12	5.66
5	Pamukkale University	12	5.66
6	Hacettepe University	11	5.18
7	Gazi University	8	3.77
8	Marmara University	7	3.30
9	Akdeniz University	6	2.83
10	Ankara University	6	2.83
11	Istanbul Medipol University	6	2.83
12	Istanbul University	6	2.83
13	Koc University	6	2.83
14	Acibadem University	5	2.35
15	Fenerbahce University	5	2.35
16	Ministry Of Health Turkey	5	2.35
17	Necmettin Erbakan University	5	2.35
18	Uludag University	5	2.35
20	Usak University	5	2.35

Table 6. Distribution of Telemedicine Research from Türkiye by Research Area

#	Research Area	N	%	#	Research Area	N	%
1	Health Care Sciences Services	42	19.81	13	Neurosciences Neurology	6	2.83
2	Nursing	32	15.09	14	Dermatology	5	2.35
3	Public Environmental Occupational Health	31	14.62	15	Telecommunications	5	2.35
4	General Internal Medicine	28	13.20	16	Endocrinology Metabolism	4	1.88
5	Computer Science	14	6.60	17	Geriatrics Gerontology	4	1.88
6	Medical Informatics	14	6.60	18	Pharmacology Pharmacy	4	1.88
7	Pediatrics	11	5.18	19	Rehabilitation	4	1.88
8	Education Educational Research	9	4.24	20	Science Technology Other Topics	4	1.88
9	Engineering	8	3.77	21	Obstetrics Gynecology	3	1.41
10	Respiratory System	8	3.77	22	Psychology	3	1.41

11	Oncology	7	3.30	23	Social Work	3	1.41
12	Surgery	7	3.30	24	Urology Nephrology	3	1.41

The prominent keywords and topic analyses in the research are shown in Figures 1 and 2. When the telemedicine literature is examined, the words reliability and validity stand out and are found to be heavily involved in COVID-19 pandemic research.

Figure 1. Thematic Map of Telemedicine Research from Türkiye Based on Keywords

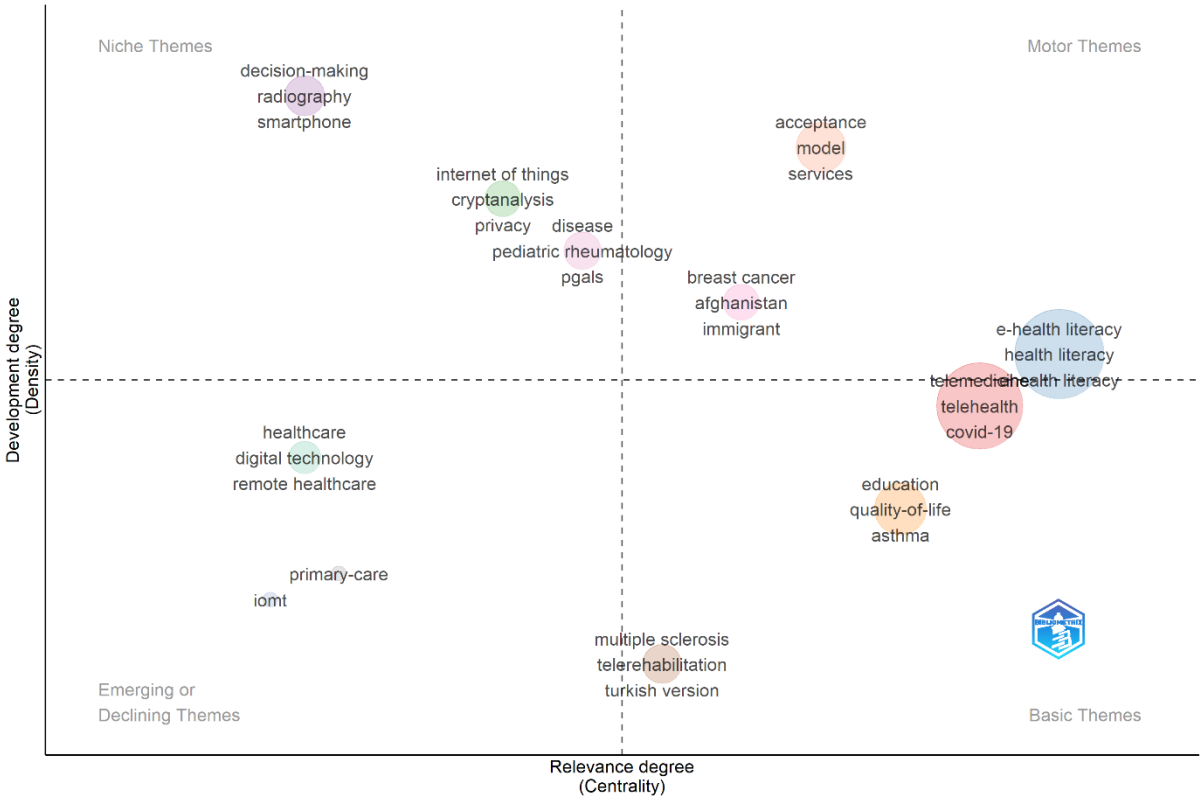
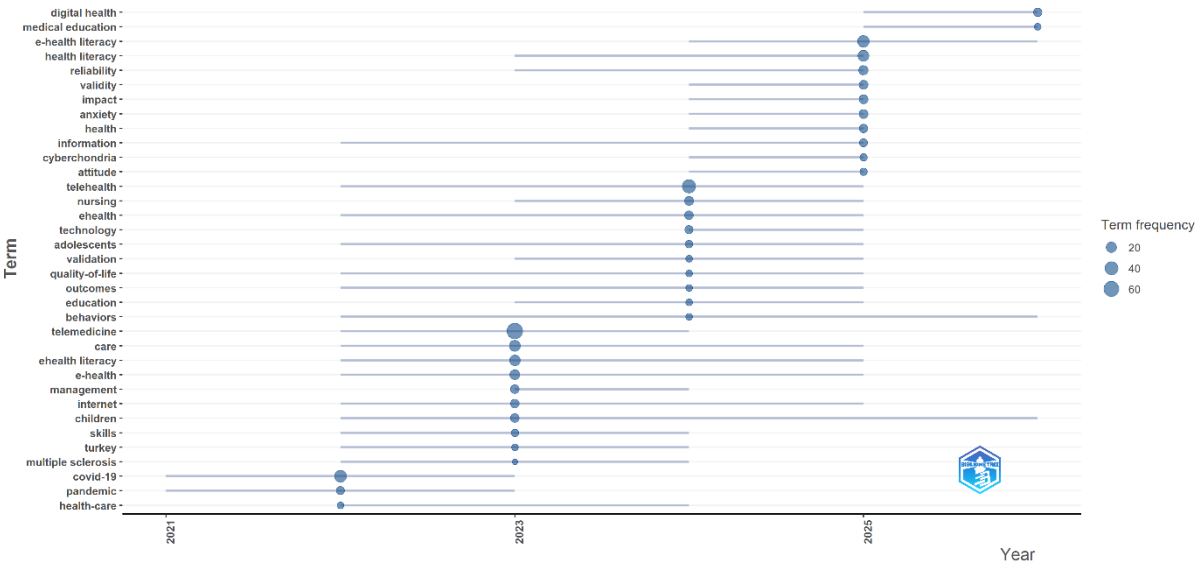


Figure 2. Key Issues in Telemedicine Research Based in Türkiye



4.DISCUSSION AND CONCLUSIONS

When the studies conducted are evaluated, it is seen that the subject of telemedicine in the healthcare field is divided into various sub-fields depending on numerous needs and focus areas. In the global literature, the research areas most closely related to telemedicine topics are as follows: Health Care Sciences Services, Public Environmental Occupational Health, Medical Informatics, General Internal Medicine, and Computer Science. In our literature studies and analysis regarding the applicability of telemedicine applications, it has been observed that there is a significant legal gap in Turkiye regarding telemedicine services. Furthermore, with the regulations specified in the Regulation on the Provision of Remote Healthcare Services published on February 10, 2022, healthcare institutions that have obtained permission can provide remote healthcare services in other specialties as well. Therefore, especially after this regulation, it is expected that the interest of the healthcare sector in Türkiye in the field of telemedicine will further increase.

Telemedicine aims to provide clinical support, enhance health outcomes, and overcome geographical barriers by connecting users in different environments, utilizing information and communication technologies. In the pursuit of these objectives, various benefits and costs come into play. However, it is a reality that each institution needs sustainable innovation both economically and organizationally throughout the use of these technologies (Paksoy, 2017). Therefore, it can be emphasized that healthcare institutions aspiring to implement telemedicine applications internally should also possess a robust infrastructure in terms of information and communication technology.

The healthcare sector is heavily influenced by technological advancements, with the undeniable prominence of information and communication technologies in these developments. In the current era of the internet, access to information has significantly facilitated, leading to the accumulation of a vast amount of knowledge. Within this wealth of information, healthcare is undergoing a remarkable transformation with advancements such as network technologies, the Internet of Things, digital twins, blockchain, machine learning, and artificial intelligence. For instance, artificial intelligence technology has been employed in recent years for disease prediction and early diagnosis (Damar et al., 2025a; Damar et al., 2025b; Canbay, 2020).

Furthermore, when studies are evaluated, it is observed that the subject of telemedicine in the healthcare field has branched into various subfields based on numerous needs and focused areas. These needs and focused areas include geriatric telemedicine (Merrell & Doarn,

2015), real-time telemedicine (Wootton, 2006), telemedicine education (Soar & Hartviksen, 2003), telemedicine for pathology (Kldiashvili, 2008), telemedicine in laryngology (Furukawa et al., 1998), telemedicine in neurosciences (Ganapathy & Ravindra, 2008), telemedicine for diabetes (Engelbrecht & Hildebrand, 1999), telemedicine for geriatric psychiatry (Jones & Colenda, 1997), telemedicine for rheumatology care (Rezaian et al., 2020), and physical rehabilitation with telemedicine (Russell, 2007), to name a few.

Many universities and institutions have initiated research and exploration in the field of telemedicine years ago, at least within their own institutions or regions and often on a national scale. Examples include the University of Miami (Blanchet, 2007b), Norway (Elford, 1997), Arizona Telemedicine Center (Krupinski & Weinstein, 2013), Croatia (Zorica, 2017), China (Hsieh et al., 2001), Armenia (Istepanian & Nikogosian, 2000), California Telemedicine and e-Health Center (Blanchet, 2007a), Ontario (O'Gorman et al., 2016), Alentejo (Oliveira et al., 2014), among others. For instance, the Tromsø University Hospital has successfully implemented various telemedicine activities since the late 1980s, including teleradiology, telepathology, teledermatology, remote endoscopy, remote gastroscopy, teleechocardiography, electrocardiogram transmission, telepsychiatry, electronic transmission of laboratory results, and remote education for healthcare professionals (Elford, 1997). This hospital may be a suitable recommendation, particularly for the examination, visit, or collaboration of professionals specialized in this field during a specific period. This ensures a deep knowledge base in telemedicine, allowing for effective tracking and implementation of developments in the field.

In Turkiye, telemedicine applications primarily include tele-radiology, with a focus on storing and transmitting information to specialist physicians for the evaluation of diagnostic results (Toygar, 2018). Even in the absence of legal grounds and necessary conditions, healthcare institutions have started to provide remote audio and video treatment services through social media and communication applications during the Covid-19 pandemic (Önal & Kaya, 2020; Arık, 2023; Ganjali et al., 2022; Jnr, 2020; Machado et al., 2020). In Arık's (2023) study, telemedicine services in Turkiye were evaluated within the scope of the seven Ps of healthcare services marketing (product, price, promotion, place, participants, process, physical evidence). It was noted that an immediate transition to telemedicine applications, which have found more recent legal grounds, was not expected. Furthermore, the study emphasized that telemedicine applications in Turkiye have found a niche primarily in the field of tele-radiology. However, with the regulations outlined in the Regulation on the Delivery of Remote Health

Services published on February 10, 2022, healthcare institutions obtaining permission can provide remote health services in other specialties as well. Therefore, it is expected that the interest of the healthcare sector in telemedicine in Turkiye, especially after this regulation, will increase even further.

Turkiye had a young population in the 2000s. Today, however, it has a population that is beginning to age rather than a young one. At this point, Turkiye may need to pursue different strategies in the IT sector. Turkiye can benefit from the Balkan countries in this regard (Damar, 2022a). Many studies have been conducted in the literature on the development of information technologies in Turkiye, both in the health sector and in other fields (Şaylan & Damar, 2025; Damar et al., 2024a; Damar et al., 2024b; Damar et al., 2018; Hancı et al., 2024). As Damar (2022b) also states in his study, rapid developments in information and communication technologies are shaping not only their own sector but all sectors. Telemedicine is an important and strategic area for Turkiye where the country can demonstrate its capabilities and reduce the burden on hospitals in healthcare services. Therefore, the strong IT and software technology infrastructure, especially in the defense industry, can be transferred to the healthcare sector. This will allow them to stand out even more in the global healthcare market and in innovative products.

Years ago, Berg & Goorman (1999) asserted that the successful design of information systems in healthcare begins with a thorough understanding of the applications the systems will operate. This approach is indeed accurate. From a software methodology perspective, conducting a proper needs analysis is critically important for the construction of any information system. The versatile dimension of health information technologies is an undeniable reality. Therefore, understanding these systems can be achieved through a multidisciplinary approach. The aspect of health informatics that touches human life underscores the critical value of information services in ensuring societal peace and well-being. This underscores the importance of delivering information services accurately and effectively in the field of health informatics.

REFERENCES

Arık, Y. (2023). Tele-Tıp Uygulamalarının Sağlık Hizmetleri Pazarlaması Kapsamında Değerlendirilmesi. *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi*, *26*(2), 511-534.

Bashshur, R. L., Doarn, C. R., Frenk, J. M., Kvedar, J. C., Shannon, G. W., & Woolliscroft, J. O. (2020). Beyond the COVID pandemic, telemedicine, and health care. *Telemedicine and e-Health*, *26*(11), 1310-1313.

Berg, M., & Goorman, E. (1999). The contextual nature of medical information. *International journal of medical informatics*, *56*(1-3), 51-60.

Blanchet, K. D. (2007a). Innovative programs in telemedicine - The California Telemedicine & eHealth Center (CTEC). *Telemedıcıne and E-Health*, *12*(6), 616-621.
Blanchet, K. D. (2007b). Innovative programs in Telemedicine: University of Miami Telemedicine. *Telemedicine and e-Health*, *13*(6), 627-635.
Bokolo, A. J. (2021). Application of telemedicine and eHealth technology for clinical services in response to COVID 19 pandemic. Health and technology, 11(2), 359-366.
Canbay, P. (2020). Sağlıkta Yapay Zeka: Derin Öğrenme Teknikleri Ve Uygulamaları. Editörler Ahmet Rıza Şahin, Kamil Doğan, Süleyman Sivri, İçinde *Sağlık Bilimlerinde Yapay Zeka*. Ankara: Akademisyen Kitabevi.
Damar, H. T., Bilik, O., Ozdagoglu, G., Ozdagoglu, A., & Damar, M. (2018). Evaluating the nursing academicians in Turkey in the scope of Web of Science: scientometrics of original articles. Scientometrics, 115(1), 539-562.
Damar, M. (2021). Metaverse shape of your life for future: A bibliometric snapshot. *Journal of Metaverse*, *1*(1), 1-8.
Damar, M. (2022). Dijital Dünyanin Dünü, Bugünü Ve Yarini: Bilişim Sektörünün Gelişimi Üzerine Değerlendirme. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi SBE Dergisi*, *12*(Dijitalleşme), 51-76.
Damar, M. (2022). What the literature on medicine, nursing, public health, midwifery, and dentistry reveals: An overview of the rapidly approaching metaverse. *Journal of Metaverse*, *2*(2), 62-70.
Damar, M. (2022b). Dijital çağda bilişim sektörünün ihtiyacı olan yetkinlikler üzerine bir değerlendirme. Journal of Information Systems and Management Research, 4(1), 25-40.
Damar, M., Hosseini, B., Pinto, A. D., Aydin, O., & Cali, U. (2025a). Science mapping of COVID-19 contributions in primary health care by OECD countries: A machine learning approach. *Digital Health*, *11*, 20552076251389341.
Damar, M., Küme, T., Yüksel, İ., Çetinkol, A. E., Pal, J. K., & Erenay, F. S. (2024b). Medical informatics as a concept and field-based medical informatics research: the case of Turkey. *Duzce Medical Journal*, *26*(1), 44-55.
Damar, M., Pinto, A. D., Erenay, F. S., & Aydin, O. (2025b). Impact of COVID-19 on Primary Healthcare Research: Trends and Suggestions for Better Services Approaches Via Blockchain Based Applications. *Blockchain in Healthcare Today*, *8*, 10-30953.
Damar, M., Yüksel, İ., Çetinkol, A. E., Aydın, Ö., & Küme, T. (2024a). Advancements and integration: a comprehensive review of health informatics and its diverse subdomains with a focus on technological trends. Health and Technology, 14(4), 635-648.
Dunn, E., Conrath, D., Acton, H., Higgins, C., & Bain, H. (1980). Telemedicine links patients in Sioux Lookout with doctors in Toronto. Canadian Medical Association Journal, 122(4), 484.
Elford, D. R. (1997). Telemedicine in northern Norway. *Journal of Telemedicine and Telecare*, *3*(1), 1-22.
Engelbrecht, R., & Hildebrand, C. (1999). Telemedicine and diabetes. In *The Impact of Telemedicine on Health Care Management* (pp. 142-154). Netherlands: IOS Press.
Furukawa, M., Furukawa, M. K., Mizojiri, G., & Matsuda, H. (1998). Telemedicine in laryngology. *Telemedicine Journal*, *4*(4), 329-333.
Ganapathy, K., & Ravindra, A. (2008). Telemedicine in neurosciences. *Studies in Health Technology and Informatics*, *131*, 149-170.
Ganjali, R., Jajroudi, M., Kheirdoust, A., Darroudi, A., & Alnattah, A. (2022). Telemedicine solutions for clinical care delivery during COVID-19 pandemic: a scoping review. Frontiers in Public Health, 10, 937207.
Hancı, V., Damar, H. T., & Damar, M. (2024). Bibliometric analysis of studies on delirium in critical care. *Dimensions of Critical Care Nursing*, *43*(6), 291-297.
Hsieh, R. K., Hjelm, N. M., Lee, J. C., & Aldis, J. W. (2001). Telemedicine in China. *International Journal of Medical Informatics*, *61*(2-3), 139-146.
Jnr, B. A. (2020). Use of telemedicine and virtual care for remote treatment in response to COVID-19 pandemic. Journal of medical systems, 44(7), 132.

Jones, B. N., & Colenda, C. C. (1997). Telemedicine and geriatric psychiatry. *Psychiatric services (Washington, DC)*, *48*(6), 783-785.

Khoshrounejad, F., Hamednia, M., Mehrjerd, A., Pichaghsaz, S., Jamalirad, H., Sargolzaei, M., ... & Aalaei, S. (2021). Telehealth-based services during the COVID-19 pandemic: a systematic review of features and challenges. Frontiers in public health, 9, 711762.

Kldiashvili, E. (2008). Telemedicine for pathology. *Studies in Health technology and Informatics*, *131*, 227-244.

Korkmaz, S., & Hoşman, İ. (2018). Sağlık Sektöründe Tele-Tıp Uygulamaları: Tele-Tıp Uygulama Boyutlarını İçeren Bir Araştırma. *Uluslararası Sağlık Yönetimi ve Stratejileri Araştırma Dergisi*, *4*(3), 251-263.

Krupinski, E. A., & Weinstein, R. S. (2013). Telemedicine in an academic center—the Arizona Telemedicine Program. *Telemedicine and e-Health*, *19*(5), 349-356.

Machado, R. A., de Souza, N. L., Oliveira, R. M., Júnior, H. M., & Bonan, P. R. F. (2020). Social media and telemedicine for oral diagnosis and counselling in the COVID-19 era. Oral oncology, 105, 104685.

Merrell, R. C., & Doarn, C. R. (2015). Geriatric Telemedicine. *Telemedicine Journal and e-Health: The Official Journal of the American Telemedicine Association*, *21*(10), 767-768.

O'Gorman, L. D., Hogenbirk, J. C., & Warry, W. (2016). Clinical telemedicine utilization in Ontario over the Ontario telemedicine network. *Telemedicine and e-Health*, *22*(6), 473-479.

Oliveira, T. C., Bayer, S., Gonçalves, L., & Barlow, J. (2014). Telemedicine in alentejo. *Telemedicine and e-Health*, *20*(1), 90-93.

Omboni, S., Padwal, R. S., Alessa, T., Benczúr, B., Green, B. B., Hubbard, I., ... & Wang, J. (2022). The worldwide impact of telemedicine during COVID-19: current evidence and recommendations for the future. *Connected health*, 4*(1)*, 7-35.

Önal, S., & Kaya, G. G. (2020). Pandemi sürecinde uzaktan hasta takibi uygulamalarında tele-tıp ve birinci basamaktaki yeri. Klinik Tıp Aile Hekimliği Dergisi, 12(3), 98-106.

Paksoy, V. M. (2017). Sağlık ekonomisi perspektifinden teletıp uygulamaları. *Sağlık Akademisyenleri Dergisi*, *4*(1), 9-16.

Portnoy, J., Waller, M., & Elliott, T. (2020). Telemedicine in the era of COVID-19. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice*, *8*(5), 1489-1491.

Rezaian, M. M., Brent, L. H., Roshani, S., Ziaee, M., Sobhani, F., Dorbeigi, A., ... & Beinaghi, F. (2020). Rheumatology care using telemedicine. *Telemedicine and e-Health*, *26*(3), 335-340.

Russell, T. G. (2007). Physical rehabilitation using telemedicine. *Journal of telemedicine and telecare*, *13*(5), 217-220.

Soar, J., & Hartviksen, G. (2003). Telemedicine education. *Journal of telemedicine and telecare*, *9*(6), 354.

Şaylan, Ö. F., & Damar, M. (2025). Türkiye'nin Bilgisayar Bilimi ve Bilgi Sistemleri Araştırma Alanındaki Bilimsel Üretkenliği. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Uygulamalı Bilimler Dergisi*, *9*(2), 240-286.

Toygar, Ş. A. (2018). E-sağlık uygulamaları. Yasama Dergisi, (37), 101-123.

Wootton, R. (2006). Realtime telemedicine. *Journal of telemedicine and telecare*, *12*(7), 328-336.

Zorica, Z. (2017). Telemedicine in Croatia. In *Benchmarking Telemedicine: Improving Health Security in the Balkans* (pp. 104-110). Amsterdam: IOS Press.

KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN ÇEVRE SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ

Fatma Türker
Niğde Ömer Halisdemir University, 51240 Merkez, Niğde
ORCID ID: 0009-0007-1493-0718

ÖZET

Çevre yeryüzünde insan ve diğer canlıların yaşamlarını sürdürebilmeleri için hayati öneme sahiptir. Dünyada meydana gelen antropojenik kaynaklı veya doğal değişiklikler canlılar ve çevre sağlığı için genellikle olumsuzluklar oluşturabilmektedir. İnsan ve çevre sağlığı üzerinde zararlı sonuçlar oluşturabilen değişikliklerden biri de küresel iklim değişikliğidir (KİD). KİD'in zararlı etkileri devam ederse, sıcaklık artışları ve artan deniz seviyeleri ile sıcaklıklarda görülen dalgalanmalar, orman yangınları, fırtınalar, seller, kuraklıklar gibi doğa olayları daha sık oluşabilecek ve bu durum gıda kıtlığına, su kıtlığına, barınak ve geçim kaynaklarının kaybına, bitki ve hayvan türlerinin yok olmasına, dolayısıyla çevre sağlığı üzerinde olumsuzluklara yol açabilecektir. KİD bulaşıcı hastalıkların yayılımı, tatlı su kaynaklarındaki farklılaşmalar ve gıda üretimindeki değişiklikler gibi ekolojik süreçlerdeki bozulmaları stimüle ederek geniş kapsamlı ciddi sağlık sonuçlarına yol açabilmektedir. KİD son zamanlarda dünyanın karşı karşıya olduğu en tehlikeli çevre sorunlarından biri olup, çevre sağlığı üzerinde olumsuz etkileri günümüzde giderek artmaktadır. KİD'in etkileri tüm dünyada yaygın olarak görülmekte ve tüm toplumların çevre sağlığını, kültürünü, coğrafyasını ve mental sağlığını etkilemektedir. KİD tüm dünya için küresel bir sorun haline gelmiş olup KİD'in çevre ve insan sağlığı üzerindeki zararlı etkilerini hafifletmek için önlemlerin alınması zorunluluk haline gelmiştir. KİD ile mücadelede yenilikçi yaklaşımlar tercih edilerek bitki, hayvan ve çevre sağlığı korunabilecektir.

Anahtar kelimeler: Çevresel biyoloji, çevre sağlığı, ekolojik süreç, iklim değişikliği, sıcaklık artışı

THE IMPACTS OF GLOBAL CLIMATE CHANGE ON ENVIRONMENTAL HEALTH

ABSTRACT

The environment is vital for humans and other living beings to sustain their lives on Earth. Anthropogenic or natural changes occurring worldwide can often have negative consequences for living beings and environmental health. One such change that can have harmful effects on human and environmental health is global climate change (GCC). If the harmful effects of GCC continue, natural phenomena such as rising temperatures, rising sea levels, temperature

fluctuations, wildfires, storms, floods, and droughts may occur more frequently, leading to food shortages, water scarcity, loss of shelter and livelihoods, and the extinction of plant and animal species, and consequently, negative impacts on environmental health. Climate change can lead to far-reaching and serious health consequences by stimulating disruptions in ecological processes, such as the spread of infectious diseases, changes in freshwater resources, and shifts in food production. Climate change is one of the most dangerous environmental problems the world has faced in recent times, and its negative effects on environmental health are increasing today. The effects of GCC are widely observed throughout the world and affect the environmental health, culture, geography, and mental health of all societies. GCC has become a global issue for the entire world, and taking measures to mitigate its harmful effects on the environment and human health has become imperative. By adopting innovative approaches to combat GCC, we can protect plant, animal, and environmental health.

Keywords: Environmental biology, environmental health, ecological processes, climate change, temperature increase

SU VE ATIK YÖNETİMİNDE BİYOLOJİK YAKLAŞIMLAR VE ÇEVRE SAĞLIĞI AÇISINDAN ÖNEMİ

Fatma Türker
Niğde Ömer Halisdemir University, 51240 Merkez, Niğde
ORCID ID: 0009-0007-1493-0718

ÖZET

Biyolojik yaklaşımlar çevre kirliliği, çevre sağlığı ve kaynakların tükenmesi gibi risklerin yönetiminde sorunlarla mücadele edebilmek için yenilikçi ve çevre dostu çözümler sunmaktadır. Su ve atık yönetiminde katı atıkların biyoremediasyonu, atık su veya su yönetimi, kirleticileri gidermek veya geri kazanmak gibi amaçlarla biyolojik yaklaşımlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Geleneksel yaklaşımlar düşük verimlilik, yüksek enerji tüketimi ve fazla maliyet gibi olumsuzluklar meydana getirmektedir. Organik atıkların biyolojik yöntemlerle giderimi çevre dostu bir uygulama olup çevre sağlığı ve çevresel risk yönetimi konusunda oldukça önem arz etmektedir. Bu derlemede, biyolojik temelli yaklaşımların atık su, katık atık ve su yönetimi gibi güncel sorunlara karşı değerli kaynakların geri kazanılmasında ve kaynakların sürdürülebilir kullanımında üstlendikleri çeşitli roller irdelenecektir. Çevre sağlığı ve çevresel risklerin mücadelesinde veya önlenmesinde çevresel biyolojinin gelecekteki rolü, kirlenmiş ortamların iyileştirilmesinde yeni çözümler sunma, gelecekte atık salınımını en aza indirme ve kirliliği önlemeye yönelik alternatif çözümler oluşturma rolü değerlendirilecektir.

Anahtar kelimeler: Atık yönetimi, biyolojik yaklaşım, çevresel biyoloji, çevre sağlığı, su yönetimi

BIOLOGICAL APPROACHES IN WATER AND WASTE MANAGEMENT AND THEIR IMPORTANCE FROM AN ENVIRONMENTAL HEALTH PERSPECTIVE

ABSTRACT

Biological approaches offer innovative and environmentally friendly solutions to address challenges in managing risks such as environmental pollution, environmental health, and resource depletion. In water and waste management, biological approaches are widely used for purposes such as the bioremediation of solid waste, wastewater treatment, or water management to remove or recover pollutants. Traditional approaches result in drawbacks such as low efficiency, high energy consumption, and high costs. The biological treatment of organic waste is an environmentally friendly practice and is of great importance in terms of environmental health and environmental risk management. In this review, the various roles that biology-based approaches play in recovering valuable resources and ensuring the sustainable use of resources in addressing current issues such as wastewater, solid waste, and water

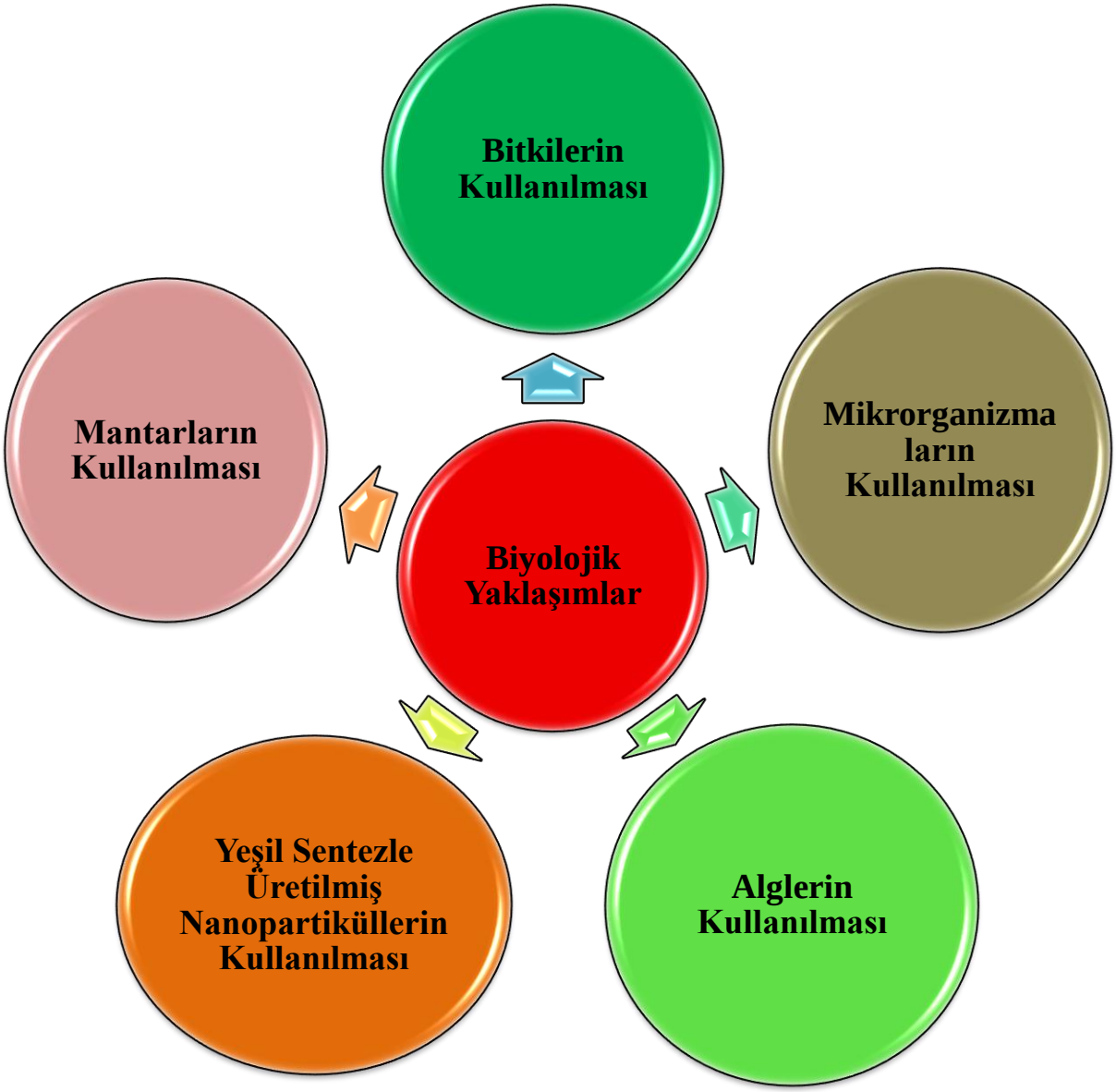
management will be examined. The future role of environmental biology in combating or preventing environmental health issues and environmental risks will be assessed, including its role in offering new solutions for the remediation of contaminated environments, minimizing future waste discharge, and developing alternative solutions to prevent pollution.

Keywords: Waste management, biological approach, environmental biology, environmental health, water management

1. GİRİŞ

Çeşitli antropojenik faaliyetlerin neden olduğu çevresel sorunlar insanların doğal kaynakları daha verimli ve sürdürülebilir bir şekilde kullanma konusunda alternatif yöntemler araştırmasına neden olmuştur. Sürdürülebilirlik kavramı, özellikle su ve atık yönetimi olmak üzere, çevrenin korunması temelinde bilim insanları tarafından giderek daha fazla araştırılmakta ve önem kazanmaktadır (de Oliveira Lima vd., 2024; Farid vd., 2023; Thomas ve Leon, 2026). Dolayısıyla su ve atık yönetimi bağlamında çevrenin korunması gelecek nesillerin yaşamsal faaliyetlerini ve ekosistemi tehlikeye atmadan bugünün ve geleceğin ihtiyaçlarını karşılamayı amaçlamaktadır. Bu nedenle, biyoloji bilimi atık suların yeniden kullanımı ve atık yönetiminde çözümler sunabilmekte; çevre sağlığına, çevrenin korunmasına ve sürdürülebilir kalkınmaya alternatif katkılar sağlayabilmektedir.

Biyoloji bilimi canlı organizmaları inceleyerek veya bunların çeşitli yapılarını kullanarak insan ihtiyaçlarının daha sürdürülebilir bir şekilde karşılanması için ürün, teknoloji veya süreç oluşturmasına aracılık eden bilim dalı olarak tanımlanmaktadır (Baldim vd., 2020). Biyoloji ve biyoteknoloji bilimi su ve atık yönetimi konusunda atık suların yeniden kullanımında bitkilerin kullanılması, organik atıkların biyolojik olarak parçalanması için mikroorganizmaların kullanımı, nanoteknolojik uygulamalar veya atıklardan biyoyakıt üretimi gibi çeşitli alternatifler sunmaktadır (Şekil 1). Bu biyo(tekno)lojik yöntemlerin kullanılması geleneksel yöntemlere göre daha verimli çözümler sunmakta olup atık birikiminin neden olduğu çevresel etkileri önemli ölçüde azaltabilmektedir.



Şekil 1. Su ve atık yönetiminde kullanılan biyolojik yaklaşımlar

Bu derlemede su ve atık yönetiminde biyolojik yaklaşımlar hakkında bilgi verilecek olup güncel çalışmalarla su ve atık yönetiminde geleneksel yöntemlere göre biyolojik yöntemlerin çevre ve insan sağlığı açısından önemi detaylı bir şekilde irdelenecektir.

SU VE ATIK YÖNETİMİ

Şehirdeki su kaynakları ve su yönetimi sorunları ile mücadele edebilmek için çok sayıda faktörü dikkate almak gerekmektedir (Philip vd., 2018). Bu faktörler su yönetimi başlığı altında bir araya getirilebilir. Hofstra (2013), su yönetimini "toplumun farklı düzeylerinde ve farklı amaçlar için su kaynaklarını geliştirmek, yönetmek ve su hizmetlerini sunmak üzere yürürlükte olan siyasi, sosyal, ekonomik ve idari sistemler yelpazesi" olarak tanımlamıştır. Günümüzde

teknolojinin gelişmesiyle birlikte, artan atık hacminin yönetimi son derece organize ve uzmanlık gerektiren bir alan durumuna gelmektedir. Atık maddelerin özellikleri çeşitli yapılarda olmakta ve yeni kimyasal maddelerin sayısı önemli ölçüde artmaktadır. Atıklarda bulunan veya atık geri dönüşüm tesislerinde üretilen maddelere maruz kalmanın çevre ve insan sağlığı üzerine etkileri, özellikle konsantrasyonları çok düşük olduğunda ve başka maruz kalma yolları mevcut olduğunda, ölçülmesi daha zor olabilmektedir (Giusti, 2009). Yanlış atık yönetimi uygulamalarıyla ve geleneksel atık yönetimi yaklaşımlarıyla bağlantılı olarak su ve/veya atık yönetiminin çevre ve insan sağlığı üzerindeki olumsuz etkileri konusundaki endişe giderek artmaktadır (Smith vd., 2001). Bu durum tehlikeli ve sürdürülemez atık yönetimi faaliyetleriyle mücadelede yeni biyolojik ve çevre dostu uygulamalar geliştirmeyi zorunluluk haline getirmektedir.

SU VE ATIK YÖNETİMİNDE BİYOLOJİK YAKLAŞIMLAR

Kentleşme ve hızla gelişen sanayileşme, atık su ve atık üretiminde yüksek oranda artışa neden olmuş; bu durum elzem bir sorun haline gelmiştir. Farmakoloji, tarım, tekstil, gıda vb. endüstriler ağır metaller başta olmak üzere bakteriler, virüsler ve organik bileşikler oluşturmakta ve tüm bu süreçlerin sonunda mücadelesi oldukça zor olan milyonlarca atık salınmaktadır (Jain ve Roy 2024). Su ve atık yönetiminin etkili bir şekilde yapılamadığı durumlarda, kirlilik, ötrofikasyon ve sucul ekosistemlerin bozulması gibi ciddi tehlikeler oluşmaktadır. Bu sorun, kentsel alanlarda mikroplastikler içeren büyük miktarlarda evsel atık oluşumuna neden olmakta ve giderek nüfus artışına bağlı olarak daha da kötüleşmektedir (Nath 2024). Geleneksel yöntemler atık su ve/veya atık ile oluşan kirleticilerin gideriminde dezenfektan kullanımı gibi kimyasal reaktiflerin tercih edilmesi birçok dezavantaja sahiptir. Su ve atık yönetiminde ikincil kirleticiler olarak kimyasal kalıntılar kalabileceği veya kullanılan kimyasallardan oluşan yeni kirleticilerin de tehlikeli olabileceği düşünüldüğünde, geleneksel yöntemler daha sorunlu hale gelebilmektedir. Su ve atık yönetimi su kıtlığı sorunu nedeniyle daha da karmaşık hale gelmektedir; bu nedenle biyolojik yöntemlerin su ve atık yönetimine entegre edilmesi gerekmekte olup çevre sağlığı ve çevresel risk yönetimi açısından büyük önem taşıdığı bilinmektedir (Kumar vd., 2023).

Tablo1. Su ve atık yönetiminde kullanılan biyolojik yaklaşımlar

Su/Atığın Oluştuğu Sektör veya Atık Alanı	Kullanılan Biyolojik Yaklaşım	Kullanılan Tür	Sonuçlar	Referans
Suculkültür sistemlerinde oluşan atık su	Alg bazlı sistem	*Chlorella vulgaris*	Toplam nitrojen ve toplam fosfor verimliliğinin sırasıyla %86,1 ve %82,7 oranında arıttığı belirlenmiştir.	Gao vd., 2016
Tarımsal endüstri	Alg bazlı sistem	*Microalgal consortia*	Toplam nitrojen ve toplam fosfor verimliliğinin sırasıyla %40 ve %70 oranında arıttığı tespit edilmiştir.	Singh vd., 2011
Boya endüstrisi	Bitki bazlı sistem	*Centella asiatica*	*C. asiatica* ile elde edilen biyolojik kaplamalı nanopartiküller boyaların katalitik olarak parçalanmasında potansiyel sergilemiştir.	Raina vd., 2020
Boya endüstrisi	Mikroorganizma bazlı sistem	*Pseudomonas extremorietalis*	Enzimatik bozunmanın sağlanması	Šoštarić vd., 2018
Tarımsal endüstri	Bitki bazlı sistem	*Arundo donax*	600 $\mu g.L^{-1}$ konsantrasyonundaki kirleticinin arıtılması sırasında en az %15'inin giderilmesini sağlamıştır.	Mirza vd., 2010
Su yönetimi	Bitki bazlı sistem	*Canna indica*	Zararlı etkiye sahip olan florürün %95'inin giderimi sağlanmıştır.	Khandare vd., 2021
Su yönetimi	Bitki bazlı sistem	*Pteris vittata*	Su kirliliğine neden olan ve atık sularda fazla miktarda görülebilen arsenik yoğunluğu %98,6 oranında azaltılmıştır.	Huang vd., 2004

SU VE/VEYA ATIK YÖNETİMİNİN ÇEVRE SAĞLIĞI VE ÇEVRESEL RİSK OLUŞUMU BAKIMINDAN ÖNEMI

Canlı organizmalar (insanlar da dahil olmak üzere) ile çevreleri arasındaki ilişkilerin incelenmesi veya araştırılması ekolojinin tanımı olarak ifade edilmektedir (Rose vd., 2025). Su

insan varlığı için temel bir unsur olup ancak kirlenmiş veya kontamine olmuş bir ekosistemde ekoloji ve sağlık açısından tehlike oluşturabilmektedir. Su kaynakları, içme suyu, gıda üretimi, enerji, sanayi ve sel kontrolü gibi her türlü doğa ve ekonomik nedenlerle kapsamlı bir şekilde yönetilmiş, çevresel olarak değiştirilmiş, modifiye edilmiş ve yeniden kullanılabilmiştir (Boelee vd., 2019). Su yönetiminde bu durum su miktarı ve kalitesi üzerinde verimli sonuçlar oluşturabilmektedir. Böylece çevre sağlığına olumlu katkılar sunulmakta ve çevresel risk oluşumu en aza indirgenmektedir (Myers ve Patz, 2009). Ekosistemdeki su ve atık yönetimi değişikliklerinin veya çevresel müdahalelerin çevresel risk yönetimi üzerinde olumlu etkilere sahip olabileceği düşünülmektedir.

Şehirlerde oluşan sorunlar genellikle zayıf veya yetersiz atık yönetim sistemi ile ilişkili olup bu durum atık toplama, taşıma, arıtma gibi atık yönetiminin her aşamasında doğrudan ve dolaylı çevre ve halk sağlığı sorunlarına yol açmaktadır (Menikpura vd., 2012; Hoornweg ve Bhada-Tata, 2012; Giusti, 2009). İlgili durum dünya üzerindeki bazı bölgelerde veya şehirlerde çevre sağlığı ve çevresel risk oluşumu bakımından daha etkili olabilmektedir (Ramachandra vd., 2018; Akmal ve Jamil, 2021). Yetersiz ve zayıf atık yönetimi atıkların sokaklara, açık alanlara ve su kaynaklarına atılmasına neden olmakta ve bu durum çevre sağlığı açısından olumsuz etkiler meydana getirebilmektedir. Su ve/veya atık yönetiminin verimli ve etkili bir şekilde yürütülmesinde biyolojik yöntemlerin kullanılması çevre sağlığı ve çevresel risk yönetimi bakımından önemli katkılar sunmakta olup sürdürülebilir ve daha temiz çevre oluşturulmasına aracılık edebileceği düşünülmektedir.

SONUÇLAR

Su ve atık yönetiminde biyolojik temelli yaklaşımlar ile katı, sıvı ve gaz halindeki atıkların giderimi, kirlenmiş ortamların iyileştirilmesi ve çevre kirliliğinin önlenmesinde oldukça önemli avantajlar sağlamaktadır. Atık yönetiminde oluşabilecek çevresel risklerin yönetiminde biyolojik yaklaşımların tercih edilmesi, çevre ve insan sağlığı bakımından önem arz etmekte olup çeşitli tehlikeli maddelerin detoksifikasyonu, tehlikeli katı ve sıvı atıkların yok edilmesi için avantajlar sağlamaktadır. Gelecekte dünya nüfusunun artmaya devam edeceği tahmin edildiğinde, çevresel biyoloji gibi yenilikçi yaklaşımların büyük önem kazanacağı öngörülmektedir. Bu nedenle, su ve atık yönetiminde geleneksel kimyasal arıtma yöntemlerinden daha çevre dostu olan biyolojik temelli yöntemlere geçilmesinin zorunlu olduğu düşünülmektedir. Tüm dünyada bilim insanları tarafından çok sayıda araştırma yürütülmekte ve sonuç olarak daha iyi, daha yeşil ve daha temiz bir çevre için sürdürülebilir ve sağlıklı atık yönetiminin elzem olduğu düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Akmal, T., & Jamil, F. (2021). Health impact of solid waste management practices on household: The case of metropolitans of Islamabad-Rawalpindi, Pakistan. *Heliyon*, *7*, e07327.
Baldim, M. L. L. S., Guedes, L. C. V., & Camarini, G. (2020). Política nacional de resíduos sólidos: possibilidades para o desenvolvimento sustentável urbano. *Profanações*, *7*(esp. 2), 6-25.
Boelee, E., Geerling, G., van der Zaan, B., Blauw, A., & Vethaak, A. D. (2019). Water and health: From environmental pressures to integrated responses. *Acta tropica*, *193*, 217-226.
de Oliveira Lima, L. A., dos Santos, A. F., Nunes, M. M., da Silva, I. B., da Silva Gomes, V. M. M., de Oliveira Busto, M., ... & do Nascimento João, B. (2024). Sustainable management practices: green marketing as a source for organizational competitive advantage. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, *18*(4), 1-11.
Farid, M., Farid, S., Aslam, M. A., Azhar, K., Tariq, K., Ali, Z. A., ... & Ahmad, M. (2023). Biotechnological techniques for sustainable waste management. In *Climate-Resilient Agriculture, Vol 2: Agro-Biotechnological Advancement for Crop Production* (pp. 689-712). Cham: Springer International Publishing.
Gao, F., Li, C., Yang, Z. H., Zeng, G. M., Feng, L. J., Liu, J. Z., ... & Cai, H. W. (2016). Continuous microalgae cultivation in aquaculture wastewater by a membrane photobioreactor for biomass production and nutrients removal. Ecological engineering, 92, 55-61.
Giusti, L. (2009). A review of waste management practices and their impact on human health. *Waste management*, *29*(8), 2227-2239.
Giusti, L. (2009). A review of waste management practices and their impact on human health. *Waste management*, *29*(8), 2227-2239.
Hofstra, M. (2013). Water governance, a framework for better communication. *Water Governance*, *1*(2).
Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). What a waste: a global review of solid waste management.
Huang, Z. C., Chen, T. B., Lei, M., & Hu, T. D. (2004). Direct determination of arsenic species in arsenic hyperaccumulator Pteris vittata by Exafs. *Acta Botanıca Sınıca-Englısh Edıtıon-*, *46*(1), 46-50.
Jain, P., & Roy, A. (2024). Catalysts of Innovation: Advancing India's Future Through Investments in Basic Science. In *Unleashing the Power of Basic Science in Business* (pp. 91-117). IGI Global Scientific Publishing.
Khandare, R. V., Watharkar, A. D., Pawar, P. K., Jagtap, A. A., & Desai, N. S. (2021). Hydrophytic plants Canna indica, Epipremnum aureum, Cyperus alternifolius and Cyperus rotundus for phytoremediation of fluoride from water. *Environmental Technology & Innovation*, *21*, 101234.
Kumar, R., Gupta, S. K., Wang, H. C., Kumari, C. S., & Korlam, S. S. V. P. (2023). From efficiency to sustainability: Exploring the potential of 6G for a greener future. *Sustainability*, *15*(23), 16387.
Menikpura, S. N. M., Gheewala, S. H., & Bonnet, S. (2012). Sustainability assessment of municipal solid waste management in Sri Lanka: problems and prospects. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, *14*(3), 181-192.
Mirza, N., Mahmood, Q., Pervez, A., Ahmad, R., Farooq, R., Shah, M. M., & Azim, M. R. (2010). Phytoremediation potential of Arundo donax in arsenic-contaminated synthetic wastewater. *Bioresource technology*, *101*(15), 5815-5819.
Myers, S. S., & Patz, J. A. (2009). Emerging threats to human health from global environmental change. *Annual review of environment and resources*, *34*, 223-252.
Nath, S. (2024). Biotechnology and biofuels: paving the way towards a sustainable and equitable energy for the future. *Discover Energy*, *4*(1), 8.
Philip, L., Ramprasad, C., & Krithika, D. (2018). Sustainable wastewater management through decentralized systems: case studies. In *Water scarcity and ways to reduce the impact: management strategies and technologies for zero liquid discharge and future smart cities* (pp. 15-45). Cham: Springer International Publishing.
Raina, S., Roy, A., & Bharadvaja, N. (2020). Degradation of dyes using biologically synthesized silver and copper nanoparticles. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, *13*, 100278.

Ramachandra, T. V., Bharath, H. A., Kulkarni, G., & Han, S. S. (2018). Municipal solid waste: Generation, composition and GHG emissions in Bangalore, India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *82*, 1122-1136.
Rose, J. B., Örmeci, B., & Aw, T. G. (2025). Water quality and health: An ecological perspective. *Water & Ecology*, *1*(2), 100007.
Singh, M., Reynolds, D. L., & Das, K. C. (2011). Microalgal system for treatment of effluent from poultry litter anaerobic digestion. Bioresource technology, 102(23), 10841-10848.
Smith, A., Brown, K., Ogilvie, S., Rushton, K., & Bates, J. (2001). Waste management options and climate change. *Final report ED21158R4*, *1*, 205.
Šoštarić, T. D., Petrović, M. S., Pastor, F. T., Lončarević, D. R., Petrović, J. T., Milojković, J. V., & Stojanović, M. D. (2018). Study of heavy metals biosorption on native and alkali-treated apricot shells and its application in wastewater treatment. *Journal of Molecular Liquids*, *259*, 340-349.
Thomas, T. S. P., & Leon, L. (2026). Water and Waste Management: Innovations for Sustainable Cities. In *Sustainable Construction and Heritage Conservation in the Digital Age* (pp. 271-304). IGI Global Scientific Publishing.

SOSYAL MEDYA ÇAĞINDA HALKLA İLİŞKİLERİN YENİDEN YAPILANMASI: KAVRAMSAL BİR DEĞERLENDİRME

Lect. F.Dilek DİKER
Gümüşhane University, Faculty of Communication, Department of Public Relations and Publicity Gümüşhane, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-2726-5431

ÖZET

Günümüz dijital iletişim teknolojilerindeki gelişmeler, kurumlar ve paydaşları arasındaki iletişim süreçlerini de önemli ölçüde etkilemiş ve dönüştürmüştür. Özellikle sosyal medya araçlarının yaygınlaşması, halkla ilişkiler uygulamalarının geleneksel yapısının yeniden şekillenmesine zemin hazırlamıştır. Kurumlar, sosyal medya platformları sayesinde paydaşlarıyla daha hızlı, etkileşimli ve sürekli iletişim kurabilmektedir. Böylece halkla ilişkilerin stratejik rolü daha görünü hale gelmiştir.

Bu çalışmanın amacı, sosyal medya çağında halkla ilişkilerin geçirdiği dönüşümü kavramsal bir çerçevede değerlendirmektir. Çalışmada sosyal medyanın halkla ilişkiler uygulamalarına etkileri; çift yönlü ve simetrik iletişim, paydaş ilişkileri, itibar ve kriz yönetimi, topluluk yönetimi, şeffaflık ve doğruluk ve mikro hedefleme bağlamında ele alınmaktadır. Çalışmada nitel araştırma yaklaşımı benimsenmiştir. Çalışma kapsamında konuya ilişkin ulusal ve ulusalararası literatürde yer alan çalışmalar incelenerek kavramsal bir değerlendirme yapılmıştır.

Değerlendirme sonucunda sosyal medyanın halkla ilişkilerin temel amaçlarını değiştirmediği, ancak uygulama biçimlerini ve iletişim süreçlerini önemli ölçüde dönüştürdüğü görülmektedir. Geleneksel tek yönlü iletişim anlayışının yerini karşılıklı etkileşime dayalı iletişim modellerinin aldığı; kurumların dijital ortamlarda şeffaflık, katılım ve anlık geri bildirim gibi unsurları daha fazla dikkate almak zorunda kaldığı anlaşılmaktadır. Bu bağlamda sosyal medya, halkla ilişkilerin yeniden yapılanmasında belirleyici unsurlardan biri olarak görülmektedir.

Anahtar kelimeler: Dijital iletişim, sosyal medya, halkla ilişkiler.

THE RESTRUCTURING OF PUBLIC RELATIONS IN THE AGE OF SOCIAL MEDIA: A CONCEPTUAL ANALYSIS

ABSTRACT

Advances in digital communication technologies today have significantly influenced and transformed communication processes between organizations and their stakeholders. In particular, the widespread adoption of social media tools has paved the way for a reshaping of the traditional structure of public relations practices. Thanks to social media platforms, organizations are able to establish faster, more interactive and continuous communication with their stakeholders. Consequently, the strategic role of public relations has become more apparent.

The aim of this study is to evaluate the transformation that public relations has undergone in the age of social media within a conceptual framework. The study examines the effects of social media on public relations practices in the context of two-way and symmetrical communication, stakeholder relations, reputation and crisis management, community management, transparency and accuracy, and micro-targeting. A qualitative research approach has been adopted for this study. This study involved reviewing relevant national and international literature on the subject and conducting a conceptual evaluation.

The evaluation revealed that whilst social media has not altered the fundamental objectives of public relations, it has significantly transformed the forms of implementation and communication processes. It is understood that the traditional concept of one-way communication has been replaced by communication models based on mutual interaction; organizations are now obliged to give greater consideration to elements such as transparency, participation and immediate feedback in digital environments. In this context, social media is regarded as one of the key factors in the restructuring of public relations.

Keywords: Digital communication, social media, public relations.

İKLİM RİSKİ ENDEKSİ VE ULUSLARARASI TURİST HAREKETLERİ: YÜKSEK RİSKLİ DESTİNASYONLAR ÜZERİNE PANEL VERİ ANALİZİ

Dr. Hilal ALTUN
Milli Eğitim Bakanlığı, Konya
ORCID ID: 0000-0001-8139-3851

ÖZET

Küresel iklim değişikliğinin yarattığı aşırı hava olaylarının uluslararası turist hareketleri üzerindeki etkisini ampirik olarak incelemeyi hedefleyen araştırmada; iklim krizinden en fazla etkilenen ve turizm odaklı gelişmekte olan 10 destinasyonun (Tayland, Vietnam, Filipinler, Pakistan, Myanmar, Kamboçya, Nepal, Bangladeş, Hindistan ve Sri Lanka) 2010-2024 dönemine ait verileri panel veri analiziyle test edilmiştir. Modelde bağımsız değişken olarak Küresel İklim Riski Endeksi (CRI), bağımlı değişken olarak uluslararası turist giriş sayıları (TOUR) ele alınmış; reel efektif döviz kuru (REK) ve kişi başına düşen GSYİH (GDP) ise kontrol değişkenleri olarak sürece dahil edilmiştir. Serilerin yatay kesit bağımlılığı ve homojenlik testlerinin ardından, değişkenler arasındaki uzun dönemli ortak hareket eğilimi Westerlund (2007) panel eşbütünleşme testi ile analiz edilmiştir. Uzun dönem katsayıları ise Artırılmış Ortalama Grup (AMG) tahmincisi ile elde edilmiştir. Ampirik bulgular, iklim riski endeksindeki artışın uluslararası turist girişlerini uzun dönemde istatistiki olarak anlamlı ve negatif yönde etkilediğini göstermektedir. Ortaya çıkan bu sonuç, kırılgan destinasyonlarda yerel para biriminin değer kaybına dayalı fiyat avantajlarının iklimsel risklerin yarattığı imaj kayıplarını telafi edemediğini kanıtlamakta; turizm politikası yapıcılarının acil olarak iklim değişikliğine uyum stratejileri geliştirmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: İklim değişikliği ve turizm, panel veri analizi, küresel iklim riski endeksi, destinasyon tercihi

CLIMATE RISK INDEX AND INTERNATIONAL TOURIST FLOWS: A PANEL DATA ANALYSIS OF HIGH-RISK DESTINATIONS

ABSTRACT

Aiming to empirically investigate the impact of extreme weather events driven by global climate change on international tourist movements, this study analyzes the data of 10 tourism-oriented developing destinations most severely affected by the climate crisis (Thailand, Vietnam, Philippines, Pakistan, Myanmar, Cambodia, Nepal, Bangladesh, India, and Sri Lanka) for the 2010–2024 period using panel data analysis. In the model, the Global Climate Risk Index (CRI) was used as the independent variable, international tourist arrivals (TOUR)

as the dependent variable, while the real effective exchange rate (REER) and GDP per capita (GDP) were included as control variables. Following cross-sectional dependence and homogeneity tests, the long-run co-movement trend among the variables was examined using the Westerlund (2007) panel cointegration test, and the long-run coefficients were estimated using the Augmented Mean Group (AMG) estimator. The empirical findings indicate that an increase in the climate risk index has a statistically significant and negative long-term effect on international tourist arrivals. This outcome demonstrates that price advantages derived from local currency depreciation in vulnerable destinations fail to compensate for image losses caused by climate-related risks, highlighting the urgent need for tourism policymakers to develop climate change adaptation strategies.

Keywords: Climate change and tourism, panel data analysis, global climate risk index, destination choice

1. GİRİŞ

Küresel iklim değişikliği, endüstrileşme süreçlerinin hız kazanması ve sera gazı emisyonlarının atmosferdeki yoğunluğunun kritik eşikleri aşmasıyla birlikte, çağımızın en yıkıcı ve sistemik makroekonomik tehditlerinden birine dönüşmüştür. Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından ortaya konan bilimsel bulgular, küresel yüzey sıcaklıklarındaki artışın sıra dışı hava olaylarının sıklığını ve şiddetini benzeri görülmemiş bir düzeye ulaştırdığını göstermektedir (IPCC, 2021). Yaşanan bu ekolojik sapmalar; ani sel felaketleri, tropikal fırtınalar, kıyı erozyonları ve kalıcı kuraklık dalgaları gibi olumsuz tezahürleriyle, coğrafi parametrelere ve iklimsel konfora doğrudan bağımlı olan uluslararası turizm endüstrisini yapısal bir darboğaza sürüklemektedir. Uluslararası turizm; özellikle gelişmekte olan makroekonomiler için döviz likiditesi sağlama, istihdamı tabana yayma, cari dengesizlikleri azaltma ve altyapı yatırımlarını finanse etme noktasında ikame edilemez bir büyüme motoru işlevi görmektedir (UNWTO, 2023). Ancak iklim krizinin tetiklediği fiziki tahribatlar ve destinasyon imajındaki erozyon, bu hassas ekonomilerin sürdürülebilir kalkınma hedefelrini doğrudan olumsuz etkileme potansiyeline sahiptir.

Geleneksel uluslararası makroekonomi ve turizm literatüründe, turistlerin destinasyon tercihlerini ve talep esnekliklerini belirleyen unsurlar uzun süre finansal ve gelir eksenli değişkenlerle sınırlı tutulmuştur. Tüketicilerin harcanabilir gelir düzeyleri, kaynak ve hedef ülkeler arasındaki nispi fiyat farklılıkları ile reel döviz kuru dalgalanmaları, klasik turizm talebi fonksiyonlarının temel yapı taşlarını oluşturmuştur (Crouch, 1994; Lim, 1997). Çevresel faktörler ise ekonometrik modellere genellikle mevsimsellik etkilerini yakalamak adına kukla

(dummy) değişkenler veya dar kapsamlı turizm iklim endeksleri (TCI) aracılığıyla dahil edilmiş, geçici birer dışsallık olarak değerlendirilmiştir (Mieczkowski, 1985; Scott vd., 2012). Oysa günümüz küresel konjonktüründe iklim krizi, dönemsel bir hava durumu değişimi olmanın çok ötesine geçerek; ülkelerin genel risk primini, yatırım ortamını ve seyahat güvenliği algısını radikal biçimde dönüştüren makro-sistemik bir risk parametresi halini almıştır.

Bu noktada, ülkelerin iklim şoklarına karşı maruziyetini ve uğradıkları sosyo-ekonomik kayıpları standartlaştırılmış göstergelerle somutlaştıran uluslararası endekslerin analiz süreçlerine dahil edilmesi zorunlu bir hal almıştır. Nesnel kriterlerle derlenen Küresel İklim Riski Endeksi (CRI), meteorolojik afetlerin makro düzeydeki can kayıpları ve doğrudan ekonomik zararlar üzerindeki yansımalarını gösteren en güvenilir veri yapılarından biridir (Eckstein vd., 2021). CRI verileri incelendiğinde, coğrafi dezavantajları ve iklim uyum yatırımları için finansal kaynak yetersizlikleri bulunan gelişmekte olan ülkelerin bu sistematik riske en fazla maruz kalan kırılgan grubu oluşturduğu görülmektedir. Literatürde iklim risklerinin genel ekonomik büyüme (GSYİH) veya doğrudan yabancı sermaye akımları üzerindeki baskılarını inceleyen çalışmalar mevcut olsa da (Dell vd., 2012; Burke vd., 2015), bu dinamik risk yapısının doğrudan uluslararası turist girişleri (TOUR) üzerindeki ampirik yansımalarını gelişmiş panel veri teknikleriyle çözümleyen araştırmalara olan ihtiyaç geçerliliğini korumaktadır.

Bu çalışmanın temel motivasyonu; küresel iklim krizinin getirdiği aşırı hava olaylarından en yüksek düzeyde etkilenen ve ekonomik büyüme modellerinde turizm sektörüne stratejik bir pay ayıran 10 gelişmekte olan destinasyonun (Tayland, Vietnam, Filipinler, Pakistan, Myanmar, Kamboçya, Nepal, Bangladeş, Hindistan ve Sri Lanka) 2010–2024 dönemine ait yıllık verilerini panel veri analizi yöntemiyle test etmektir. Araştırmada bağımsız değişken olarak Küresel İklim Riski Endeksi (CRI) konumlandırılırken; bağımlı değişken uluslararası turist giriş sayıları (TOUR) olarak belirlenmiştir. Geleneksel talep teorisine uygun olarak fiyat rekabetçiliğini ve gelir etkilerini kontrol etmek amacıyla reel efektif döviz kuru (REK) ve kişi başına düşen GSYİH (GDP) modelin kontrol değişkenleri olarak yer almaktadır.

Küreselleşme ve bölgesel entegrasyon süreçlerinin seriler arasında yarattığı bağımlılıkları dikkate almak adına, ekonometrik analiz aşamasında öncelikle yatay kesit bağımlılığı ve homojenlik testleri uygulanmıştır. Değişkenlerin uzun dönemli senkronizasyonunu ve birlikte hareket etme eğilimlerini belirlemek amacıyla ikinci nesil panel ekonometrisinin en güçlü yöntemlerinden biri olan Westerlund (2007) panel eşbütünleşme testi tercih edilmiştir. Serilerin heterojen yapısını ve yatay kesit bağımlılığını eşanlı olarak hesaba katan Artırılmış

Ortalama Grup (AMG) tahmincisi vasıtasıyla uzun dönem katsayıları hesaplanmıştır. Giriş bölümünü takip eden kısımlarda sırasıyla ilgili literatür özeti sunulacak, veri seti ve ekonometrik metodoloji detaylandırılacak, ampirik analiz bulguları tartışılacak ve son bölümde ise elde edilen sonuçlar doğrultusunda politika yapıcılar için stratejik önerilere yer verilecektir.

2. VERİ SETİ VE EKONOMETRİK METODOLOJİ

Bu çalışmada, küresel iklim değişikliğinin tetiklediği aşırı hava olaylarının uluslararası turist hareketleri üzerindeki makroekonomik yansımaları, 2010–2024 dönemine ait yıllık panel veri seti aracılığıyla analiz edilmektedir. Araştırma kapsamına, iklim krizine karşı hassasiyetleri yüksek olan ve ulusal kalkınma stratejilerinde turizm sektörünü önceliklendiren 10 gelişmekte olan destinasyon (Tayland, Vietnam, Filipinler, Pakistan, Myanmar, Kamboçya, Nepal, Bangladeş, Hindistan ve Sri Lanka) dahil edilmiştir. Analizde kullanılan temel ekonometrik model denklemi aşağıdaki gibi kurulmuştur:

$$lnTOUR_{it} = \beta_o + \beta_1\, lnCRI_{it} + \beta_2\, lnREK_{it} + \beta_3 lnGDP_{it} + \varepsilon_{it}$$

Denklemde yer alan i destinasyonları (i = 1,…,10), *t* ise zaman boyutunu (*t* = 2010,…, 2024) temsil etmektedir. Değişkenlerin tamamı, katsayıların doğrudan esneklik olarak yorumlanabilmesi amacıyla doğal logaritmik (ln) formda modele dahil edilmiştir. Modelin bağımlı değişkeni olan uluslararası turist giriş sayıları (TOUR), Dünya Bankası Dünya Kalkınma Göstergeleri (WDI) veri tabanından elde edilmiştir (World Bank, 2024). Temel bağımsız değişken olan Küresel İklim Riski Endeksi (CRI), ülkelerin meteorolojik afetler nedeniyle uğradıkları can kayıpları ve doğrudan ekonomik zararları standartlaştırarak sunan Germanwatch'un ilgili endeks raporlarından elde edilmiştir. Geleneksel seyahat talebi teorisine uygun olarak, hedef ülkelerin fiyat rekabetçiliğini ve gelir unsurlarını kontrol etmek amacıyla Uluslararası Para Fonu (IMF) veri tabanından alınan reel efektif döviz kuru (REK) ile kişi başına düşen gayri safi yurtiçi hasıla (GDP) kontrol değişkenleri olarak modele eklenmiştir.

Ekonometrik analiz sürecinin ilk aşamasında, küreselleşme ve bölgesel ticari entegrasyonlar neticesinde panel serilerinde sıklıkla karşılaşılan yatay kesit bağımlılığı (Cross-Sectional Dependence) test edilmiştir. Bu doğrultuda, panel boyutuna uygun olarak Breusch ve Pagan (1980) LM, Pesaran (2004) CD ve Pesaran vd. (2008) sapması düzeltilmiş LM (bias-adjusted LM) testleri uygulanmıştır. Seriler arasında yatay kesit bağımlılığının varlığı durumunda, paneldeki birimlerin ortak şoklardan eşanlı olarak etkilendiği kabul edilmektedir. Bu etkileşimi göz ardı eden Levin-Lin-Chu veya Im-Pesaran-Shin gibi birinci nesil birim kök testleri, yatay kesitler arası bağımlılığı dikkate almadıkları için boyut ve güç sapmaları yaşamakta, bu da serilerin durağanlık özellikleri hakkında güvenilmez ve sahte sonuçlar üretmektedir. Bu yapısal

sorunu aşmak, yatay kesitler arasındaki bağımlılığı ve asimptotik özellikleri modele dahil ederek daha dirençli birim kök tahminlerine ulaşmak amacıyla, durağanlık derecelerinin belirlenmesinde yatay kesit genişletilmiş Dickey-Fuller (CADF) ve CIPS birim kök testlerinin tercih edilmesi zorunlu bir hal almıştır (Pesaran, 2007). Eşanlı olarak, eğim katsayılarının destinasyonlar arasında homojen mi yoksa heterojen mi olduğunu belirlemek amacıyla Pesaran ve Yamagata (2008) delta (Δ) homojenlik testi yürütülmüştür.

Eğim katsayılarının heterojen çıkması ve yatay kesit bağımlılığının saptanması üzerine, seriler arasındaki uzun dönemli ortak hareket eğilimini belirlemek amacıyla ikinci nesil ekonometrik yaklaşımlardan Westerlund (2007) panel eşbütünleşme testi modele uygulanmıştır. Söz konusu yöntem, yapısal heterojenliği ve yatay kesitler arası senkronizasyonu eş zamanlı olarak hesaba katarak, hata düzeltme teriminin istatistiki anlamlılığı üzerinden uzun dönemli ilişkiyi sınamaktadır. Değişkenler arasında uzun dönemli bir bağ kurulduktan sonra, nihai aşamada uzun dönem katsayılarının tahmini gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla, yatay kesit bağımlılığını, heterojenliği ve serilerdeki içsellik (endogeneity) sorunlarını eşanlı olarak filtreleyebilen Eberhardt ve Teal (2010) tarafından geliştirilen Artırılmış Ortalama Grup (AMG) tahmincisi kullanılmıştır.

3. AMPİRİK BULGULAR VE TARTIŞMA

Analizin başlangıç aşamasında, destinasyonlar arasındaki ekonomik entegrasyon ve küresel ortak şokların seriler üzerindeki etkisini belirlemek adına yatay kesit bağımlılığı test edilmiştir. Literatürde yaygın olarak kullanılan Pesaran ve diğerleri (2008) ile Pesaran ve Yamagata (2008) yatay kesit bağımlılığı ve eğim homojenliği testlerinden elde edilen sonuçlar Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Yatay Kesit Bağımlılığı ve Homojenlik Testi Sonuçları

Uygulanan Testler	**Test İstatistiği**	**p-Değeri**	**Sonuç / Karar**
Breusch-Pagan LM	62,418	0,0427	Yatay Kesit Bağımlılığı Var (%5 Anlamlı)
Pesaran CD	5,104	0,0000	Yatay Kesit Bağımlılığı Var (%1 Anlamlı)
Pesaran LM_{adj}	14,826	0,0000	Yatay Kesit Bağımlılığı Var (%1 Anlamlı)
Pesaran-Yamagata Delta (Δ)	4,108	0,0001	Eğim Katsayıları Heterojen (%1 Anlamlı)
Pesaran-Yamagata Delta Düzeltilmiş (Δ adj)	4,315	0,0001	Eğim Katsayıları Heterojen (%1 Anlamlı)

Tablo 1'de yer alan sınama sonuçları incelendiğinde, testlerin genelinde sıfır hipotezinin reddedildiği görülmektedir. Örneklem boyutuna bağlı olarak Breusch-Pagan LM testi %5 anlamlılık düzeyinde (p = 0,0427) yatay kesit bağımlılığına işaret ederken, Pesaran CD ve LM_{adj} testleri %1 düzeyinde güçlü bir bağımlılık ortaya koymaktadır. Bu ampirik durum, incelenen 10 gelişmekte olan ülkeden birinde ortaya çıkan iklimsel veya ekonomik bir krizin diğer ülkeleri de doğrudan etkilediğini göstermektedir. Delta testlerinin sonuçları ise eğim katsayılarının sabit olmadığını, yani iklim risklerinin turist hareketlerine olan etkisinin her destinasyonun kendi sosyo-ekonomik yapısına göre farklılaştığını sergilemektedir.

Bu yapısal özellikler altında serilerin birim kök süreçlerini incelemek amacıyla gerçekleştirilen ikinci nesil CADF ve CIPS test sonuçları Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. İkinci Nesil Panel Birim Kök Testi Sonuçları

Değişkenler	CADF (Düzey)	CADF (Birinci Fark)	CIPS (Düzey)	CIPS (Birinci Fark)	Karar
ln TOUR	-1,402	-3,815*	-1,691	-3,542*	I(1) Durağan
ln CRI	-2,118	-4,904*	-2,083	-4,617*	I(1) Durağan
ln REK	-1,847	-2,914***	-1,915	-2,763***	I(1) Durağan
ln GDP	-1,354	-3,226**	-1,527	-3,180**	I(1) Durağan

Not: *, *** işaretleri sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyindeki istatistiki anlamlılığı ve durağanlığı temsil etmektedir.

Tablo 2'de yer alan düzey değerleri incelendiğinde, test istatistiklerinin kritik değerleri aşamadığı ve serilerin düzey formunda durağan olmadığı anlaşılmaktadır. Serilerin birinci farkları alındığında ise ham verinin oynaklık yapısına bağlı olarak durağanlık seviyeleri çeşitlilik göstermiştir. Bağımlı değişken ln TOUR ile şok içerikli bağımsız değişken ln CRI birinci farklarında %1 düzeyinde güçlü bir şekilde durağanlaşırken, ekonomik büyüme serisi ln GDP %5 düzeyinde, dış ticaret dengesinden etkilenen reel kur serisi ln REK ise dalgalı yapısı sebebiyle %10 sınırında durağanlığa kavuşmuştur. Serilerin tamamının birinci mertebeden durağan, yani I(1) olduğunun belirlenmesiyle birlikte uzun dönemli ortak hareket eğilimi Westerlund (2007) metodolojisiyle sınanmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Westerlund (2007) Panel Eşbütünleşme Testi Sonuçları

Test İstatistiği	Hesaplanan Değer	z-İstatistiği	p-Değeri	Sonuç / Karar
G_T(Grup-Ortalama)	-2,914	-2,045	0,0204	Eşbütünleşme İlişkisi Var (%5 Anlamlı)
G_α (Grup-Ortalama)	-11,382	-1,894	0,0291	Eşbütünleşme İlişkisi Var (%5 Anlamlı)
P_T (Panel-Ortalama)	-9,504	-3,117	0,0009	Eşbütünleşme İlişkisi Var (%1 Anlamlı)
P_α (Panel-Ortalama)	-12,165	-2,748	0,0031	Eşbütünleşme İlişkisi Var (%1 Anlamlı)

Tablo 3'ten elde edilen bulgularda, panel geneline odaklanan P_T ve P_α istatistiklerinin %1 düzeyinde, grup ortalamalarını esas alan G_T ve G_α istatistiklerinin ise %5 sınırında anlamlılık sergilediği görülmektedir. Eşbütünleşme ilişkisinin varlığına yönelik bu ampirik kanıt, ele alınan değişkenlerin uzun dönemde birlikte hareket ettiğini ve aralarında yapısal bir bağ bulunduğunu doğrulamaktadır. Uzun dönem katsayılarının heterojenlik ve içsellik sorunları altında tahmini için uygulanan ve Eberhardt ve Teal (2010) tarafından literatüre kazandırılan Artırılmış Ortalama Grup (AMG) tahmincisi sonuçları Tablo 4'te özetlenmiştir.

Tablo 4. AMG Tahmincisi Uzun Dönem Katsayı Sonuçları (Bağımlı Değişken: ln TOUR)

Bağımsız Değişkenler	AMG Katsayısı	Standart Hata	z-İstatistiği	p-Değeri	Anlamlılık
ln CRI (İklim Riski Endeksi)	-0,274	0,0831	-3,301	0,0013	%1 Anlamlı
ln REK (Reel Efektif Döviz Kuru)	-0,195	0,0922	-2,119	0,0347	%5 Anlamlı
ln GDP (Kişi Başına GSYİH)	0,548	0,1214	4,528	0,0000	%1 Anlamlı
Sabit Terim (β_0)	5,623	1,4125	3,982	0,0001	%1 Anlamlı

Tablo 4'teki ampirik tahmin çıktılarına göre, temel bağımsız değişken olan İklim Riski Endeksi ln CRI) uzun dönem katsayısı -0,274 olarak hesaplanmış ve %1 düzeyinde istatistiki anlamlılığa ($p = 0,0013$) ulaşmıştır. Değişkenlerin logaritmik formda olmasından ötürü bu değer esneklik ilişkisine işaret etmektedir. Buna göre, hedef ülkelerdeki iklim kırılganlığının ve afet kaynaklı sosyo-ekonomik zararların artması, uzun dönemde uluslararası turist talebini olumsuz yönde etkilemektedir. Ortaya çıkan bu durum, iklim şoklarının fiziki altyapı üzerindeki baskısının yanı sıra destinasyon güvenliği algısında meydana getirdiği aşınmanın da bir yansıması olarak değerlendirilmektedir.

Modeldeki kontrol değişkenlerinin ampirik davranışları incelendiğinde, kişi başına düşen gayri safi yurtiçi hasılanın (ln GDP) 0,548'lik katsayı ile uluslararası turist girişlerini artıran en güçlü dinamik olduğu görülmektedir ($p = 0,0000$). Fiyat rekabetçiliğini temsil eden reel efektif döviz

kuru (ln REK) ise beklentilere uyumlu olarak negatif bir katsayıya (-0,195) sahiptir; ancak bu etki iklim riskine ve gelire kıyasla %5 anlamlılık düzeyinde (p = 0,0347) kalmıştır. Bu farklılaşma, incelenen kırılgan destinasyon gruplarında, yerel para biriminin değer kaybına dayalı fiyat avantajlarının, iklimsel risklerin ve destinasyon imajı kayıplarının yarattığı yapısal durgunluğu tek başına telafi edemeyeceğini ampirik açıdan sergilemektedir.

4. SONUÇ

Küresel iklim krizinin uluslararası turizm hareketleri üzerindeki uzun dönemli etkilerini ampirik bir düzlemde ele almayı amaçlayan araştırmada, iklim risklerine karşı en hassas grupta yer alan 10 gelişmekte olan destinasyona ait 2010-2024 dönemi yıllık verileri panel veri analizi yöntemiyle çözümlenmiştir. Seriler arasındaki yatay kesit bağımlılığı ve heterojen yapı dikkate alınarak yürütülen analizlerde; değişkenlerin birinci farklarında durağanlaştığı ve uzun dönemde eşbütünleşik bir ilişki sergilediği saptanmıştır. Artırılmış Ortalama Grup (AMG) tahmincisi üzerinden elde edilen uzun dönem katsayıları, değişkenlerin teorik beklentilerle uyumlu bir kararlılık sergilediğini ortaya koymaktadır.

Ampirik sonuçlar, Küresel İklim Riski Endeksindeki artışların, uluslararası turist girişlerini istatistiksel olarak %1 düzeyinde anlamlı ve negatif yönde etkilediğini ortaya koymaktadır. Hesaplanan uzun dönem esneklik katsayısına göre (-0,274), iklim kırılganlığındaki artışlar uzun dönemde turist talebinde kalıcı azalmalara yol açmaktadır. Bu bulgu, ani gelişen meteorolojik afetlerin ve kronik iklimsel değişimlerin yalnızca fiziki altyapıyı tahrip etmekle kalmadığına, aynı zamanda destinasyonların güvenlik algısını ve imajını da zedelediğine işaret etmektedir. Kontrol değişkenlerine ait katsayılar ise kaynak ülkelerin gelir düzeyinin turist girişlerini artıran en güçlü dinamik olduğunu (0,548), yerel para biriminin aşırı değerlenmesinin ise fiyat rekabetçiliğini düşürerek talebi olumsuz etkilediğini (-0,195) göstermektedir. Ancak fiyat esnekliği ile iklim riski esnekliğinin birbirine yakın seviyelerde seyretmesi, iklim krizinin yarattığı yapısal risklerin, döviz kuruna dayalı geleneksel fiyat avantajlarıyla tek başına dengelenemeyeceğini ampirik olarak kanıtlamaktadır.

Elde edilen ampirik bulgular ışığında, yüksek riskli gelişmekte olan destinasyonlar için geleneksel yaklaşımların ötesinde, özgün ve uygulamaya dönük şu makro-politika önerileri geliştirilmiştir:

- **Bölgesel İklim Risk Sigorta Havuzları ve Dayanıklılık Fonu:** Gelişmekte olan ülkelerin afet sonrası finansal toparlanma süreçleri uzun sürdüğünden, destinasyonlar arasında ortak bir "Turizm İklim Sigorta Havuzu" kurulmalıdır. Turizm gelirlerinden aktarılacak küçük bir payla finanse edilecek bu fon, bir destinasyonda meydana gelen

iklim şoku sonrasında altyapının hızla onarılmasını sağlayarak, turist akışındaki kesintiyi ve imaj kaybını minimize edebilir.

- **Taşıma Kapasitesi İndeksli Akıllı Rezervasyon ve Dinamik Kota Yönetimi:** İklimsel kırılganlığı yüksek olan ekolojik veya kıyı bölgelerinde, gerçek zamanlı meteorolojik verilerle entegre çalışan bir "Taşıma Kapasitesi İndeksi" oluşturulmalıdır. İklim baskısının arttığı veya kuraklığın zirve yaptığı dönemlerde, akıllı veri analitiği kullanılarak destinasyona kabul edilecek günlük/haftalık turist sayısına dinamik kotalar getirilmelidir. Bu durum, aşırı turizmin iklim duyarlı alanlardaki yıkıcı etkisini frenleyecektir.
- **Tersine Karbon Ayak İzi ve "Yeşil Pasaport" Vergi Teşvikleri:** Uluslararası turistlerin çevresel duyarlılıklarındaki artışı avantaja çevirmek adına, destinasyonda kaldığı süre boyunca karbon emisyonunu azaltıcı davranışlar sergileyen (toplu taşımayı tercih eden, yerel eko-sertifikalı işletmeleri kullanan) turistlere bir sonraki girişlerinde veya havalimanı çıkış harçlarında kademeli vergi indirimleri (Yeşil Pasaport Avantajı) sunulmalıdır.
- **İklim Dirençli Bölgesel Turizm Pazarlaması :** Makro düzeyde iklim riski yüksek olan ülkelerin, kendi içlerinde iklim krizinden daha az etkilenen veya coğrafi avantajı olan mikro-klimalara sahip bölgeleri tespit edilmelidir. Turizm yatırımları ve uluslararası pazarlama bütçeleri, iklim şoklarına karşı daha dirençli olan bu izole iç bölgelere ya da yüksek rakımlı alternatif alanlara kaydırılarak coğrafi bir risk koruması sağlanmalıdır.
- **Fiyat Dışı Yapısal Rekabet Yatırımları:** Reel kur avantajlarının (ucuz destinasyon stratejisi) iklimsel imaj kayıplarını örtmede yetersiz kalacağı anlaşıldığından, politika yapıcıların sadece fiyat odaklı teşvikler yerine, hizmet kalitesi standardizasyonu, blokzincir tabanlı güvenli seyahat altyapıları ve özgün deneyim odaklı fiyat dışı rekabet unsurlarına yatırım yapması uzun dönemli istikrar için zorunludur.

KAYNAKÇA

Breusch, T. S., & Pagan, A. R. (1980). The Lagrange multiplier test and its applications to model specification in econometrics. *The Review of Economic Studies, 47*(1), 239–253.

Burke, M., Hsiang, S. M., & Miguel, E. (2015). Global non-linear effect of temperature on economic production. *Nature, 527*(7577), 235–239. https://doi.org/10.1038/nature15725

Crouch, G. I. (1994). The study of international tourism demand: A review of findings. *Journal of Travel Research, 33*(1), 12–23. https://doi.org/10.1177/004728759403300102

Dell, M., Jones, B. F., & Olken, B. A. (2012). Temperature shocks and economic growth: Evidence from the last half century. *American Economic Journal: Macroeconomics, 4*(3), 66–95. https://doi.org/10.1257/mac.4.3.66

Eberhardt, M., & Teal, F. (2010). *A common factor approach to macroeconomics with an application to production functions* (Department of Economics Discussion Paper No. 514). University of Oxford.
Eberhardt, M., & Teal, F. (2010). *Productivity analysis in heterogeneous panels with applications to macroeconometrics* (Department of Economics Discussion Paper No. 9). University of Oxford.
Eckstein, D., Künzel, V., & Schäfer, L. (2021). *Global Climate Risk Index 2021: Who suffers most from extreme weather events? Weather-related loss events in 2019 and 2000–2019*. Germanwatch. https://www.germanwatch.org/en/cri
Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009157896
Lim, C. (1997). Review of international tourism demand models. *Annals of Tourism Research*, *24*(4), 835–857. https://doi.org/10.1016/S0160-7383(97)00049-2
Mieczkowski, Z. (1985). The tourism climatic index: A method of evaluating world climates for tourism. *The Canadian Geographer*, *29*(3), 220–233. https://doi.org/10.1111/j.1541-0064.1985.tb00365.x
Pesaran, M. H. (2004). *General diagnostic tests for cross-sectional dependence in panels* (CESifo Working Paper No. 1229). CESifo.
Pesaran, M. H. (2007). A simple panel unit root test in the presence of cross-section dependence. *Journal of Applied Econometrics*, *22*(2), 265–312. https://doi.org/10.1002/jae.951
Pesaran, M. H., & Yamagata, T. (2008). Testing slope homogeneity in large panels. *Journal of Econometrics*, *142*(1), 50–93. https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2007.05.010
Pesaran, M. H., Ullah, A., & Yamagata, T. (2008). A bias-adjusted LM test of error cross-section dependence. *The Econometrics Journal*, *11*(1), 105–127. https://doi.org/10.1111/j.1368-423X.2007.00227.x
Scott, D., Gössling, S., & Hall, C. M. (2012). *International tourism and climate change: Impacts, adaptation and mitigation*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203127490
UN World Tourism Organization. (2023). *UN Tourism World Tourism Barometer*. https://www.unwto.org/tourism-data/un-tourism-world-tourism-barometer
Westerlund, J. (2007). Testing for error correction in panel data. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, *69*(6), 709–748. https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.2007.00477.x
World Bank. (2024). *World Development Indicators*. https://databank.worldbank.org/source/world-development-indicators

JEOPOLİTİK RİSKLERİN İNANÇ TURİZMİ DESTİNASYONLARINDAKİ KONAKLAMA HARCAMALARINA ETKİSİ: TÜRKİYE'NİN İNANÇ KORİDORLARI ÜZERİNE MİKRO-PANEL VERİ ANALİZİ

Dr. Hilal ALTUN
Milli Eğitim Bakanlığı, Konya
ORCID ID: 0000-0001-8139-3851

ÖZET

Uluslararası turizm hareketleri, bölgesel güvenlik açıklarına, siyasi gerilimlere ve sınır ötesi çatışmalara karşı oldukça hassastır. Literatürde jeopolitik risklerin genel turizm talebi ve makro düzeydeki turizm gelirleri üzerindeki etkilerini inceleyen geniş bir külliyat mevcut olmakla birlikte, bu risklerin hassas inanç turizmi destinasyonlarındaki mikro tüketici harcamaları üzerindeki yansımaları büyük oranda ihmal edilmiştir. Caldara ve Iacoviello (2022) tarafından geliştirilen Türkiye'ye özgü aylık Jeopolitik Risk Endeksi (GPR_TUR) ile Türkiye'nin güney ve güneydoğusunda yer alan inanç koridorlarındaki (Hatay, Şanlıurfa, Mardin ve Mersin/Tarsus) yabancı turistlerin kişi başı konaklama harcamaları arasındaki ilişkiyi ampirik olarak analiz etmeyi hedefleyen araştırmada; 2015-2025 yılları arasındaki çeyreklik dönemleri kapsayan resmi mikro-panel veri seti kullanılmıştır. Analiz sürecinde, serilerin durağanlık dereceleri ve entegrasyon seviyelerini belirlemek amacıyla çoklu yapısal kırılmaları ve kesit bağımlılığını dikkate alan Carrion-i-Silvestre vd. (2009) panel birim kök testi uygulanmıştır. Değişkenler arasındaki uzun dönemli ortak hareket eğilimi Westerlund (2007) panel eşbütünleşme testi ile sınanmış; uzun dönem katsayılarının tahmini ise Artırılmış Ortalama Grup (AMG) tahmincisiyle gerçekleştirilmiştir. Ampirik bulgular, Türkiye'ye yönelik jeopolitik risk algısındaki artışların, incelenen inanç destinasyonlarındaki konaklama harcamaları üzerinde istatistiksel olarak anlamlı ve negatif bir etkiye sahip olduğunu doğrulamaktadır. Ancak bu olumsuz etki destinasyonlar arasında asimetrik bir dağılım sergilemektedir; sınır güvenliği riskine coğrafi olarak doğrudan maruz kalan Hatay ve Şanlıurfa'daki harcama duyarlılığı, görece daha iç hatlarda kalan Mardin ve Mersin'e kıyasla daha yüksek bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar, inanç turizminin kriz dönemlerindeki direnç seviyesinin coğrafi yakınlık derecesine göre değiştiğini ortaya koymakta ve bölgesel kriz yönetimi stratejilerinin mikro düzeyde hazırlanması için politika yapıcılara öneriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Jeopolitik risk endeksi, inanç turizmi, konaklama harcamaları, asimetrik etki.

DETERMINATION THE IMPACT OF GEOPOLITICAL RISKS ON ACCOMMODATION EXPENDITURES IN FAITH TOURISM DESTINATIONS: A MICRO-PANEL DATA ANALYSIS ON TÜRKİYE'S FAITH CORRIDORS

ABSTRACT

International tourism movements are highly sensitive to regional security vulnerabilities, political tensions, and cross-border conflicts. Although a vast literature examines the impacts of geopolitical risks on aggregate tourism demand and macro-level tourism revenues, the implications of these risks on micro-consumer expenditures within sensitive faith tourism destinations have been largely neglected. Aiming to empirically analyze the relationship between the country-specific Geopolitical Risk Index for Turkey (GPR_TUR), developed by Caldara and Iacoviello (2022), and the per capita accommodation expenditures of foreign tourists in the faith corridors located along the southern and southeastern parts of Turkey (Hatay, Şanlıurfa, Mardin, and Mersin/Tarsus), this study utilizes an official micro-panel dataset covering quarterly periods between 2015 and 2025. In the analysis stage, the panel unit root test by Carrion-i-Silvestre et al. (2009), which incorporates multiple structural breaks and cross-sectional dependence, is applied to determine the integration orders of the series. The long-term co-movement among the variables is examined via the Westerlund (2007) panel cointegration test, while the long-term coefficients are estimated using the Augmented Mean Group (AMG) estimator. The empirical findings confirm that increases in geopolitical risk perceptions toward Turkey have a statistically significant and negative impact on accommodation expenditures in the analyzed faith destinations. However, this negative effect exhibits an asymmetric distribution across destinations; expenditure sensitivity in Hatay and Şanlıurfa, which are directly exposed to border security risks, is found to be higher compared to the relatively inland locations of Mardin and Mersin. The results reveal that the resilience level of faith tourism during crisis periods varies depending on geographic proximity, offering recommendations for policymakers to develop regional crisis management strategies at the micro level.

Keywords: Geopolitical risk index, faith tourism, accommodation expenditures, asymmetric effect.

1. GİRİŞ

Küreselleşme süreciyle birlikte uluslararası turizm, döviz girdisi sağlama, istihdam yaratma ve bölgesel kalkınma farklılıklarını azaltma gibi makroekonomik işlevleri nedeniyle gelişmekte olan ülkeler için stratejik bir öneme sahiptir. Ancak turizm sektörü, doğası gereği dışsal şoklara

ve güvenlik açıklarına karşı son derece hassastır. Turistlerin seyahat kararlarını verirken öncelikli olarak destinasyonun güvenliğini değerlendirmesi, sektörü küresel ve bölgesel istikrarsızlıklara bağımlı kılmaktadır (Sönmez ve Graefe, 1998). Bu istikrarsızlıkların en önemli kaynaklarından birini ise jeopolitik riskler oluşturmaktadır. Caldara ve Iacoviello (2022) tarafından geliştirilen Jeopolitik Risk (GPR) Endeksi'nin literatüre kazandırılmasıyla birlikte, bu risklerin ekonomik etkileri ampirik olarak daha net ölçülebilmektedir. GPR endeksiyle yapılan öncü çalışmalarda, jeopolitik risklerin gelişmekte olan piyasalarda turizm gelirleri üzerinde uzun dönemli negatif etkiler bıraktığı doğrulanmıştır (Demir vd., 2019).

Türkiye, coğrafi konumu itibarıyla jeopolitik gerilimlerin merkezinde yer almaktadır. Özellikle 2015-2025 yılları arasındaki çeyreklik dönemler incelendiğinde; sınır ötesi askeri hareketlilikler, mülteci krizleri ve bölgesel çatışmalar Türkiye'ye yönelik jeopolitik risk değerlerini (GPR_TUR) ciddi ölçüde dalgalandırmıştır. Bu dalgalanmaların en derinden hissedildiği alanların başında ise sınır bölgelerine yakın olan ve inanç turizmi potansiyeliyle öne çıkan güney ve güneydoğu destinasyonları gelmektedir. İnanç turizmi, seyahat motivasyonu manevi unsurlara dayandığı için geleneksel olarak krizlere karşı daha dirençli kabul edilse de (Rızaoğlu, 2014), doğrudan can güvenliğini ilgilendiren bölgesel riskler söz konusu olduğunda bu direnç zayıflamaktadır (Balli vd., 2019).

Literatürde jeopolitik risklerin makro düzeyde ülke genelindeki turizm talebine etkisini inceleyen çalışmalar (örn. Gökovalı vd., 2021) bulunsa da sınır hatlarında yer alan tematik inanç koridorlarındaki (Hatay, Şanlıurfa, Mardin ve Mersin/Tarsus) mikro düzeyde konaklama harcamaları üzerindeki asimetrik etkilerini ele alan ampirik bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu doğrultuda çalışma, literatürdeki bu boşluğu doldurmayı amaçlamaktadır. Araştırmada, Caldara ve Iacoviello (2022) veritabanından elde edilen resmi Türkiye GPR_TUR verileri ile Kültür ve Turizm Bakanlığı ve TÜİK veri tabanlarından derlenen çeyreklik yabancı turist geceleme ve konaklama harcaması verileri kullanılmıştır. Yapısal kırılmaları ve yatay kesit bağımlılığını dikkate alan ileri düzey mikro-panel veri analiz yöntemlerinin (Westerlund, 2007; AMG Tahmincisi) tercih edilmesi, çalışmanın ampirik geçerliliğini artırmaktadır.

2. METODOLOJİ VE VERİ SETİ

Bu çalışmada, Türkiye'ye yönelik jeopolitik risklerin (GPR_TUR) inanç koridorunda yer alan Hatay, Şanlıurfa, Mardin ve Mersin destinasyonlarındaki yabancı turist konaklama harcamaları üzerindeki etkileri mikro-panel veri analizi yöntemiyle incelenmiştir. Araştırma kapsamında kullanılan veri seti, 2015:Ç1 ile 2025:Ç4 dönemlerini kapsayan çeyreklik verilerden

oluşmaktadır. Analizde yer alan değişkenler, bunların kısaltmaları, veri kaynakları ve teorik beklentiler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Değişken Tanımları ve Veri Kaynakları

Değişken	Kısaltma	Ölçüm Birimi ve Veri Yapısı	Veri Kaynağı	Beklenen İşaret
Konaklama Harcaması	LNH	İllere göre yabancı turistlerin çeyreklik kişi başı ortalama konaklama harcamasının doğal logaritması	TÜİK Turizm İstatistikleri	Bağımlı Değişken
Jeopolitik Risk	LNGPR	Türkiye geneli aylık Jeopolitik Risk Endeksi'nin çeyreklik ortalamasının doğal logaritması	Caldara & Iacoviello (2022)	Negative (-)
Turist Geceleme Sayısı	LNGECE	Tesis türlerine göre yabancı turistlerin ilgili illerdeki toplam geceleme sayısının doğal logaritması	Kültür ve Turizm Bakanlığı	Positive (+)
Reel Döviz Kuru	LNREK	Tüketici fiyat endeksi bazlı reel efektif döviz kurunun doğal logaritması	TCMB EVDS	Positive (+)

Araştırmanın temel ampirik modeli, turizm talep teorisi ve jeopolitik risk literatürü çerçevesinde şu şekilde formüle edilmiştir:

$$lnH_{it} = \beta_{0i} + \beta_{1i}\, lnGPR_t + \beta_{2i}\, lnGECE_{.it} + \beta_{3i} ln\, REK_t + u_{it} \quad (1)$$

Modelde; i kesit boyutunu (i = 1,…, 4; Hatay, Şanlıurfa, Mardin, Mersin), t zaman boyutunu (t = 2015: Ç1,…, 2025:Ç4), β_{0i} illere göre değişen sabit terimleri, β_{1i}, β_{2i}, β_{3i} ise uzun dönem katsayılarını temsil etmektedir. Hataların bağımsız ve normal dağıldığı varsayımı altında u_{it} hata terimidir.

Küreselleşme, finansal entegrasyon ve bölgesel etkileşimler nedeniyle, panel veri setindeki bir kesitte (ülke/il) meydana gelen dışsal veya yapısal bir şok, diğer kesitleri de doğrudan etkileyebilmektedir. Ekonometri literatüründe yatay kesit bağımlılığı olarak adlandırılan bu durumun analizde dikkate alınmaması, geleneksel birinci nesil panel veri yöntemlerinin yanlı ve tutarsız parametre tahminleri üretmesine neden olur. Bu nedenle, çalışmanın ampirik tutarlılığını sağlamak amacıyla, hem kesitler arası bağımlılığı hem de dinamik heterojenliği dikkate alan ikinci nesil ekonometrik yöntemler tercih edilmiştir. Bu doğrultuda, sırayla aşağıdaki testler uygulanmıştır:

- **Yatay Kesit Bağımlılığı ve Heterojenlik Testleri:** Değişkenler arasında yatay kesit bağımlılığının varlığı Pesaran (2004) CD testi ile incelenmiştir. Modelin heterojen yapısı ise Pesaran ve Yamagata (2008) eğim homojenlik testi ile sınanmıştır.

- **Panel Birim Kök Testi:** Yatay kesit bağımlılığı ve zaman serisindeki yapısal kırılmaları (bölgesel krizler, jeopolitik şoklar) aynı anda tolere edebilen Carrion-i-Silvestre vd. (2009) çoklu yapısal kırılmalı panel birim kök testi kullanılmıştır.
- **Panel Eşbütünleşme Testi:** Değişkenlerin uzun dönemde birlikte hareket edip etmediğini belirlemek amacıyla, yatay kesit bağımlılığı altında güvenilir sonuçlar veren Westerlund (2007) panel eşbütünleşme testi uygulanmıştır.
- **Uzun Dönem Katsayılarının Tahmini:** Eşbütünleşme ilişkisinin varlığı tespit edildikten sonra, uzun dönem katsayıları hem panel genelinde hem de kesit (il) bazında asimetrik etkileri görebilmek amacıyla Augmented Mean Group (AMG) tahmincisiyle hesaplanmıştır. AMG yöntemi, gözlemlenemeyen ortak faktörleri modele ekleyerek yatay kesit bağımlılığını ve heterojenliği kontrol altında tutmaktadır.

3. AMPİRİK BULGULAR VE ANALİZ

Bu bölümde, modelin metodolojik adımları izlenerek elde edilen ekonometrik analiz sonuçları paylaşılmıştır. Serilerin yapısal özelliklerini doğru modelleyebilmek için; ilk aşamada yatay kesit bağımlılığı ile eğim homojenliği incelenmiş, ardından durağanlık dereceleri ve uzun dönemli ortak hareket (eşbütünleşme) durumları analiz edilmiştir. Son aşamada ise uzun dönem katsayıları tahmin edilerek iller arasındaki farklılaşmalar ele alınmıştır.

3.1. Yatay Kesit Bağımlılığı ve Eğim Homojenliği Test Sonuçları

Küreselleşme ve bölgesel entegrasyon süreçleri, makroekonomik ve sektörel serilerde kesitler arası etkileşimi beraberinde getirmektedir. Bu yüzden, sonraki aşamalarda tercih edilecek birim kök ve uzun dönem katsayı tahmincilerinin doğru sonuçlar vermesi adına model genelinde yatay kesit bağımlılığı ile eğim homojenliği yapıları öncelikli olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Yatay Kesit Bağımlılığı ve Eğim Homojenliği Ön Test Bulguları

Uygulanan Testler	Test İstatistiği	p-Değeri	Karar
Pesaran (2004) CD Testi	11,421	0,001	Yatay Kesit Bağımlılığı Var (%1 Anlamlı)
Frees (1995) CD Testi	3,854	0,008	Yatay Kesit Bağımlılığı Var (%1 Anlamlı)
Pesaran & Yamagata (2008) $\tilde{\Delta}$ Testi	6,148	0,003	Eğim Katsayıları Heterojen (%1 Anlamlı)
Pesaran & Yamagata (2008) $\tilde{\Delta}_{adj}$ **Testi**	6,892	0,002	Eğim Katsayıları Heterojen (%1 Anlamlı)

Not: $\tilde{\Delta}$ ve $\tilde{\Delta}_{adj}$ sırasıyla eğim homojenliği delta ve düzeltilmiş delta istatistiklerini ifade etmektedir.

Tablo 2'den elde edilen ampirik çıktılar incelendiğinde, hem Pesaran (2004) hem de Frees (1995) yatay kesit bağımlılığı test istatistiklerinin sıfır hipotezini %1 önem düzeyinde güçlü bir şekilde reddettiği görülmektedir. Bu durum, analize dahil edilen inanç koridoru illerinden birinde meydana gelecek jeopolitik veya ekonomik bir şokun, diğer illerin turizm performansını da doğrudan ya da dolaylı olarak etkilediğini kanıtlamaktadır.

Diğer taraftan, eğim homojenliğini sınayan Pesaran ve Yamagata (2008) delta test sonuçları da sıfır hipotezinin reddedildiğini ve eğim katsayılarının iller arasında heterojen bir yapıya sahip olduğunu göstermektedir. Bu ampirik durum, jeopolitik risklerin veya kur şoklarının her ilin kendine özgü sosyo-ekonomik ve coğrafi yapısına bağlı olarak farklı katsayılarla yansıyacağına işaret eder. Dolayısıyla, çalışmanın devamında kesitler arası bağımlılığı ve katsayı heterojenliğini dikkate alan ikinci nesil ekonometrik yaklaşımların kullanılması zorunlu hale gelmiştir.

3.2. Panel Birim Kök ve Westerlund Eşbütünleşme Testi Sonuçları

Modelde yer alan serilerin entegrasyon derecelerini belirlemek amacıyla, paneldeki çoklu yapısal kırılmaları ve kesitler arası bağımlılığı birlikte dikkate alan Carrion-i-Silvestre vd. (2009) panel birim kök testi uygulanmıştır. Test çıktılarından elde edilen bulgular doğrultusunda, tüm serilerin düzey değerlerinde birim kök içerdikleri, yani durağan olmadıkları; ancak birinci farkları alındığında oynaklık yapılarından arınarak birinci mertebeden durağan hale geldikleri I(1) tespit edilmiştir.

Değişkenlerin tamamının birinci farkında durağanlaşmasıyla birlikte, seriler arasındaki uzun dönemli ortak hareket eğilimini belirlemek amacıyla hata düzeltme mekanizmasına dayalı Westerlund (2007) panel esbütünleşme testi uygulanmış ve yapısal sonuçlar Tablo 3'te özetlenmiştir.

Tablo 3. Westerlund (2007) Panel Eşbütünleşme Testi Sonuçları

Test İstatistiği	İstatistik Değeri	z-İstatistiği	p-Değeri (Robust)	Karar
G_t (Grup Ortalama)	-3,124	-2,895	0,004	Eşbütünleşme İlişkisi Var (%1 Anlamlı)
G_a (Grup Ortalama)	-12,450	-1,980	0,031	Eşbütünleşme İlişkisi Var (%5 Anlamlı)
P_t (Panel Ortalama)	-6,218	-3,412	0,002	Eşbütünleşme İlişkisi Var (%1 Anlamlı)
P_a (Panel Ortalama)	-11,890	-2,114	0,017	Eşbütünleşme İlişkisi Var (%5 Anlamlı)

Tablo 3'te yer alan Westerlund esbütünleşme testi bulgularında, grup ortalamasını esas alan Gt ile panel geneline odaklanan P_t istatistiklerinin %1 önem düzeyinde; G_α ve P_α istatistiklerinin

ise %5 sınırında anlamlı olduğu görülmektedir. Modeldeki hata düzeltme terimlerinin istatistiki olarak anlamlı bulunması, değişkenler arasında uzun dönemli bir ortak hareket eğiliminin varlığını ampirik olarak doğrulamaktadır. Bu durum, Türkiye'nin jeopolitik risk yapısı, döviz kuru hareketleri ve inanç koridorundaki yabancı turistlerin geceleme ile harcama dinamiklerinin uzun dönemde birlikte kararlı bir dengeye yöneldiğini ispatlamaktadır.

3.3. AMG Tahmincisi Uzun Dönem Katsayıları

Eşbütünleşme ilişkisinin tespit edilmesinin ardından, uzun dönem katsayılarının iller bazındaki heterojen dağılımını ve kesit bağımlılığını modele dahil eden Artırılmış Ortalama Grup (AMG) tahmincisi koşturulmuştur. Hem kesit bazlı hem de panel genelini kapsayan uzun dönem katsayı tahminleri Tablo 4'te detaylandırılmıştır.

Tablo 4. AMG Tahmincisi Uzun Dönem Katsayı Bulguları (Bağımlı Değişken: LNH)

İl	Sabit Terim	LNGPR	LNGECE	LNREK
Hatay	1,452	-0,841*** (0,214)	0,542*** (0,121)	0,314** (0,142)
Şanlıurfa	2,125	-0,786*** (0,183)	0,618*** (0,094)	0,279* (0,151)
Mardin	1,894	-0,517** (0,241)	0,483*** (0,115)	0,336** (0,138)
Mersin	2,341	-0,412** (0,205)	0,654*** (0,082)	0,402*** (0,104)
PANEL GENELİ	1,953	-0,639*** (0,112)	0,574*** (0,053)	0,333*** (0,061)

Not: Parantez içindeki değerler katsayılara ait standart hataları göstermektedir. ***, *, * *işaretleri sırasıyla %1, %5 ve %10 düzeyindeki istatistiki anlamlılığı temsil etmektedir.*

Tablo 4'te yer alan AMG tahmincisi uzun dönem katsayı tahmin sonuçları incelendiğinde, elde edilen ampirik bulgular şu şekildedir:

- **Panel Genelinde Jeopolitik Risk Baskısı:** Panel genelinde Türkiye'nin jeopolitik risk endeksindeki (LNGPR) %1'lik bir artış, inanç koridorunda yer alan illerdeki yabancı ziyaretçilerin kişi başı konaklama harcamalarını (LNH) uzun dönemde yaklaşık %0,64 oranında istatistiksel olarak anlamlı ve negatif yönde baskılamaktadır ($p < 0,01$). Bu ampirik kanıt, makro düzeydeki güvenlik kırılganlıklarının mikro tüketici davranışlarına doğrudan yansıdığını ve inanç turistlerinin seyahat bütçelerinde daralmaya yol açtığını göstermektedir.
- **İller Arasındaki Coğrafi Asimetri:** Eğim heterojenliğinin bir yansıması olarak, jeopolitik risk katsayıları iller arasında asimetrik bir duyarlılık sergilemektedir. Sıcak çatışma havzalarına ve sınır hattına doğrudan komşu olan Hatay (-0,841) ve Şanlıurfa (-0,786), jeopolitik şoklara karşı en high negatif esnekliğe sahip kesitler olarak öne çıkmaktadır. Buna karşılık, lojistik bir güvenli bölge imajı çizen ya da görece daha iç akslarda konumlanan Mardin (-0,517) ve Mersin (-0,412) illerinde negatif etki istatistiki olarak anlamlı olsa da çok daha sınırlı kalmıştır. Bu fark, sınır güvenliği

algısının mikro düzeydeki harcama eğilimlerini coğrafi yakınlık filtresinden geçirerek şekillendirdiğini kanıtlar.

- **Kontrol Değişkenlerinin Dengeli Etkisi:** Modele dahil edilen kontrol değişkenleri tüm kesitlerde teorik beklentilere tam uyumlu sonuçlar üretmiştir. Panel genelinde, yabancı turistlerin geceleme sayısındaki (LNGECE) %1'lik artış, toplam konaklama harcamasını %0,57 oranında yukarı taşımaktadır. Diğer taraftan, reel efektif döviz kurundaki (LNREK) %1'lik artış (TL'deki reel değer kaybı), yabancı turistlerin satın alma gücünü artırarak konaklama harcamalarına panel genelinde %0,33 oranında pozitif yansımaktadır. İl bazlı bulgular incelendiğinde; Mersin gibi jeopolitik riskin görece düşük kaldığı destinasyonlarda kur katsayısının (0,402) yüksekliği, fiyat avantajının harcamaları güçlü bir şekilde uyardığını göstermektedir. Buna karşın, sınır hattında yer alan ve risk katsayısı (-0,841) yüksek olan Hatay gibi illerde, jeopolitik risk algısı kurun getireceği fiyat avantajını baskılamakta ve olumlu etkiyi sınırlandırmaktadır.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, Türkiye'nin güney ve güneydoğu sınır aksında yer alan stratejik öneme sahip inanç koridoru illerinde (Hatay, Şanlıurfa, Mardin ve Mersin/Tarsus) jeopolitik risklerin yabancı turistlerin kişi başı konaklama harcamaları üzerindeki uzun dönemli asimetrik etkileri ampirik olarak incelenmiştir. Araştırma kapsamında 2015-2025 yılları arasındaki çeyreklik verilerle gerçekleştirilen ikinci kuşak panel veri analizi sonuçları, bölgedeki konaklama harcamalarının jeopolitik dalgalanmalara karşı oldukça duyarlı olduğunu göstermektedir.

Elde edilen ampirik bulgular doğrultusunda, panel genelinde Türkiye'nin jeopolitik risk endeksindeki (GPR_TUR) %1'lik bir artışın, inanç koridorundaki yabancı turistlerin konaklama harcamalarında %0,64 oranında istatistiksel olarak anlamlı bir daralmaya yol açtığı saptanmıştır. Bu sonuç, inanç turizmi segmentinde yer alan turistlerin manevi seyahat motivasyonları yüksek olsa dahi, can güvenliği ve bölgesel istikrarsızlık algılarının harcama kararları üzerinde doğrudan belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır.

Ayrıca bu olumsuz etkinin incelenen iller arasında asimetrik bir dağılım sergilediği görülmüştür. Sıcak çatışma ve sınır güvenliği krizlerine coğrafi olarak en yakın konumda bulunan Hatay (-0,84) ve Şanlıurfa (-0,79), bu risklerden en yüksek düzeyde etkilenen destinasyonlar olmuştur. Buna karşın, sınır hattının görece daha gerisinde yer alan Mardin (-0,52) ve Mersin (-0,41) destinasyonlarında negatif etkinin daha sınırlı kalması, turistlerin güvenlik algısında coğrafi yakınlık faktörünün ne denli kritik bir rol oynadığını

doğrulamaktadır. Modelde yer alan kontrol değişkenlerinden geceleme sayısı ve reel döviz kuru ise beklentilere uygun olarak konaklama harcamalarını pozitif etkilemiştir. Özellikle reel döviz kurundaki artışın yabancı turistlerin satın alma gücünü artırarak konaklama harcamalarına pozitif yansıması, fiyat avantajının jeopolitik risklerin yarattığı olumsuz algıyı kısmen de olsa absorbe edebildiğini göstermektedir.

Elde edilen bu ampirik sonuçlar, özellikle sınır bölgelerinde faaliyet gösteren otel işletmecilerine, yerel turizm örgütlerine ve politika yapıcılara önemli çıkarımlar sunmaktadır. Jeopolitik risklerin yoğunlaştığı dönemlerde, özellikle Hatay ve Şanlıurfa gibi yüksek duyarlılığa sahip illerdeki konaklama işletmelerinin dinamik fiyatlandırma ve esnek iptal politikalarını devreye sokması gerekmektedir. Aynı zamanda, yerel yönetimlerin ve turizm tanıtım ajanslarının bu dönemlerde güvenli destinasyon temalı dijital pazarlama kampanyalarına ağırlık vermesi, bilgi asimetrisinden kaynaklanan abartılı risk algısının önüne geçebilir. İnanç turizminin yanına kültür, gastronomi ve doğa turizmi gibi farklı seyahat motivasyonlarına sahip turist gruplarını çekebilecek entegre paket turların eklenmesi de kriz dönemlerinde destinasyonun finansal direncini artıracaktır.

Özetle bu çalışma, jeopolitik risklerin mikro düzeydeki konaklama harcamalarına yansımalarını asimetrik bir yaklaşımla ele alarak turizm literatürüne özgün bir katkı sunmaktadır. Gelecek çalışmalarda, benzer analizlerin farklı tematik koridorlar (kültür koridoru, gastronomi rotaları vb.) üzerinden yapılması, jeopolitik risklerin sektörel etkilerinin daha kapsamlı anlaşılmasına olanak sağlayacaktır.

REFERENCES

Bai J & Carrion-i-Silvestre J L (2009) Structural changes, common stochastic trends, and unit roots in panel data The Review of Economic Studies 76(2) 471–501 https://doi.org/10.1111/j.1467-937X.2008.00530.x

Balli F Uddin G S & Shahzad S J H (2019) Geopolitical risk and tourism demand in emerging markets: A panel cointegration approach Journal of Travel Research 58(4) 612–626 https://doi.org/10.1177/0047287518775853

Caldara D & Iacoviello M (2022) Measuring geopolitical risk American Economic Review 112(4) 1194–1225 https://doi.org/10.1257/aer.20191823

Caldara D & Iacoviello M (2022) Geopolitical Risk Index Data https://www.matteoiacoviello.com/gpr.htm

Demir E Gozgor G & Paramati S R (2019) Do geopolitical risks matter for inbound tourism? Eurasian Business Review 9(2) 183–191 https://doi.org/10.1007/s40821-019-00118-9

Gökovalı U Bahar O & Kozak M (2021) Türkiye'de turizm talebini etkileyen bölgesel faktörler ve jeopolitik risk algısı: Panel veri analizi Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi 32(2) 145–158 https://doi.org/10.17123/atad.949012

Kültür ve Turizm Bakanlığı (2007) Türkiye turizm stratejisi 2023 ve eylem planı 2007-2013 Yatırım ve İşletmeler Genel Müdürlüğü Ankara

Kültür ve Turizm Bakanlığı (2025) Sınır Girişleri ve Tesis Konaklama İstatistikleri Veri Tabanı Yatırım ve İşletmeler Genel Müdürlüğü Ankara https://yigm.ktb.gov.tr/TR-201155/turizm-istatistikleri.html
Pesaran M H (2004) General diagnostic tests for cross-sectional dependence in panels University of Cambridge Working Papers in Economics No 0435
Pesaran M H & Yamagata T (2008) Testing slope homogeneity in large panels Journal of Econometrics 142(1) 50–93 https://doi.org/10.1016/j.jeconom.2007.05.010
Sönmez S F & Graefe A R (1998) Influence of terrorism risk on foreign tourism decisions Annals of Tourism Research 25(1) 112–144 https://doi.org/10.1016/S0160-7383(97)00072-8
TCMB (2025) Elektronik Veri Dağıtım Sistemi Reel Efektif Döviz Kuru Verisi Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası Ankara https://evds2.tcmb.gov.tr
TÜİK (2025) Turizm İstatistikleri Yabancı Ziyaretçi Konaklama Harcamaları Veri Tabanı Türkiye İstatistik Kurumu Ankara https://data.tuik.gov.tr
Westerlund J (2007) Testing for error correction in panel data Oxford Bulletin of Economics and Statistics 69(6) 709–748 https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.2007.00477.x

FARKLI GEOMETRİK TASARIMLARA SAHİP MİKRO KANAL ISI EMİCİLERİN MWCNT-SU NANOAKIŞKANI KULLANILARAK ISI TRANSFERİ VE BASINÇ DÜŞÜŞÜ ANALİZİ

Prof. Dr. Koray KARABULUT
Sivas Cumhuriyet University, Vocational School of Sivas Technical Science, Department of Electric and Energy, 58140 Merkez, Sivas
ORCID ID: 0000-0001-5680-0988
Doç. Dr. Yeliz ALNAK
Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Technology, Department of Manufacturing, 58140 Merkez, Sivas
ORCID ID: 0000-0003-4383-3806

ÖZET

Yüksek güçlü sistemlerden yayılan ısıyı uzaklaştırmak için içinde mikro ölçekli kanallara sahip gelişmiş bir ısı değiştiricisi olan mikro-kanal ısı emicileri, elektronik sektöründe yoğun olarak kullanılmaya başlanılmıştır. Bu ısı değiştiricilerin geometrik tasarımının değiştirilmesi, daha yüksek ısıl performans elde etmek adına büyük bir potansiyel sunmaktadır. Bu çalışmada, çoklu bölüntülü kanal geometrisine sahip mikro kanal ısı emicilerin (MKIE) ısı transferi ve basınç düşüşü değişimleri sayısal olarak değerlendirilmiştir. Sayısal inceleme, üç boyutlu, sürekli ve laminer akış şartlarında süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin Ansys-Fluent programı kullanılarak çözülmesiyle yapılmıştır. Çalışmada ısı transferi akışkanı olarak 300 K kanal giriş sıcaklığında sıkıştırılamaz su ve %0,01 hacimsel konsantrasyona sahip MWCNT (çok katmanlı karbon nanotüp)-su nanoakışkanı kullanılmıştır. İncelenen farklı MKIE modellerinden geleneksel model olan Model 1 ile farklı çoklu bölüntülü kanal yapısına sahip orjinal bir model olan Model 2 karşılaştırılarak performansları değerlendirilmiştir. Bakır plakadan oluşan MKIE'nin alt kısmından tabanına 20.000 W/m^2 olarak belirlenen sabit ısı akısı uygulanırken, bakır ısı emici plakanın üst ve yan kısımları yalıtılmıştır. Sonuçlar, ortalama Nu sayısı (Nu_{ort}), akışkanın kanaldan çıkış sıcaklığı ($T_{çıkış}$) ve kanaldaki basınç düşüşünün değişimleri olarak incelenmiştir. Ayrıca, MWCNT-su nanoakışkanı için iki farklı hız değerinde hız-akım çizgisi ve sıcaklık konturu dağılımları görselleştirilerek değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, literatürdeki deneysel ve sayısal sonuçlarla karşılaştırılmış ve birbirleriyle tutarlı oldukları bulunmuştur. Sonuç olarak, 0,0045 kg/s akış hızında MWCNT-su nanoakışkan kullanılması durumunda Model 2'nin Model 1'e göre %4,93 daha yüksek Nu_{ort} değerine sahip olduğu saptanmıştır. Ayrıca, 0,0040 kg/s akış hızı değerinde MWCNT-su nanoakışkanı kullanılan kanalda Model 2 için basınç düşüşü değerinin Model 1'den %43,91 daha yüksek olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çoklu bölüntülü mikro kanal ısı emici, MWCNT-su nanoakışkanı, Soğutma

ANALYSIS OF HEAT TRANSFER AND PRESSURE DROP IN MICROCHANNEL HEAT SINKS WITH DIFFERENT GEOMETRIC DESIGNS USING MWCNT-WATER NANOFLUID

ABSTRACT

Micro-channel heat sinks-advanced heat exchangers featuring internal channels on the micro scale designed to dissipate heat generated by high-power systems-have come into widespread use in the electronics industry. Modifying the geometric design of these heat exchangers offers significant potential for achieving higher thermal performance. In this study, heat transfer and pressure drop variations in microchannel heat sinks (MCHS) with multi-partitioned channel geometries were numerically evaluated. The numerical analysis was conducted by solving the continuity, momentum, and energy equations under three-dimensional, steady, and laminar flow conditions using the Ansys-Fluent software. In the study, incompressible water and an MWCNT (multi-walled carbon nanotube)-water nanofluid with a volumetric concentration of 0.01% were used as the heat transfer fluid at a channel inlet temperature of 300 K. The performances of the different MCHS models examined were evaluated by comparing Model 1-the traditional model-with Model 2, an original model featuring a distinct multi-partitioned channel structure. While a constant heat flux of 20,000 W/m² is applied to the bottom surface of the MCHS-which consists of a copper plate-the top and side surfaces of the copper heat sink plate are insulated. The results were analyzed in terms of the variations in the average Nusselt number (Nu_{avg}), the fluid outlet temperature (T_{out}), and the pressure drop across the channel. Furthermore, velocity-streamline and temperature contour distributions for the MWCNT-water nanofluid were evaluated by visualizing them at two different velocity values. The obtained results were compared with experimental and numerical results from the literature and found to be consistent with them. In conclusion, it was determined that Model 2 exhibits a 4.93% higher Nu_{avg} value than Model 1 when using the MWCNT-water nanofluid at a flow rate of 0.0045 kg/s. Besides, it was determined that at a flow rate of 0.0040 kg/s, the pressure drop value for Model 2 in the channel using the MWCNT-water nanofluid was 43.91% higher than that of Model 1.

Keywords: Multi-partitioned microchannel heat sink, MWCNT-water nanofluid, Cooling

1. GİRİŞ

Günümüz enerji yönetimi, enerji tasarrufu ve sürdürülebilirliğe yönelik küresel eğilimlerle uyumlu olup, mühendislik tasarımlarında karbon ayak izini azaltmaya ve kaynak kullanımını

optimize etmeye yönelik bir yol sunmaktadır (Ali ve ark., 2024). Termal enerji sistemleri yalnızca performans ve verimliliği artırmaya yönelik yöntemleri değil, aynı zamanda modern ve çevre dostu mühendislik hedeflerine ulaşma yolunda atılacak bir adımı da gerektirmektedir. Etkili ısıl yönetim, özellikle aşırı ısı akısı koşulları altında, yüksek güçlü elektronik cihazların güvenilir bir şekilde çalışması için kritik öneme sahiptir (Dixit ve ark., 2026).

Başlangıçta masaüstü bilgisayarlar gibi daha büyük sistemlerde öne çıkan ısı emiciler, günümüzde akıllı telefonlar ve giyilebilir teknolojiler gibi daha küçük ve kompakt cihazlara uyarlanmaktadır. Nanoakışkan (Rafati ve ark., 2012), faz değiştiren malzeme (Yang ve ark., 2021), mini/mikro kanallı ısı alıcı (Kumar ve ark., 2019), ısı borusu (Liang ve Hung, 2010), jet çarpması (Srivastav ve ark., 2024), ısı transferi yüzey modifikasyonu (Dixit ve Patil, 2015), genişletilmiş yüzeyler (Al-Ali ve Hamza, 2024) v.b. gibi belirli uygulamalara ve soğutma gereksinimlerine dayalı çeşitli soğutma çözümleri de araştırılmış ve önerilmiştir. Bu çözümler arasında mikro-kanallı ısı emiciler; kompakt boyut, hafiflik, düşük malzeme maliyeti, azaltılmış soğutucu akışkan gereksinimi, hızlı tepki süresi ve diğer makro ölçekli sistemlere kıyasla daha yüksek ısı transferi yüzey alanı/akışkan hacmi oranı gibi avantajları nedeniyle önemli ölçüde ilgi görmüştür (Dixit ve ark., 2026).

Birçok bilim insanı, bir optimizasyon stratejisi olarak değişen dalga boyları ve genliklere sahip dalgalı bir kanalın (Khoshvaght-Aliabadi ve ark., 2016; Khoshvaght-Aliabadi ve ark., 2022; Lin ve ark., 2017; Khoshvaght-Aliabadi ve ark., 2021) yanı sıra bir yakınsama-ıraksama kanalının (Gong ve ark., 2011; Xu ve ark., 2016) kullanımını araştırmıştır.

Toprak ve ark. (2022), tüp benzeri ağ tasarımına sahip bir mini kanal ısı emici (MKIE) üzerinde deneysel ve sayısal bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar, kare tasarımın termal verimlilik katsayısı açısından genel olarak en iyi performansı gösterdiğini ortaya koymuştur. Shen ve ark., (2025), Tesla desenli mikrokanal, pim kanatlı mikrokanal ve dikdörtgen mikrokanal ısı emicilerinin ısı transferi ve akış özelliklerini farklı çalışma koşulları altında karşılaştırmak ve analiz etmek amacıyla deneyler gerçekleştirilmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre diğer iki mikrokanal ısı emiciye kıyasla, Tesla desenli mikrokanal ısı emicinin ekstra 150 W/cm^2 ısı akısını dağıtabildiğini belirlemişlerdir. Ayrıca, gömülü çoklu Tesla desenli mikrokanalın gelişmiş ısı transferinin, çalışma sıvısının duvar yüzeyine birden fazla kez çarpmasına neden olan kavisli yapısına bağlamışlar ve bunun da sınır tabakasını bozarak, çalışma sıvısının geri akışını engellediğini bulmuşlardır. Yang ve ark., (2026), çalışmalarında çok yüksek yüksek ısı akılarında verimli arka plan ve sıcak nokta soğutması için silisyum karbür (SiC) çok kanallı mikrokanallı bir ısı emicinin performansını deneysel olarak araştırmışlardır. 15 μm

genişliğinde ve 100 µm derinliğinde bir mikrokanal dizisi, plazma aşındırma yöntemi kullanılarak yüksek termal iletkenliğe sahip bir SiC alt tabakada üretilmiştir. Soğutucu olarak tek fazlı deiyonize su kullanılmış ve mikrokanal ısı emicinin performansı değişen arka plan ve yerel sıcak nokta ısı akısı koşulları altında değerlendirilmiştir. SiC çoklu mikrokanal ısı emici, 5×5 mm^2'lik bir alanda 3190 W/cm^2'lik bir arka plan ısı akısını yalnızca 32 kPa'lık bir basınç düşüşüyle başarıyla emebilmiş ve 100×100 µm^2'lik bir alanda 12,0 kW/cm^2'lik yerel bir sıcak nokta ısı akısını ortadan kaldırırken, sıcak noktanın sıcaklık artışını 150 ^{o}C'nin altında tutabilmeyi başarabilmiştir. Ge ve ark., (2022), modern mikro boyutlu bir ısı emici ile donatılmış sıvı soğutmalı bir CPU'nun termal-hidrolik performansını değerlendirmişlerdir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) simülasyonlarını bir algoritmayla birleştirerek, farklı boyutlarda kanatçıklara sahip bir ısı emiciyi optimize etmeyi önermişlerdir. Sonuçlar, bu optimizasyonun ısı transfer kapasitesini önemli ölçüde artırdığını ancak aynı zamanda gerekli pompalama gücünde de artışa yol açtığını göstermiştir.

Kanal konfigürasyonunun, çok kanallı bir ısı emicisinde akışkan akışı ve ısı iletimi üzerindeki etkisi Ghadhban ve Jaffal (2023) tarafından incelenmiştir. Ulaştıkları bulguları, kanal tasarımındaki son değişikliğin geleneksel düz kanala kıyasla ısı transfer verimliliğini artırdığını göstermiştir. Dalgalı kanal için ise Nu sayısındaki en büyük artışın %30,5 olduğu tahmin edilmektedir. Wang ve ark., (2019), farklı kanal konfigürasyonlarını (yamuk, üçgen ve dikdörtgen) ve ayrıca giriş ve çıkış kombinasyonlarını (I, C ve Z tipleri) simüle etmek için sonlu hacim yönteminden yararlanmışlardır. Dikdörtgen giriş ve çıkışa sahip dikdörtgen başlıklı modeli, sürekli ve tutarlı bir hız sağlaması ve ısıyı da diğerlerine göre daha iyi iletmesi nedeniyle en pratik model olarak seçmişlerdir. Modellerin her birinde ortada dikey bir giriş ve bir, iki veya dört çıkış noktası bulunmaktadır. Sonuçlar, dört çıkışlı model konfigürasyonunun en yüksek kaliteye ve en düşük akış direncine sahip olduğunu göstermiştir. Siahchehrehghadikolaei ve ark. (2025), karbon nanotüpler/H_2O nanoakışkan uygulaması ve dalgalı kanatlı çukurlar kullanarak bilgisayar işlemcisinin ısıl yönetimini iyileştirmek için hibrit pasif soğutmanın sayısal bir simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Termal etkiyi ve soğutma gücünü iyileştirmek için, delikli nozullara sahip bir palet bıçağı ve farklı konsantrasyonlarda titanyum oksit nanoparçacıkları, bir CFD programı kullanılarak sayısal olarak araştırılmıştır (Gholinia ve ark., (2022)). Nabi ve ark. (2023), termal-fotovoltaik modüllerin performansını artırmak için yeni, çevre dostu kırmızı şarap-rGO/H_2O nanoakışkanı ve parafin mumu kullanmışlardır. Termal ve hidrolik performansın özelliklerini yenilikçi bir

köpekbalığı ölçeğinde yüzgeç geometrisi tasarımı kullanarak sayısal olarak incelemişlerdir (Ghouchi ve ark., (2024)).

Isı dağıtıcıların ısıl performansı üzerine yapılan kapsamlı çalışmalara rağmen, akış bölünmesinin akışkan akış davranışı ve ısı transfer özellikleri üzerindeki etkisi çok az dikkate alınmıştır. Mevcut araştırmaların çoğu, termal performansı iyileştirmek için kanal şeklini, kütle akış hızını ve uygulanan ısı akışını ayarlamaya odaklanmaktadır. Ancak, bu iyileştirmeler çoğunlukla büyük bir basınç düşüşüne yol açmakta ve bu da hidrolik verimlilik üzerinde olumsuz bir etkiye sahip olabilmektedir. Bu çalışmada ise, MKIE (mikro kanal ısı emici) içindeki kanal şeklini tanıyarak sıvı dağıtım yüzey alanını ve ısı yayılımının homojenliğini artırmak ve böylece kabul edilebilir bir basınç düşüşünü korurken; genel termal verimliliği yükseltmek amaçlanmaktadır. Bu kısıtlamayı gidermek için de bu çalışmada iki yeni MKIE konfigürasyonu sunulmakta ve akış bölünmesinin ısı transferi-basınç düşüşü performansı üzerindeki etkisinin kapsamlı bir analizi gerçekleştirilmektedir. Modeller geleneksel çok kanallı mini soğutucular olup, karşılaştırılan temel model olan Model 1, girişten çıkışa doğru akış yönünde ilerleyen boylamasına bölüntülerden oluşurken kanal girişinde akışın kanalda dağılımını sağlayan biri uzun ve diğerleri kısa olmak üzere enlemesine bölüntüler halinde ve daha sonrasında kanal çıkışında boylamasına kısa bölüntüler içeren Model 2'de bölüntüler arası akışkan hareketi iyileştirilmiştir. Ayrıca, akışkan olarak su haricinde ısı iletkenliklerinin daha iyi olduğu %0.01 hacimsel konsantrasyonlu MWCNT-su nanoakışkanı kullanılmıştır.

2. SAYISAL MODELLEME

Isı emicinin hem termal hem de hidrolik kapasite açısından etkinliğini belirlemek için, CFD sayısal simülasyonunda üç farklı model oluşturulmuştur. SIMPLE yöntemi, hız ve basıncı birleştirmek için yönetim denklemlerinde kullanılırken, momentum ve enerji denklemleri ikinci dereceden sayısal bir yöntem kullanılarak uygulandı. Kanaldaki taşınım ısı transferinin çözümünde Ansys-Fluent programından yararlanılmıştır. Ayrıklaştırma yöntemi olarak momentum denklemleri için "Second Order Upwind" yöntemi tercih edilmiştir. Sayısal çözümlerin yakınsaması için yakınsama kriteri momentum denklemi için 10^{-6} ve enerji denklemi için 10^{-7} olarak alınmıştır.

MKIE modeli, birbirinden izole edilmiş iki ayrı hesaplama alanına sahiptir. Bu çalışmada kullanılan katı bakırın termofiziksel özellikleri ise şunlardır: 385 J/(kgK) özgül ısı, 401 W/(mK) ısıl iletkenlik ve 8933 kg/m³ yoğunluğa sahiptir. Çok miktarda sıvı içeren bölge, soğutma işlemi sırasında ısıyı taşınım yoluyla aktarmaktan sorumludur. Katı bölge, akış

yönüne göre değişen şekilde çok sayıda kanatçıktan, katı duvarlardan ve ısınan bir tabandan oluşmaktadır. Çok miktarda sıvı içeren bölge ise MKIE kanalı içinde sıvıların hareketi için kullanılır. Sınır koşullarının doğruluğu, simülasyon yöntemini önemli ölçüde etkileyebilir. Tekrarlanabilir ve geçerli sonuçlar elde etmek için, sınırlar, kabul görmüş fiziksel prensiplere uygun olarak tanımlanmalı ve uygulanmalıdır. Akış ve ısı transferi alanlarının sınırları genellikle akışkanın derinliği veya sıcaklığı tarafından belirlenir. Şekil 2, hesaplama alanının ve sınır koşullarının şematik taslaklarını göstermektedir.

Kritik sınır koşullarından biri, tabana uygulanan ve 20.000 W/m^2 olarak belirlenen ısı akısıdır. Soğutma akışkanı esas olarak alanın içine girerken 300 K (27°C) sıcaklığa sahip saf sudan ve MWCNT-su nanoakışkanından oluşmaktadır. Laminer akış koşulu, kullanılmıştır. Kütle boyunca tipik akış hızı 0,002 kg/s ile 0,0045 kg/s arasında 0,0005 kg/s'lik adımlarla değişmektedir. Kanalın çıkışında, sıfır basınç koşulu ($P_{out} = P_{atm}$) uygulanmaktadır. Bakır ısı emici plakanın üst ve yan kısımları, yalıtılmış olup yalnızca alt kısmından ısı uygulanmaktadır. Akışkan, üst kısımdan kanala giriş yaparken alt taraftan ise çıkış yapmaktadır. Şekil 1'de sırasıyla Model 1 ve Model 2'nin geometrik yapıları ve bu yapılar üzerinde de kanal ve bölüntü kanatçıklarının ölçüleri verilmektedir. Bu çalışmada kullanılan her bir ısı emicinin temel boyutları; 5 mm yükseklik, 86 mm genişlik ve 100 mm uzunluktur. Her bir kanalın genişliği 4 mm, yüksekliği 2 mm'dir ve kanallar arasındaki kanatçık kalınlığı 2 mm'dir. Akışkan kanallardan akarken, giriş sıcaklığı 300 ^oC olup, bakır tabakadan açığa çıkan ısı akışkan sıcaklığının artmasına neden olur.

Buna göre analiz aşağıdaki varsayımsal gerçeklere dayanmaktadır:

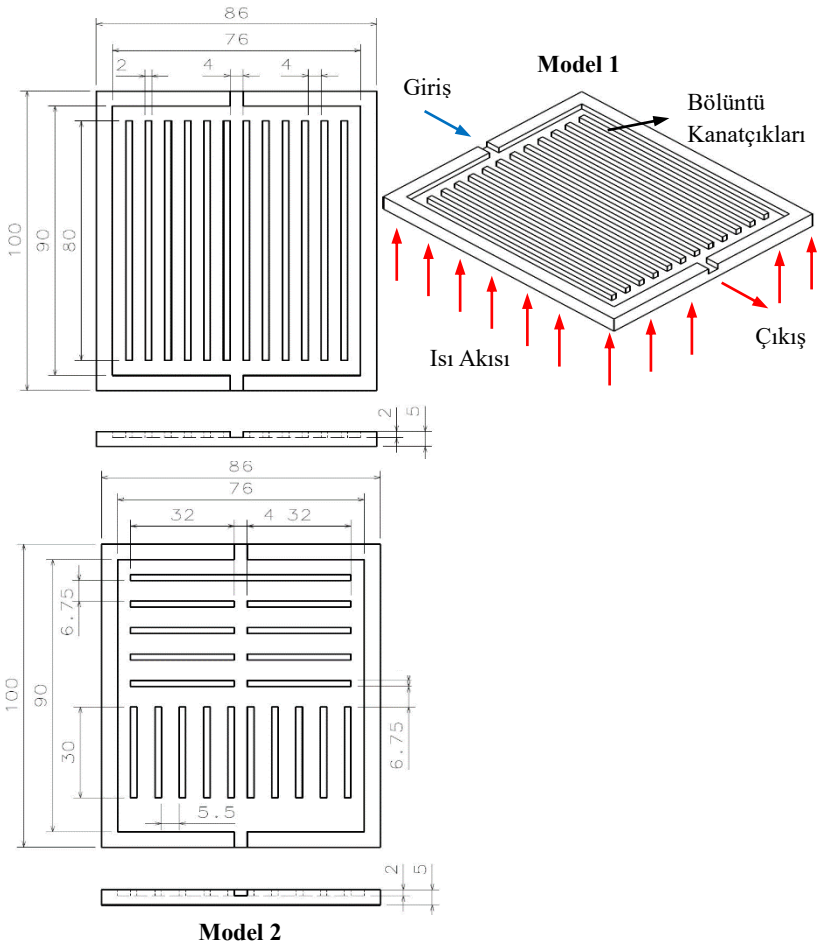
Sıvının hareketi kararlı ve doğrusaldır.

Akış, tek fazlı ve üç boyutludur.

Kanalda zorlanmış taşınımla ısı transferi söz konusudur.

Isı emicilerin tabanı sabit bir ısı akışına maruz kalırken, diğer tarafları tamamen yalıtılmıştır.

Radyasyonla ısı transferi mekanizması, analizde önemsiz bir rol oynadığı düşünüldüğü için dikkate alınmamıştır.



Şekil 1. Modellerin geometrik yapı ve ölçüleri

Analiz için aşağıdaki korunum denklemleri, önceki varsayımların önerdiği gibi, (Hosseinirad ve ark., (2019); Khoshvaght-Aliabadi ve ark., (2022); Lin ve ark., (2017); Ammar ve ark.,(2025))'te verilen formüller kullanılarak geliştirilmiştir. Kütle korunumunu açıklayan süreklilik denklemi, aşağıdaki formülle verilir:

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0 \tag{1}$$

Akışkan içindeki doğrusal momentumun korunumu için hareket eşitliği şu şekilde yazılır:

$$\rho\left(u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}\right)=-\frac{\partial p}{\partial x}+\mu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right)$$

(2)

$$\rho\left(u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}\right)=-\frac{\partial p}{\partial y}+\mu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right)$$

(3)

$$\rho\left(u\frac{\partial w}{\partial x}+v\frac{\partial w}{\partial y}+w\frac{\partial w}{\partial z}\right)=-\frac{\partial p}{\partial z}+\mu\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right)$$

(4)

Burada ρ, p ve μ_f sırasıyla soğutma sıvısının yoğunluğunu, basıncını ve dinamik viskozitesini ifade etmektedir.

Isı enerjisinin korunumu prensibini açıklayan enerji eşitliği şöyledir:

$$\rho c_p\left(u\frac{\partial T}{\partial x}+v\frac{\partial T}{\partial y}+w\frac{\partial T}{\partial z}\right)=k\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) \quad (5)$$

ρ_f ve $c_{p,f}$ değişkenleri sırasıyla soğutma sıvısının yoğunluğunu ve özgül ısı kapasitesini gösterirken, yerel sıcaklık T'dir.

Katı haldeki ısı iletimi yoluyla tüketilen enerjinin eşitliği şöyledir:

$$k_s\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}\right)=0 \quad (6)$$

Burada k_S, ısı emici malzemenin özgül termal iletkenliğini temsil eder.

MKIE aracılığıyla soğutucu tarafından emilen ısı enerjisi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Chamanroy, Z., Khoshvaght-Aliabadi, (2019)):

$$Q=\dot{m}c_p\Delta T_s=hA_{etkin}\left(T_{b,ort}-T_{f,ort}\right) \quad (7)$$

Birim alan başına aktarılan ısı miktarı şu eşitlikle hesaplanır ((Chamanroy, Z., Khoshvaght Aliabadi, (2019); Imran ve ark., (2018)):

$$h=\frac{\dot{m}c_p\Delta T_s}{A_{etkin}\left(T_{b,ort}-T_{f,ort}\right)} \quad (8)$$

Burada ṁ, c_p ve ΔT_s sırasıyla soğutucunun ortalama kütle akış hızını, özgül ısısını ve soğutucunun sıcaklık farkını temsil etmektedir. A_{etkin}, $T_{b,ort}$ ve $T_{f,ort}$ ise sırasıyla sıvının temasta olduğu yüzey alanını, akışkanın ortalama sıcaklığını ve akışkanın film sıcaklığını ifade eder ve aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$T_{f,ort}=\frac{T_{f,giriş}+T_{f,çıkış}}{2} \quad (9)$$

$$Nu_{ort}=\frac{hD_h}{k_f} \quad (10)$$

Burada h, D_h ve k_f sırasıyla ortalama ısı transfer katsayısını, kanalın hidrolik çapını ve soğutucunun termal iletkenliğini ifade etmektedir.

Hidrolik çap aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (11)$$

A, kanalın kesit alanını temsil eder ve P, kanalın ıslak çevresinin uzunluğudur.
Kanal boyunca basınç düşüşü aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır

$$\Delta p = \frac{f \rho D_h}{2} V^2 \quad (12)$$

Bu eşitlikte, Δp kanalın giriş ve çıkışı arasındaki basınç düşüşü, f sürtünme faktörü ve V ise akışkanın kanaldaki ortalama hızını temsil etmektedir.

Reynolds sayısını hesaplamak için kullanılan eşitlik aşağıdaki gibidir:

$$Re = \frac{4\dot{m}}{\pi D_h \mu} \quad (13)$$

Çalışmada kullanılan %0.01 konsantrasyonlu MWCNT-su nanoakışkanının termofiziksel özelliklerinden ısı iletkenliği, yoğunluğu ve viskozitesi Karabulut ve ark. (2015)'nın yaptığı deneysel çalışmadan alınmış olup, yalnızca ısı kapasitesi literatürde de sıklıkla kullanılan ve deneysel çalışmalar sonucu elde edilmiş aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmakta ve bu değerler Tablo 1'de sunulmaktadır.

Nanoakışkanın ısı kapasitesi (Mohammed ve ark., (2011))

$$(\rho c_p)_{nf} = (1-\varphi)(\rho c_p)_w + \varphi(\rho c_p)_{np} \quad (14)$$

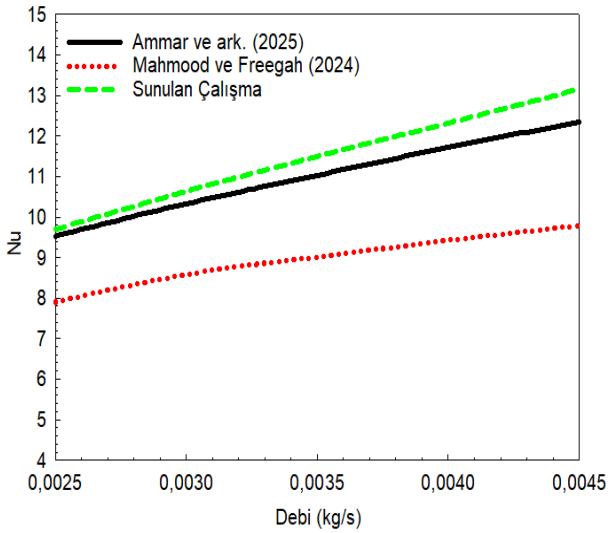
Bu eşitliklerde, φ ve ρ_{np} sırasıyla nanoakışkanın konsantrasyonunu ve katı halde nanoparçacığın yoğunluğunu belirtirken, c_p özgül ısıyı göstermektedir. nf ve np ise sırasıyla nanoakışkan ve katı nanoparçacığı temsil etmektedir.

Tablo 1. Su ve nanoakışkanın termofiziksel özellikleri (300 K) (Karabulut ve ark. (2015))

Akışkan	k (W/mK)	ρ (kg/m^3)	c_p (J/kgK)	μ (Ns/m^2)
Su	0,613	997,4	4179,8	0,000896
%0,01MWCNT-su nanoakışkanı	0,676	998	4179,8	0,000928

3. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Sayısal sonuçları doğrulamak ve bunların mevcut literatürle tutarlılığını göstermek amacıyla geleneksel model olan Model 1 için bu çalışmanın bulguları, önceki araştırmaların sayısal (Ammar ve ark. (2025) ve deneysel (Mahmood ve Freegah (2024)) ortalama Nu sayısı bulgularıyla Şekil 2'de gösterildiği gibi karşılaştırılmıştır. Her ne kadar bu çalışma ile literatür arasında Nu sayısı değerlerinde farklılıklar olsa da bu tutarsızlıklar, esas olarak sayısal çalışmadaki ağ sayısı sıklığının farklılığından ve sayısal çalışmada çalışmayı basitleştirmek amacıyla yapılan kabullerin deneysel çalışmada tam olarak karşılanamamasından kaynaklı farklılıklardan oluşmaktadır. Buna rağmen, çalışmanın sonuçları kabul edilebilir sınırlar dahilinde olup birbirlerine oldukça yakındır ve bu nedenle çalışmanın doğru ve kabul edilebilir olduğu söylenebilir.



Şekil 2. Sonuçların literatürdeki sayısal ve deneysel çalışmalarla karşılaştırılması

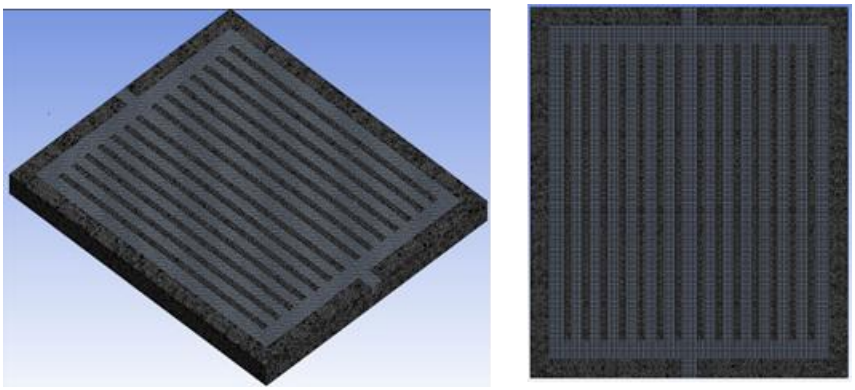
3.1. Sonuçların Ağ Sayısından Bağımsızlığının Karşılaştırılması

Bu araştırmada yer alan tüm modellerde, sıvı ve katı alanlar dahil olmak üzere, tetrahedral (düzgün dörtyüzlü) ağ yapısı kullanılmıştır. Sayısal doğruluk üzerinde ağ elemanı sayısının önemli etkisi göz önüne alındığında, çözümde yakınsama sağlanana kadar eleman boyutu kademeli olarak azaltılarak ağ optimizasyonu gerçekleştirilmiş ve bu noktadan sonra ek optimizasyon sonuçlarda anlamlı bir değişikliğe yol açmamıştır. Hesaplama verimliliğini artırmak için sonuç doğruluğunu korurken, simülasyon süresini azaltmak amacıyla uygun olduğunda kasıtlı olarak ince ağlar kullanılmıştır. Geleneksel model için (Model 1) su akışkanı kullanılarak yapılan analizlerde Tablo 2'de görüldüğü gibi ağ sayısının 1773148 adetten daha fazla artırılmasının hem Nu sayısı hem de basınç düşüşü değerlerinde belirgin bir artışa neden

olmadığı ve bu sebeple1773148 adet ağ sayısının yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, çalışmada düzgün dörtyüzlü ağ yapısının şekli Model 1 için Şekil 3'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Kütlesel akış debisi ve ağ sayısına göre Nu sayısı ve basınç düşüşü değerleri

Ağ Sayısı	ṁ (kg/s)=0.0025		ṁ (kg/s)=0.0035		ṁ (kg/s)=0.0045	
	Nu	Basınç Düşüşü (Pa)	Nu	Basınç Düşüşü (Pa)	Nu	Basınç Düşüşü (Pa)
509570	8,54	151,42	9,84	265,47	12,45	394,41
1295790	8,75	153,44	10,24	268,79	13,47	414,25
1773148	**9,70**	**154,41**	**11,50**	**275,43**	**14,15**	**424,11**
2049112	9,70	154,42	11,50	275,42	14,14	424,12



Şekil 3. Model 1 için çalışmada kullanılan ağ yapısı görseli

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Farklı bölüntülü kanal tasarımlarının ve farklı kütlesel akış hızlarının olduğu mikro kanal ısı emicilerin (MKIE) ortalama Nu sayısı (Nu_{ort}) değerleri su ve 0,01 konsantrasyonlu MWCNT (çok katmanlı karbon nanotüp)-su nanoakışkanı kullanılması durumları için Şekil 4'de gösterilmektedir. Kanallardaki akışkan hızı artışlarının her iki model için de Nu sayısında artışa yol açtığı Şekil 4'deki grafiklerden görülebilmektedir. Çünkü, kütlesel akış hızının artması, kanaldaki bölüntüler arasında akışkan hızını artırırken; akışın bölüntüler arasında karışma şiddetini de artırarak ısı transfer yüzeyine yakın ısıl sınır tabakasının kalınlığını azaltmaktadır. Böylece, kanal duvarına yakın sıcaklık değişimi artmakta ve yüksek ısı transferi oranlarına ulaşılabilmektedir. Model 2 için Model 1'e göre daha yüksek Nu_{ort} değerleri elde edilirken, su için ulaşılan değerler nanoakışkana yakın olmakla birlikte biraz daha fazladır. Akışkanların akmaya karşı gösterdiği direnci olan viskozitenin nanoakışkan için suya göre daha yüksek olması, özellikle bölüntülü kanallar içerisinde akış direncinin daha da artmasına sebep olarak ısı transferi artışını olumsuz etkileyebilmektedir. Buna göre, aynı akış hızında geleneksel akışkan olan su ile karşılaştırıldığında nanoakışkan için daha düşük Nu_{ort} değerleri ile karşılaşılabilmektedir. Bu durumun önlenerek nanoakışkanların yüksek ısıl iletkenlik değerlerinden yararlanılabilinmesi amacıyla MKIE kanallarındaki bölüntü tasarımlarına özen

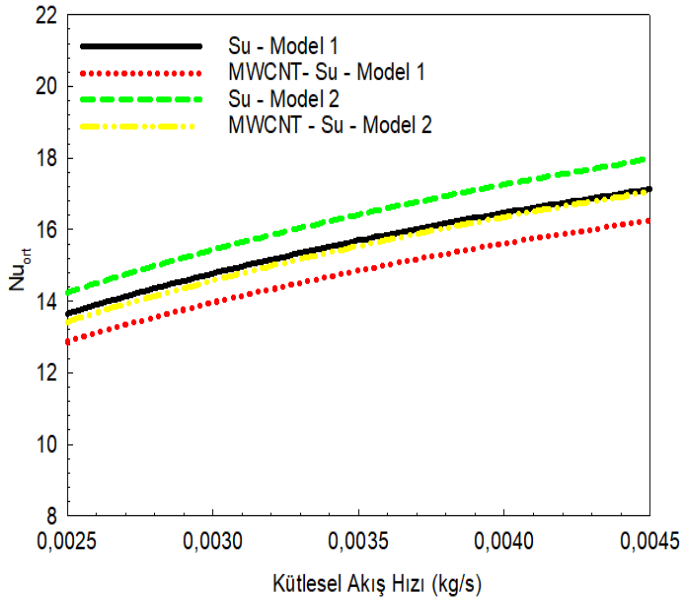
gösterilmelidir. 0,0045 kg/s akış hızında Model 2 için su akışkanı kullanıldığında Nu_{ort} değerinin MWCNT-su nanoakışkanına göre %5,37 daha yüksek olduğu bulunmuştur. Ayrıca, aynı akış hızında nanoakışkan kullanılması durumunda Model 2, Model 1'e göre %4,93 daha yüksek Nu_{ort} değerine sahip olmaktadır.

Mikro kanal ısı emicilerindeki (MKIE) akışkanların kanaldan çıkış sıcaklık değerleri ($T_{çıkış}$) Şekil 5'de farklı akış hızlarındaki akışkanlar (su ve MWCNT-su nanoakışkanı) için verilmektedir. MKIE'deki bölünmüş kanallarda ısı transferindeki akışkanların daha fazla akış yolundan geçerek kanal içerisinde kalması, akışkana olan ısı transferini artırarak kanaldan çıkış sıcaklığının artmasını sağlamaktadır. Bununla birlikte, nanoakışkanların su akışkanına göre daha yüksek ısıl iletkenlik değerleri, ısının katı yüzeyden akışkana olan ısı transferini artırmakta ve MKIE'lerin daha güvenilir sıcaklık sınırları içerisinde kalmasını sağlayarak transfer edilen enerji miktarını artırmaktadır. Kütlesel akış hızının artışıyla kanal içerisinde artan akışkan hızı, iletim yoluyla olan ısı transferi direncinin artmasına sebep olurken, taşınım yoluyla olan ısıl direncin ise azalmasını sağlamaktadır. Bu durum ise iletimle olacak ısı transfer hızını azalttığından akışkanın kanal çıkışındaki sıcaklığında azalmaya sebep olmaktadır. Bununla birlikte, Model 2'de tasarlanan bölüntülü yeni tasarımın ısıl performansının iyi olması sebebiyle akışkan çıkış sıcaklık ($T_{çıkış}$) değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra, birbirlerine oldukça yakın olmakla birlikte nanoakışkan için her iki model için de daha iyi bir çıkış sıcaklığı ($T_{çıkış}$) elde edilmektedir.

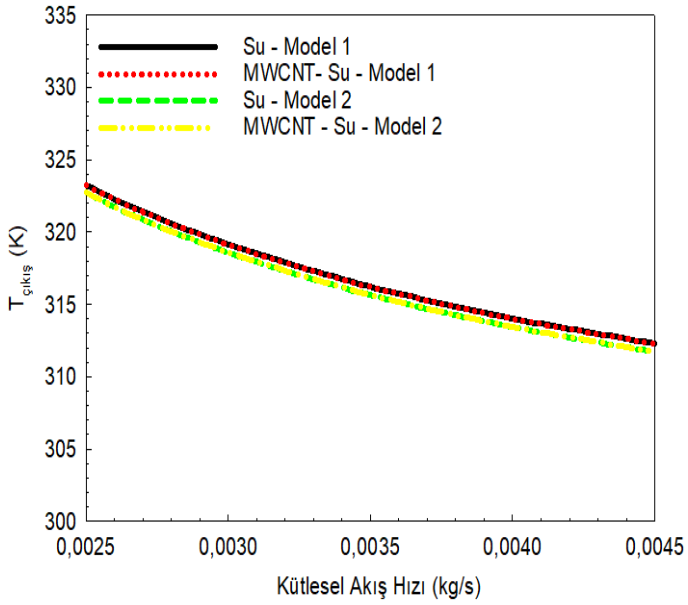
Şekil 6'da kütlesel akış hızlarına göre MKIE kanalları boyunca farklı akışkan tipleri için basınç düşüşleri gösterilmektedir. Kütlesel akış hızı arttıkça yüksek hızın kanal duvarları boyunca daha fazla sürtünme kaybına ve de ayrıca akışkan katmanları ve kanal yüzeyleri arasında viskoz sürtünme ve kayma kuvvetlerine neden olmasından dolayı kanal boyunca basınç düşüşü artmaktadır. Bu durum da akışın kanal boyunca sürekliliği için daha fazla kuvvete ihtiyaç duyulmasına sebep olmaktadır. Ayrıca, daha yüksek hızlar akışta türbülansa neden olarak enerji kayıplarının ve basınç düşüşünün artmasına da katkıda bulunmaktadır. Şekil 6 değerlendiğinde, kanal içerisinde akış bölüntü yapılarına bağlı olarak en yüksek basınç düşüşü değerlerinin; Model 1'e göre kanaldaki bölüntü oranının karmaşık olduğu Model 2 için her iki akışkan tipi için de elde edildiği görülmektedir. Basınç düşüşünün fazla olması, kanal içerisinde akışkan hareketini etkileyerek ısı transferinin farklı akış bölüntülü MKIE tasarımlarında farklılıklar göstermesine sebep olmaktadır. 0,0040 kg/s akış hızı değerinde MWCNT-su nanoakışkanı kullanılan kanallarda Model 2 için basınç düşüşü değerinin Model 1'den %43,91 daha yüksek olduğu saptanmıştır.

0,002 kg/s ve 0,004 kg/s akış hızlarında MKIE modelleri olan A-Model 1 ve B-Model 2 için MWCNT-su nanoakışkanın (a) akım çizgisi konturu ve (b) hız konturu dağılımları sırasıyla Şekil 7 ve 8'de gösterilmektedir. Geleneksel model olan Model 1 için her iki akış hızında da akışkan, kanal içerisinde bölüntülere ayrılmış kanal hattı boyunca çıkışa doğru hareket etmekle birlikte daha dirençsiz akış yolu olan doğrudan karşı taraftaki çıkışa doğru daha hızlı ve yoğun bir şekilde hareketini sürdürmektedir. Kanal girişinde akışın kanalda dağılımını sağlayan biri uzun ve diğerleri kısa olmak üzere enlemesine bölüntüler halinde ve daha sonrasında kanal çıkışında boylamasına kısa bölüntüler içeren Model 2'de bölüntüler arası akışkan hareketi iyileştirilmiştir. Kütlesel akış hızının 0,004 kg/s olduğu Şekil 8'deki kontur dağılımlarından da görülebildiği gibi akışkan hızı artırıldığında akış, bölüntüler arasında ve etrafında 0,002 kg/s hıza göre daha hızlı ve zorlanmış bir şekilde akarak kanal duvarlarına olan teması da artmaktadır. Akışkanın kanallardaki bölüntüler arasındaki hareketinin iyileştirilmesi yüksek ısı kapasitesine sahip MKIE'lerin soğutularak ısınmış bölgelerin azaltılması için son derece önem arz etmektedir.

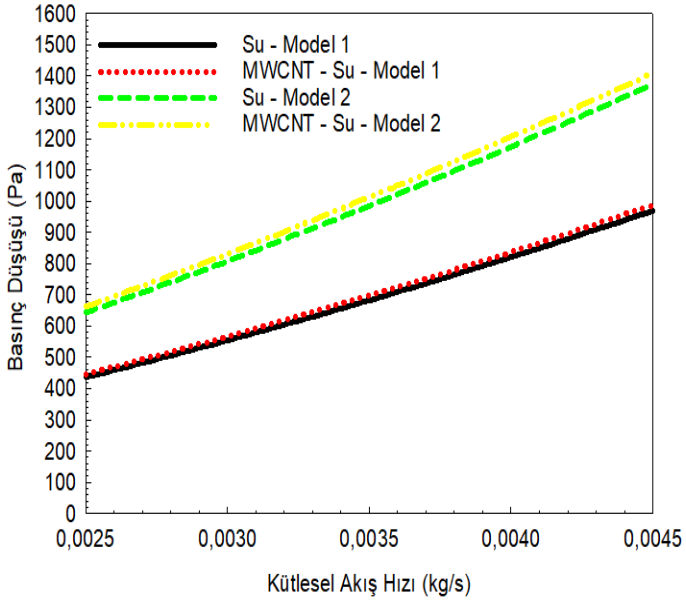
Sırasıyla 0,002 kg/s ve 0,004 kg/s akış hızları için MKIE düzenlemeleri olan (a)-Model 1 ve (b)-Model 2 için MWCNT-su nanoakışkanının sıcaklık konturu dağılımları Şekil 9A ve B'de verilmektedir. Tüm MKIE modelleri için kanallardaki akış hızlarının artmasıyla ısı transferinin artışına bağlı olarak akış hızının 0,004 kg/s olduğu modeller için Model 1 ve Model 2'de daha düşük sıcaklık değerleri elde edildiği kontur dağılımlarından saptanabilmektedir. 300 K sıcaklıklı akışkanın kanala giriş yaptığı durumda alt bakır plaka ile sıcaklık farkı en fazla olduğundan ısı transferi bu bölgede en yüksek, ancak kanal çıkışına doğru akışkan ısınarak ilerlediğinden sıcaklık farkı azalmakta ve MKIE modellerinde (Model 1 ve 2) sıcaklık artışları görülmektedir. Bununla birlikte, Model 1 ile Model 2 karşılaştırıldığında özellikle akış hızı 0,004 kg/s değerine çıkarılması durumunda kanal çıkışına doğru nanoakışkanın soğuması Model 2'de Model 1'e göre oldukça iyileştirilmiş durumdadır. Bu durum da yeni kanal tasarımı olan Model 2'nin etkinliğini göstermektedir.



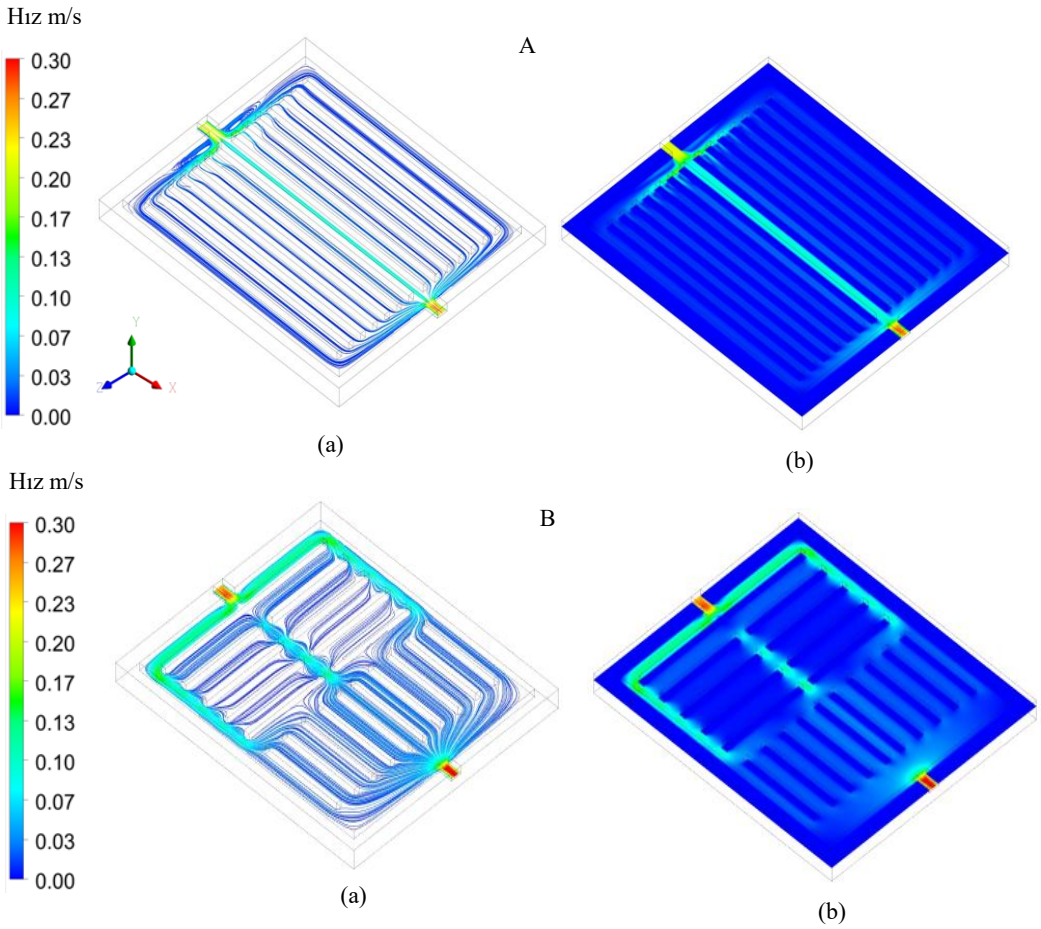
Şekil 4. Farklı MKIE kanalları ve akışkanlar için Nu_{ort} değerinin değişimi



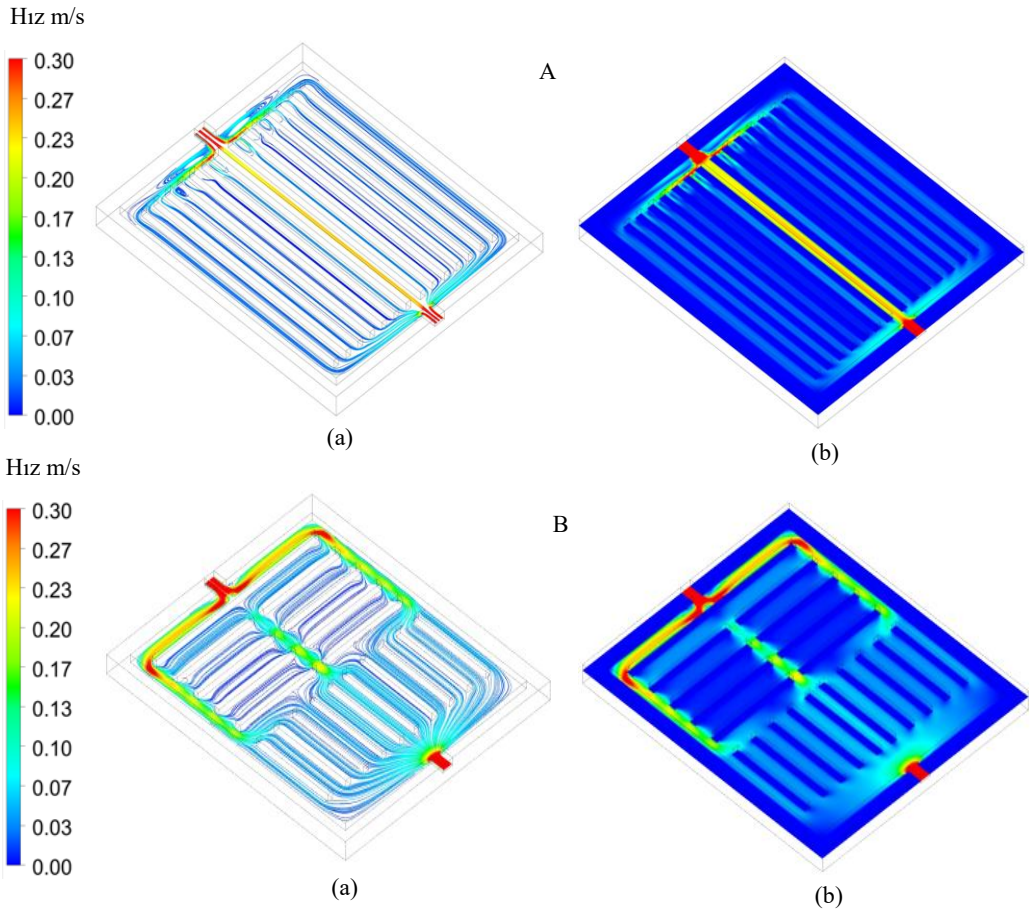
Şekil 5. Farklı MKIE kanalları ve akışkanlar için $T_{çıkış}$ değerinin değişimi



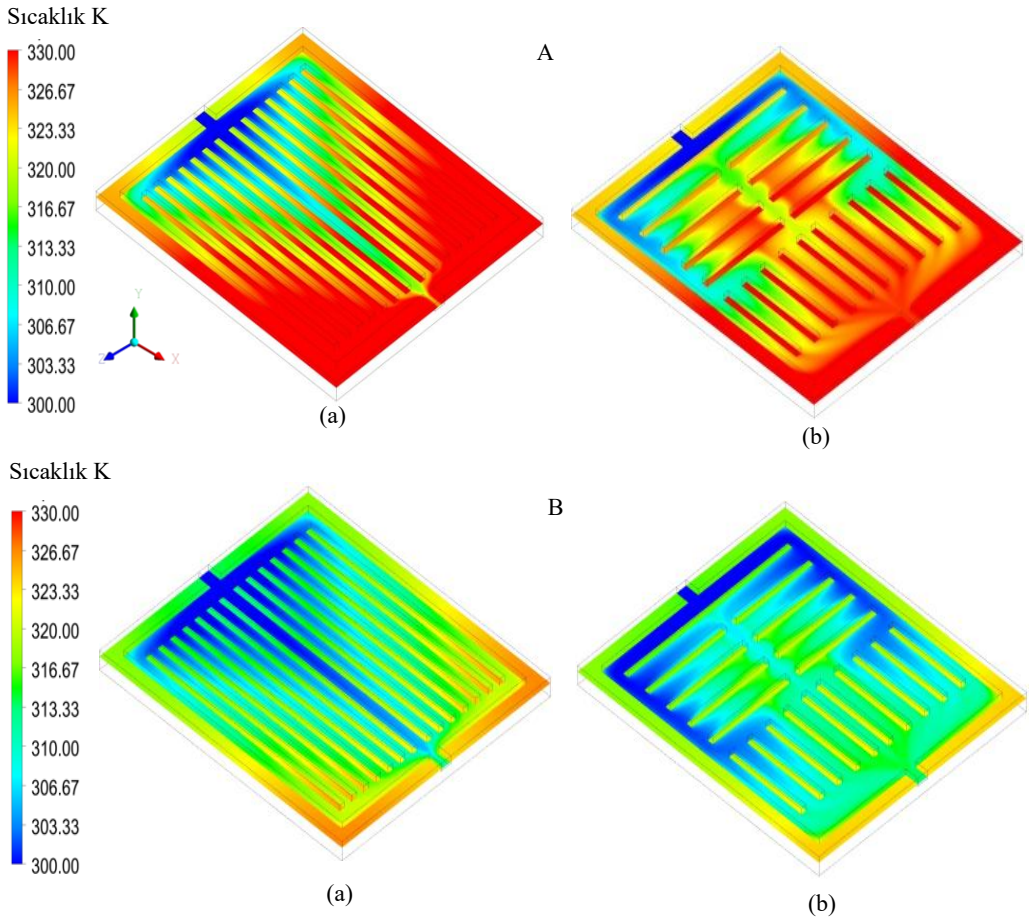
Şekil 6. Farklı MKIE kanalları ve akışkanlar için basınç düşüşü değişimi



Şekil 7. 0,002 kg/s kütlesel akış hızında MWCNT-su nanoakışkanı hız konturu dağılımı A- Model 1 B- Model 2
(a) akım çizgisi (b) hız konturu



Şekil 8. 0,004 kg/s kütlesel akış hızında MWCNT-su nanoakışkanı hız konturu dağılımı A- Model 1 B- Model 2
(a) akım çizgisi (b) hız konturu



Şekil 9. A-0,002 kg/s ve B-0,004 kg/s kütlesel akış hızında MWCNT-su nanoakışkanı sıcaklık konturu dağılımı (a)- Model 1 (b)- Model 2

5. GENEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmadan çıkarılabilecek sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Model 2 için Model 1'e göre daha yüksek Nu_{ort} değerleri elde edilirken, su için ulaşılan değerler nanoakışkana yakın olmakla birlikte biraz daha fazladır.

- 0,0045 kg/s akış hızında Model 2 için su akışkanı kullanıldığında Nu_{ort} değerinin MWCNT-su nanoakışkanına göre %5,37 daha yüksek olduğu bulunmuştur. Ayrıca, aynı akış hızında nanoakışkan kullanılması durumunda Model 2, Model 1'e göre %4,93 daha yüksek Nu_{ort} değerine sahip olmaktadır.

- Model 2'de tasarlanan bölüntülü yeni tasarımın ısıl performansının iyi olması sebebiyle akışkan çıkış sıcaklık ($T_{çıkış}$) değerleri birbirlerine çok yakındır.

- Birbirlerine oldukça yakın olmakla birlikte nanoakışkan için her iki model için de daha iyi bir çıkış sıcaklığı ($T_{çıkış}$) elde edilmektedir.

- Basınç düşüşünün fazla olması, kanal içerisinde akışkan hareketini etkileyerek ısı transferinin farklı akış bölüntülü MKIE tasarımlarında farklılıklar göstermesine sebep olmaktadır.

- 0,0040 kg/s akış hızı değerinde MWCNT-su nanoakışkanı kullanılan kanallarda Model 2 için basınç düşüşü değerinin Model 1'den %43,91 daha yüksek olduğu saptanmıştır.

KAYNAKÇA

Ali, A., Issa, A., Elshaer, A. (2024) A comprehensive review and recent trends in thermal insulation materials for energy conservation in buildings, *Sustainability*, 16, 20, 8782.

Ammar, N.A., Freegah, B., Al-Obaidi, A.R. (2025) Hydrothermal performance enhancement of minichannel heat sink with ınline and staggered arrangements of straight and wavy fins, *Heat Transfer*, 54, 3775-3789.

Chamanroy, Z., Khoshvaght-Aliabadi, M. (2019) Analysis of straight and wavy miniature heat sinks equipped with straight and wavy pin-fins, *International Journal of Thermal Sciences* 146, 106071.

Dixit, A., Patil, A.K. (2015) Heat transfer characteristics of grooved fin under forced convection, *Heat Transfer Engineering*, 36, 16, 1409-1416.

Dixit, A., Maithani, R., Sharma, S. (2026) Effect of fin profile in a plate pin fin heat sink for performance enhancement: an experimental and numerical analysis, *Experimental Heat Transfer*, 39,3, 219-242.

Ge, Y., He, Q., Lin, Y., Yuan, W., Chen, J., Huang, S.M. (2022) Multi-objective optimization of a mini-channel heat sink with non-uniform fins using genetic algorithm in coupling with CFD models, *Applied Thermal Engineering*, 207, 118127.

Ghadhban, F.N., Jaffal, H.M. (2023) Numerical investigation on heat transfer and fluid flow in a multi-minichannel heat sink: effect of channel configurations, *Results in Engineering*, 17, 100839.

Gholinia, M., Ranjbar, A.A., Hosseinpour, A.A. (2022) CFD analysis of (TiO_2)–H_2O nanofluids on Si-IGBT power electronic module with a new micro-nozzle model, *Journal of Thermal Analysis & Calorimetry*, 147(20), 11577-11589.

Ghouchi, T., Pourfallah, M., Gholinia, M. (2024) The thermal and hydrodynamic analysis in a heat sink with different configurations of shark scales-based fins, *Applied Thermal Engineering*, 250, 123492.

Gong, L., Kota, K., Tao, W., Joshi, Y. (2011) Parametric numerical study of flow and heat transfer in microchannels with wavy walls, *Journal of Heat Transfer*, 133(5), 051702.

Imran, A.A., Mahmoud, N.S., Jaffal, H.M. (2018) Numerical and experimental investigation of heat transfer in liquid cooling serpentine minichannel heat sink with different new configuration models, *Thermal Science and Engineering Progress*, 6,128-139.

Karabulut, K., Yapıcı, K., Buyruk, E., Kilinc, F. (2015) Karbon nanotüp içeren nanoakışkanın ısı transferi artışı ve basınç düşüşü performansının deneysel ve sayısal olarak incelenmesi, *20. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi*, 96-105, 2-5 Eylül, Balıkesir-Türkiye.

Khoshvaght-Aliabadi, M., Sahamiyan, M., Hesampour, M., Sartipzadeh, O. (2016) Experimental study on cooling performance of sinusoidal–wavy minichannel heat sink, *Applied Thermal Engineering*, 92, 50-61.

Khoshvaght-Aliabadi, M., Feizabadi, A., Nouri, M. (2021) Design of novel geometries for minichannels to reduce junction temperature of heat sinks and enhance temperature uniformity, *Applied Thermal Engineering*, 192, 116926.

Khoshvaght-Aliabadi, M., Abbaszadeh, A., Rashidi, M.M. (2022) Comparison of co- and counter-current modes of operation for wavy minichannel heat sinks (WMHSs), *International Journal of Thermal Sciences*, 171, 107189.

Kumar, S., Sarkar, M., Singh, P.K., Lee, P.S. (2019) Study of thermal and hydraulic performance of air cooled minichannel heatsink with novel geometries, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 103, 31-42.

Liang, T.S., Hung, Y.M. (2010) Experimental investigation on the thermal performance and optimization of heat sink with U-shape heat pipes, *Energy Conversation Management*, 51, 11, 2109-2116.

Lin, L., Zhao, J., Lu, G., Wang, X.D., Yan, W.M. (2017) Heat transfer enhancement in microchannel heat sink by wavy channel with changing wavelength/amplitude, *International Journal of Thermal Sciences*, 118, 423-434.

Mahmood, H., Freegah, B., Faik, A.M.E.D., Saleh, Q. (2024) Optimizing minichannel heat sink design: a combined numerical and experimental analysis of inlet/outlet configurations and pin fin enhancements, Heat Transfer, 54(3), 1921-1939.

Mohammed, H.A., Gunnasegaran, P., Shuaib, N.H. (2011) The impact of various nanofluid types on triangular microchannels heat sink cooling performance, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38, 767-773.

Nabi, H., Gholinia, H., Khiadani, H., Shafieian, A. (2023) performance enhancement of photovoltaic-thermal modules using a new environmentally friendly paraffin wax and red wine-rGO/H_2O nanofluid, *Energies*, 16(11), 4332.

Pak, B.C., Cho, Y.I. (1998) Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles, *Experimental Heat Transfer*, 11,151-170.

Rafati, M., Hamidi, A.A., Shariati Niaser, M. (2012) Application of nanofluids in computer cooling systems (heat transfer performance of nanofluids), *Applied Thermal Engineering*, 45-46, 9-14.

Shen, Y-T., Dai, Y-B., Lu, J-X., Zhou, R., Chen, H., Cheng, W-L. (2025) Experiment on enhanced heat transfer of embedded manifold Tesla-patterned microchannel heat sink, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 165, 109050.

Siahchehrehghadikolaei, S., Ghadikolaei, S.S., Gholinia, M., Ahmadi, G. (2025) application of CNTS/H_2O nanofluid and the wavy fin with dimples in thermal management of CPU: a numerical modeling of hybrid passive cooling, *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 86(18), 6545-6562.

Srivastav, A., Maithani, R., Sharma, S. (2024) Influence of nozzle profile on submerged pipe jet impingement heat transfer, *Experimental Heat Transfer*, 1-19.

Toprak, B.İ., Baghaei Oskouei, S., Bayer, Ö., Solmaz, İ. (2022) Experimental and numerical investigation of a novel pipe-network mini channel heatsink, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 136, 106212.

Wang, Y., Zhu, K., Cui, Z., Wei, J. (2019) Effects of the location of the ınlet and outlet on heat transfer performance in pin fin CPU heat sink, *Applied Thermal Engineering*, 151, 506-513.

Xu, M., Lu, H., Gong, L., Chai, J.C., Duan, X. (2016) Parametric numerical study of the flow and heat transfer in microchannel with dimples, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 76, 348-357.

Yang, H., Li, Y., Zhang, L., Zhu, Y. (2021) Thermal performance enhancement of phase change material heat sinks for thermal management of electronic devices under constant and intermittent power loads, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 181, 121899.

Yang., S., Cao, B., Wu, Z., Hong, S., Xu, H., Sheng, K. (2026) Experimental study of a SiC manifold microchannel heat sink under background and hotspot heating scenarios at ultra-high heat flux, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 254, 127657.

GRAFEN OKSİT-SU NANOAKIŞKANI KULLANILAN ÇOKLU BÖLÜNTÜLÜ MİKRO KANAL ISI EMİCİLERİN ISIL PERFORMANSLARININ ARAŞTIRILMASI

Doç. Dr. Yeliz ALNAK
Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Technology, Department of Manufacturing, 58140 Merkez, Sivas
ORCID ID: 0000-0003-4383-3806
Prof. Dr. Koray KARABULUT
Sivas Cumhuriyet University, Vocational School of Sivas Technical Science, Department of Electric and Energy, 58140 Merkez, Sivas
ORCID ID: 0000-0001-5680-0988

ÖZET

Isı emiciler, akış yönündeki basınç düşüşünde meydana gelebilecek artışları en aza indirirken taşınım ısı transferini önemli ölçüde iyileştirmektedirler. Bu çalışmada, elektronik soğutmaya yönelik olarak çoklu bölüntülü kanal yapısına sahip mikro kanal ısı emicilerin (MKIE) akış yapılarının ısı transferi ve basınç kaybı performansları üzerindeki etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Sayısal araştırma, üç boyutlu, sürekli ve laminer akış şartlarında süreklilik, momentum ve enerji denklemlerinin Ansys-Fluent programı kullanılarak çözülmesiyle yapılmıştır. Çalışmada ısı transferi akışkanı olarak 300 K kanal giriş sıcaklığında sıkıştırılamaz su ve %0,01 hacimsel konsantrasyona sahip GO (Grafen Oksit)-su nanoakışkanı kullanılmıştır. İncelenen farklı MKIE modellerinden karşılaştırma modeli olan Model 1 ile farklı çoklu bölüntülü akış yapısına sahip yeni bir model olan Model 2 karşılaştırılarak performansları değerlendirilmiştir. Bakır plakadan oluşan MKIE'nin alt kısmından tabanına 20.000 W/m^2 olarak belirlenen sabit ısı akısı uygulanırken, bakır ısı dağıtıcı plakanın üst ve yan kısımları yalıtılmıştır. Sonuçlar, ortalama Nu sayısı (Nu_{ort}), akışkanın kanaldan çıkış sıcaklığı ($T_{çıkış}$) ve kanaldaki basınç düşüşünün değişimleri olarak incelenmiştir. Ayrıca, %0,01 GO-su nanoakışkanı için iki farklı hız değerinde hız-akım çizgisi ve sıcaklık konturu dağılımları görselleştirilerek değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, literatürdeki deneysel ve sayısal sonuçlarla karşılaştırılmış ve birbirleriyle tutarlı oldukları bulunmuştur. Sonuç olarak, 0,0035 kg/s akış hızında Model 2'de su akışkanı kullanıldığında Nu_{ort} değerinin Model 1'e göre %5,25 daha fazla olduğu bulunmuştur. Ayrıca, 0,0030 kg/s akış hızı değerinde %0,01 GO-su nanoakışkanı kullanılan kanallarda Model 2 için basınç düşüşü değerinin Model 1'den %19,85 daha fazla olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Çoklu bölüntülü mikro kanal ısı emici, GO-su nanoakışkanı, Isı transferi

INVESTIGATION OF THE THERMAL PERFORMANCE OF MULTI-PARTITIONED MICRO-CHANNEL HEAT SINKS USING GRAPHENE OXIDE-WATER NANOFLUID

ABSTRACT

Heat sinks significantly improve convective heat transfer while minimizing potential increases in pressure drop along the flow direction. In this study, the effects of flow structures on heat transfer and pressure drop performance in microchannel heat sinks (MCHS) featuring multi-partitioned channel structures designed for electronic cooling were numerically investigated. The numerical study was conducted by solving the continuity, momentum, and energy equations under three-dimensional, steady, and laminar flow conditions using the Ansys-Fluent software. In the study, incompressible water and a GO (Graphene Oxide)-water nanofluid with a 0.01% volumetric concentration were used as the heat transfer fluid at a channel inlet temperature of 300 K. The performances of the different MKIE models under investigation were evaluated by comparing Model 1-which serves as the reference model-with Model 2, a new model featuring a distinct multi-partitioned flow structure. While a constant heat flux of 20,000 W/m² was applied to the bottom surface of the MCHS-which consists of a copper plate-the top and side surfaces of the copper heat spreader plate are insulated. The results were analyzed in terms of the variations in the average Nusselt number (Nu_{avg}), the fluid outlet temperature (T_{out}), and the pressure drop across the channel. Furthermore, velocity-streamline and temperature contour distributions for the GO-water nanofluid were evaluated by visualizing them at two different velocity values. The obtained results were compared with experimental and numerical results from the literature and found to be consistent with them. As a result, it was found that the Nusselt number (Nu_{avg}) for Model 2, using water as the working fluid at a flow rate of 0.0035 kg/s, was 5.25% higher than that of Model 1. Besides, it was observed that at a flow rate of 0.0030 kg/s, the pressure drop value for Model 2 in channels using the GO-water nanofluid was 19.85% higher than that of Model 1.

Keywords: Multi-segment microchannel heat sink, GO-water nanofluid, Heat transfer

1. GİRİŞ

Son yirmi yılda, elektronik cihazların soğutulmasına ve bileşenlerin optimum çalışma aralığında tutulmasına büyük önem verilmiştir. Isıl yönetimin temel yöntemlerinden biri, yüzey alanı en üst düzeye çıkarılmış soğutucular kullanarak aşırı ısınmayı önlemek ve böylece ısının elektronik bileşenden çevre havasına aktarımını kolaylaştırmaktır. Başlangıçta masaüstü bilgisayarlar gibi daha büyük sistemlerde öne çıkan ısı emiciler, günümüzde akıllı telefonlar

ve giyilebilir teknolojiler gibi daha küçük ve kompakt cihazlara uyarlanmaktadır. Nanoakışkan (Rafati ve ark., 2012), faz değiştiren malzeme (Yang ve ark., 2021), mini/mikro kanallı ısı alıcı (Kumar ve ark., 2019), ısı borusu (Liang ve Hung, 2010), jet çarpması (Srivastav ve ark., 2024), ısı transferi yüzey modifikasyonu (Dixit ve Patil, 2015), genişletilmiş yüzeyler (Al-Ali ve Hamza, 2024) v.b. gibi belirli uygulamalara ve soğutma gereksinimlerine dayalı çeşitli soğutma çözümleri de araştırılmış ve önerilmiştir. Bu çözümler arasında mikro-kanallı ısı emiciler; kompakt boyut, hafiflik, düşük malzeme maliyeti, azaltılmış soğutucu akışkan gereksinimi, hızlı tepki süresi ve diğer makro ölçekli sistemlere kıyasla daha yüksek ısı transferi yüzey alanı/akışkan hacmi oranı gibi avantajları nedeniyle önemli ölçüde ilgi görmüştür (Dixit ve ark., 2026).

Birçok bilim insanı, bir optimizasyon stratejisi olarak değişen dalga boyları ve genliklere sahip dalgalı bir kanalın (Khoshvaght-Aliabadi ve ark., 2016; Khoshvaght-Aliabadi ve ark., 2022; Lin ve ark., 2017; Khoshvaght-Aliabadi ve ark., 2021) yanı sıra bir yakınsama-ıraksama kanalının (Gong ve ark., 2011; Xu ve ark., 2016) kullanımını araştırmıştır.

Toprak ve ark. (2022), tüp benzeri ağ tasarımına sahip bir mini kanal ısı emici (MKIE) üzerinde deneysel ve sayısal bir analiz gerçekleştirmişlerdir. Sonuçlar, kare tasarımın termal verimlilik katsayısı açısından genel olarak en iyi performansı gösterdiğini ortaya koymuştur. Shen ve ark., (2025), Tesla desenli mikrokanal, pim kanatlı mikrokanal ve dikdörtgen mikrokanal ısı emicilerinin ısı transferi ve akış özelliklerini farklı çalışma koşulları altında karşılaştırmak ve analiz etmek amacıyla deneyler gerçekleştirilmişlerdir. Elde ettikleri sonuçlara göre diğer iki mikrokanal ısı emiciye kıyasla, Tesla desenli mikrokanal ısı emicinin ekstra 150 W/cm^2 ısı akısını dağıtabildiğini belirlemişlerdir. Ayrıca, gömülü çoklu Tesla desenli mikrokanalın gelişmiş ısı transferinin, çalışma sıvısının duvar yüzeyine birden fazla kez çarpmasına neden olan kavisli yapısına bağlamışlar ve bunun da sınır tabakasını bozarak, çalışma sıvısının geri akışını engellediğini bulmuşlardır. Yang ve ark., (2026), çalışmalarında çok yüksek yüksek ısı akılarında verimli arka plan ve sıcak nokta soğutması için silisyum karbür (SiC) çok kanallı mikrokanallı bir ısı emicinin performansını deneysel olarak araştırmışlardır. 15 μm genişliğinde ve 100 μm derinliğinde bir mikrokanal dizisi, plazma aşındırma yöntemi kullanılarak yüksek termal iletkenliğe sahip bir SiC alt tabakada üretilmiştir. Soğutucu olarak tek fazlı deiyonize su kullanılmış ve mikrokanal ısı emicinin performansı değişen arka plan ve yerel sıcak nokta ısı akısı koşulları altında değerlendirilmiştir. SiC çoklu mikrokanal ısı emici, 5×5 mm^2'lik bir alanda 3190 W/cm^2'lik bir arka plan ısı akısını yalnızca 32 kPa'lık bir basınç düşüşüyle başarıyla emebilmiş ve 100×100 μm^2'lik bir alanda 12,0 kW/cm^2'lik yerel bir sıcak

nokta ısı akısını ortadan kaldırırken, sıcak noktanın sıcaklık artışını 150 ^{o}C'nin altında tutabilmeyi başarabilmiştir. Ge ve ark., (2022), modern mikro boyutlu bir ısı emici ile donatılmış sıvı soğutmalı bir CPU'nun termal-hidrolik performansını değerlendirmişlerdir. Hesaplamalı akışkanlar dinamiği (CFD) simülasyonlarını bir algoritmayla birleştirerek, farklı boyutlarda kanatçıklara sahip bir ısı emiciyi optimize etmeyi önermişlerdir. Sonuçlar, bu optimizasyonun ısı transfer kapasitesini önemli ölçüde artırdığını ancak aynı zamanda gerekli pompalama gücünde de artışa yol açtığını göstermiştir.

Kanal konfigürasyonunun, çok kanallı bir ısı emicisinde akışkan akışı ve ısı iletimi üzerindeki etkisi Ghadhban ve Jaffal (2023) tarafından incelenmiştir. Ulaştıkları bulguları, kanal tasarımındaki son değişikliğin geleneksel düz kanala kıyasla ısı transfer verimliliğini artırdığını göstermiştir. Dalgalı kanal için ise Nu sayısındaki en büyük artışın %30,5 olduğu tahmin edilmektedir. Wang ve ark., (2019), farklı kanal konfigürasyonlarını (yamuk, üçgen ve dikdörtgen) ve ayrıca giriş ve çıkış kombinasyonlarını (I, C ve Z tipleri) simüle etmek için sonlu hacim yönteminden yararlanmışlardır. Dikdörtgen giriş ve çıkışa sahip dikdörtgen başlıklı modeli, sürekli ve tutarlı bir hız sağlaması ve ısıyı da diğerlerine göre daha iyi iletmesi nedeniyle en pratik model olarak seçmişlerdir. Modellerin her birinde ortada dikey bir giriş ve bir, iki veya dört çıkış noktası bulunmaktadır. Sonuçlar, dört çıkışlı model konfigürasyonunun en yüksek kaliteye ve en düşük akış direncine sahip olduğunu göstermiştir. Siahchehrehghadikolaei ve ark. (2025), karbon nanotüpler/H_2O nanoakışkan uygulaması ve dalgalı kanatlı çukurlar kullanarak bilgisayar işlemcisinin ısıl yönetimini iyileştirmek için hibrit pasif soğutmanın sayısal bir simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Termal etkiyi ve soğutma gücünü iyileştirmek için, delikli nozullara sahip bir palet bıçağı ve farklı konsantrasyonlarda titanyum oksit nanoparçacıkları, bir CFD programı kullanılarak sayısal olarak araştırılmıştır (Gholinia ve ark., (2022)). Nabi ve ark. (2023), termal-fotovoltaik modüllerin performansını artırmak için yeni, çevre dostu kırmızı şarap-rGO/H_2O nanoakışkanı ve parafin mumu kullanmışlardır. Termal ve hidrolik performansın özelliklerini yenilikçi bir köpekbalığı ölçeğinde yüzgeç geometrisi tasarımı kullanarak sayısal olarak incelemişlerdir (Ghouchi ve ark., (2024)).

Isı dağıtıcıların ısıl performansı üzerine yapılan kapsamlı çalışmalara rağmen, akış bölünmesinin akışkan akış davranışı ve ısı transfer özellikleri üzerindeki etkisi çok az dikkate alınmıştır. Mevcut araştırmaların çoğu, termal performansı iyileştirmek için kanal şeklini, kütle akış hızını ve uygulanan ısı akışını ayarlamaya odaklanmaktadır. Ancak, bu iyileştirmeler çoğunlukla büyük bir basınç düşüşüne yol açmakta ve bu da hidrolik verimlilik üzerinde

olumsuz bir etkiye sahip olabilmektedir. Bu çalışmada ise, MKIE (mikro kanal ısı emici) içindeki kanal şeklini tanıyarak sıvı dağıtım yüzey alanını ve ısı yayılımının homojenliğini artırmak ve böylece kabul edilebilir bir basınç düşüşünü korurken; genel termal verimliliği yükseltmek amaçlanmaktadır. Bu kısıtlamayı gidermek için de bu çalışmada iki yeni MKIE konfigürasyonu sunulmakta ve akış bölünmesinin ısı transferi-basınç düşüşü performansı üzerindeki etkisinin kapsamlı bir analizi gerçekleştirilmektedir. Modeller geleneksel çok kanallı mini soğutucular olup, karşılaştırılan temel model olan Model 1, girişten çıkışa doğru akış yönünde ilerleyen boylamasına bölüntülerden oluşurken, Model 2'de ise akışkan ilk önce kanalı girişten itibaren bir bütün olarak içerisine alan dış bir kanal ve kanal içerisinde enlemesine ve boylamasına uzanan kanal bölüntülerinden oluşan bir bölüntü sistemi içerisinde hareket etmektedir. Ayrıca, akışkan olarak su haricinde ısı iletkenliklerinin daha iyi olduğu %0.01 hacimsel konsantrasyonlu GO-su nanoakışkanı kullanılmıştır.

2. SAYISAL MODELLEME

Isı emicinin hem termal hem de hidrolik kapasite açısından etkinliğini belirlemek için, CFD sayısal simülasyonunda üç farklı model oluşturulmuştur. SIMPLE yöntemi, hız ve basıncı birleştirmek için yönetim denklemlerinde kullanılırken, momentum ve enerji denklemleri ikinci dereceden sayısal bir yöntem kullanılarak uygulandı. Kanaldaki taşınım ısı transferinin çözümünde Ansys-Fluent programından yararlanılmıştır. Ayrıklaştırma yöntemi olarak momentum denklemleri için "Second Order Upwind" yöntemi tercih edilmiştir. Sayısal çözümlerin yakınsaması için yakınsama kriteri momentum denklemi için 10^{-6} ve enerji denklemi için 10^{-7} olarak alınmıştır.

MKIE modeli, birbirinden izole edilmiş iki ayrı hesaplama alanına sahiptir. Bu çalışmada kullanılan katı bakırın termofiziksel özellikleri ise şunlardır: 385 J/(kgK) özgül ısı, 401 W/(mK) ısıl iletkenlik ve 8933 kg/m³ yoğunluğa sahiptir. Çok miktarda sıvı içeren bölge, soğutma işlemi sırasında ısıyı taşınım yoluyla aktarmaktan sorumludur. Katı bölge, akış yönüne göre değişen şekilde çok sayıda kanatçıktan, katı duvarlardan ve ısınan bir tabandan oluşmaktadır. Çok miktarda sıvı içeren bölge ise MKIE kanalı içinde sıvıların hareketi için kullanılır. Sınır koşullarının doğruluğu, simülasyon yöntemini önemli ölçüde etkileyebilir. Tekrarlanabilir ve geçerli sonuçlar elde etmek için, sınırlar, kabul görmüş fiziksel prensiplere uygun olarak tanımlanmalı ve uygulanmalıdır. Akış ve ısı transferi alanlarının sınırları

genellikle akışkanın derinliği veya sıcaklığı tarafından belirlenir. Şekil 2, hesaplama alanının ve sınır koşullarının şematik taslaklarını göstermektedir.

Kritik sınır koşullarından biri, tabana uygulanan ve 20.000 W/m^2 olarak belirlenen ısı akısıdır. Soğutma akışkanı esas olarak alanın içine girerken 300 K (27°C) sıcaklığa sahip saf sudan ve GO-su nanoakışkanından oluşmaktadır. Laminer akış koşulu, kullanılmıştır. Kütle boyunca tipik akış hızı 0,002 kg/s ile 0,0045 kg/s arasında 0,0005 kg/s'lik adımlarla değişmektedir. Kanalın çıkışında, sıfır basınç koşulu ($P_{out} = P_{atm}$) uygulanmaktadır. Bakır ısı emici plakanın üst ve yan kısımları, yalıtılmış olup yalnızca alt kısmından ısı uygulanmaktadır. Akışkan, üst kısımdan kanala giriş yaparken alt taraftan ise çıkış yapmaktadır. Şekil 1'de sırasıyla Model 1 ve Model 2'nin geometrik yapıları ve bu yapılar üzerinde de kanal ve bölüntü kanatçıklarının ölçüleri verilmektedir. Bu çalışmada kullanılan her bir ısı emicinin temel boyutları; 5 mm yükseklik, 86 mm genişlik ve 100 mm uzunluktur. Her bir kanalın genişliği 4 mm, yüksekliği 2 mm'dir ve kanallar arasındaki kanatçık kalınlığı 2 mm'dir. Akışkan kanallardan akarken, giriş sıcaklığı 300 ^oC olup, bakır tabakadan açığa çıkan ısı akışkan sıcaklığının artmasına neden olur.

Buna göre analiz aşağıdaki varsayımsal gerçeklere dayanmaktadır:

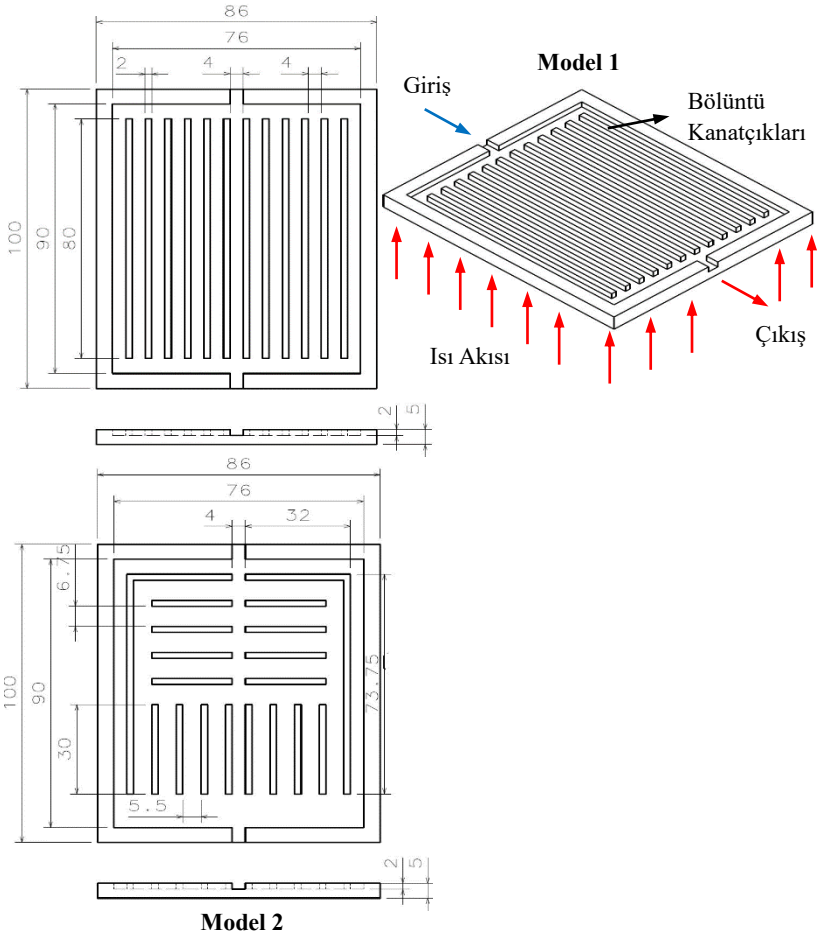
Sıvının hareketi kararlı ve doğrusaldır.

Akış, tek fazlı ve üç boyutludur.

Kanalda zorlanmış taşınımla ısı transferi söz konusudur.

Isı emicilerin tabanı sabit bir ısı akışına maruz kalırken, diğer tarafları tamamen yalıtılmıştır.

Radyasyonla ısı transferi mekanizması, analizde önemsiz bir rol oynadığı düşünüldüğü için dikkate alınmamıştır.



Şekil 1. Modellerin geometrik yapı ve ölçüleri

Analiz için aşağıdaki korunum denklemleri, önceki varsayımların önerdiği gibi, (Hosseinirad ve ark., (2019); Khoshvaght-Aliabadi ve ark., (2022); Lin ve ark., (2017); Ammar ve ark.,(2025))'te verilen formüller kullanılarak geliştirilmiştir. Kütle korunumunu açıklayan süreklilik denklemi, aşağıdaki formülle verilir:

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0 \tag{1}$$

Akışkan içindeki doğrusal momentumun korunumu için hareket eşitliği şu şekilde yazılır:

$$\rho\left(u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}+w\frac{\partial u}{\partial z}\right)=-\frac{\partial p}{\partial x}+\mu\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 u}{\partial z^2}\right) \tag{2}$$

$$\rho\left(u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}+w\frac{\partial v}{\partial z}\right)=-\frac{\partial p}{\partial y}+\mu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right)$$

(3)

$$\rho\left(u\frac{\partial w}{\partial x}+v\frac{\partial w}{\partial y}+w\frac{\partial w}{\partial z}\right)=-\frac{\partial p}{\partial z}+\mu\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}+\frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right) \tag{4}$$

Burada ρ, p ve μ_f sırasıyla soğutma sıvısının yoğunluğunu, basıncını ve dinamik viskozitesini ifade etmektedir.

Isı enerjisinin korunumu prensibini açıklayan enerji eşitliği şöyledir:

$$\rho c_p \left(u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right) = k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) \quad (5)$$

ρ_f ve $c_{p,f}$ değişkenleri sırasıyla soğutma sıvısının yoğunluğunu ve özgül ısı kapasitesini gösterirken, yerel sıcaklık T'dir.

Katı haldeki ısı iletimi yoluyla tüketilen enerjinin eşitliği şöyledir:

$$k_s \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) = 0 \quad (6)$$

Burada k_S, ısı emici malzemenin özgül termal iletkenliğini temsil eder.

MKIE aracılığıyla soğutucu tarafından emilen ısı enerjisi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır (Chamanroy, Z., Khoshvaght-Aliabadi, (2019)):

$$Q = \dot{m} c_p \Delta T_s = h A_{etkin} \left(T_{b,ort} - T_{f,ort} \right) \quad (7)$$

Birim alan başına aktarılan ısı miktarı şu eşitlikle hesaplanır ((Chamanroy, Z., Khoshvaght Aliabadi, (2019); Imran ve ark., (2018)):

$$h = \frac{\dot{m} c_p \Delta T_s}{A_{etkin} \left(T_{b,ort} - T_{f,ort} \right)} \quad (8)$$

Burada ṁ, c_p ve ΔT_s sırasıyla soğutucunun ortalama kütle akış hızını, özgül ısısını ve soğutucunun sıcaklık farkını temsil etmektedir. A_{etkin}, $T_{b,ort}$ ve $T_{f,ort}$ ise sırasıyla sıvının temasta olduğu yüzey alanını, akışkanın ortalama sıcaklığını ve akışkanın film sıcaklığını ifade eder ve aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$T_{f,ort} = \frac{T_{f,giriş} + T_{f,çıkış}}{2} \quad (9)$$

$$Nu_{ort} = \frac{h D_h}{k_f} \quad (10)$$

Burada h, D_h ve k_f sırasıyla ortalama ısı transfer katsayısını, kanalın hidrolik çapını ve soğutucunun termal iletkenliğini ifade etmektedir.

Hidrolik çap aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$D_h = \frac{4A}{P}$$
(11)

A, kanalın kesit alanını temsil eder ve P, kanalın ıslak çevresinin uzunluğudur.
Kanal boyunca basınç düşüşü aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır

$$\Delta p = \frac{f \rho D_h}{2} V^2$$
(12)

Bu eşitlikte, Δp kanalın giriş ve çıkışı arasındaki basınç düşüşü, f sürtünme faktörü ve V ise akışkanın kanaldaki ortalama hızını temsil etmektedir.

Reynolds sayısını hesaplamak için kullanılan eşitlik aşağıdaki gibidir:

$$Re = \frac{4\dot{m}}{\pi D_h \mu}$$
(13)

Çalışmada kullanılan %0.01 konsantrasyonlu GO-su nanoakışkanının termofiziksel özelliklerinden ısı iletkenliği, yoğunluğu ve viskozitesi Karabulut ve ark. (2020)'nın yaptığı deneysel çalışmadan alınmış olup, yalnızca ısı kapasitesi literatürde de sıklıkla kullanılan ve deneysel çalışmalar sonucu elde edilmiş aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanmakta ve bu değerler Tablo 1'de sunulmaktadır.

Nanoakışkanın ısı kapasitesi (Mohammed ve ark., (2011))

$$(\rho c_p)_{nf} = (1-\varphi)(\rho c_p)_w + \varphi(\rho c_p)_{np}$$
(14)

Bu eşitliklerde, φ ve ρ_{np} sırasıyla nanoakışkanın konsantrasyonunu ve katı halde nanoparçacığın yoğunluğunu belirtirken, c_p özgül ısıyı göstermektedir. nf ve np ise sırasıyla nanoakışkan ve katı nanoparçacığı temsil etmektedir.

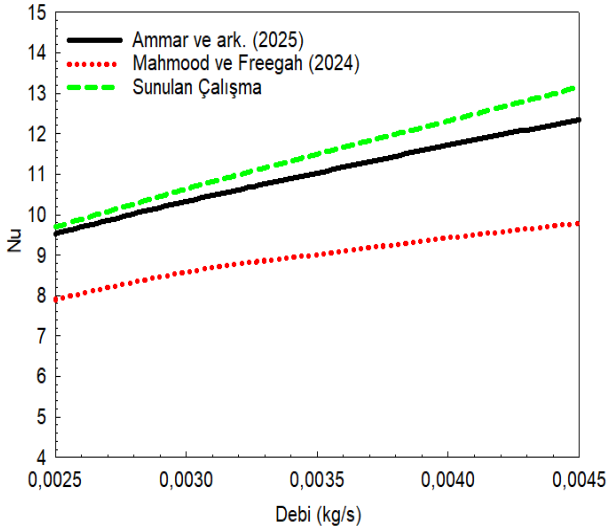
Tablo 1. Su ve nanoakışkanın termofiziksel özellikleri (300 K) (Karabulut ve ark. (2020))

Akışkan	k (W/mK)	ρ (kg/m^3)	c_p (J/kgK)	μ (Ns/m^2)
Su	0,6172	995,8	4178,4	0,008034
%0,01GO-su nanoakışkanı	0,6696	996,1	4178,4	0,001060

3. SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Sayısal sonuçları doğrulamak ve bunların mevcut literatürle tutarlılığını göstermek amacıyla geleneksel model olan Model 1 için bu çalışmanın bulguları, önceki araştırmaların sayısal

(Ammar ve ark. (2025) ve deneysel (Mahmood ve Freegah (2024)) ortalama Nu sayısı bulgularıyla Şekil 2'de gösterildiği gibi karşılaştırılmıştır. Her ne kadar bu çalışma ile literatür arasında Nu sayısı değerlerinde farklılıklar olsa da bu tutarsızlıklar, esas olarak sayısal çalışmadaki ağ sayısı sıklığının farklılığından ve sayısal çalışmada çalışmayı basitleştirmek amacıyla yapılan kabullerin deneysel çalışmada tam olarak karşılanamamasından kaynaklı farklılıklardan oluşmaktadır. Buna rağmen, çalışmanın sonuçları kabul edilebilir sınırlar dahilinde olup birbirlerine oldukça yakındır ve bu nedenle çalışmanın doğru ve kabul edilebilir olduğu söylenebilir.



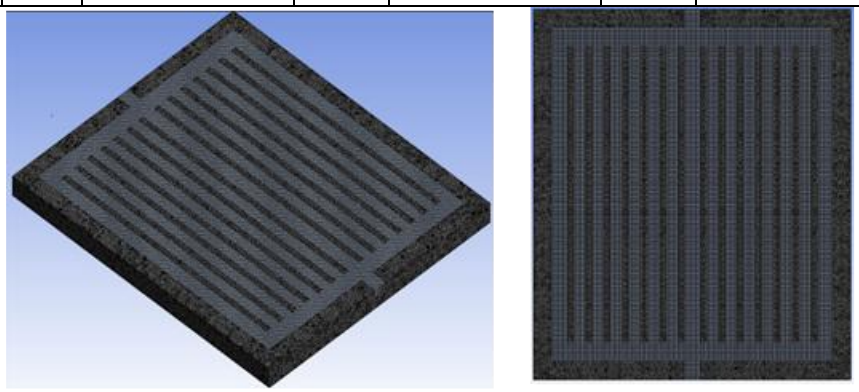
Şekil 2. Sonuçların literatürdeki sayısal ve deneysel çalışmalarla karşılaştırılması

3.1. Sonuçların Ağ Sayısından Bağımsızlığının Karşılaştırılması

Bu araştırmada yer alan tüm modellerde, sıvı ve katı alanlar dahil olmak üzere, tetrahedral (düzgün dörtyüzlü) ağ yapısı kullanılmıştır. Sayısal doğruluk üzerinde ağ elemanı sayısının önemli etkisi göz önüne alındığında, çözümde yakınsama sağlanana kadar eleman boyutu kademeli olarak azaltılarak ağ optimizasyonu gerçekleştirilmiş ve bu noktadan sonra ek optimizasyon sonuçlarda anlamlı bir değişikliğe yol açmamıştır. Hesaplama verimliliğini artırmak için sonuç doğruluğunu korurken, simülasyon süresini azaltmak amacıyla uygun olduğunda kasıtlı olarak ince ağlar kullanılmıştır. Geleneksel model için (Model 1) su akışkanı kullanılarak yapılan analizlerde Tablo 2'de görüldüğü gibi ağ sayısının 1773148 adetten daha fazla artırılmasının hem Nu sayısı hem de basınç düşüşü değerlerinde belirgin bir artışa neden olmadığı ve bu sebeple 1773148 adet ağ sayısının yeterli olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca, çalışmada düzgün dörtyüzlü ağ yapısının şekli Model 1 için Şekil 3'de gösterilmektedir.

Tablo 2. Kütlesel akış debisi ve ağ sayısına göre Nu sayısı ve basınç düşüşü değerleri

Ağ Sayısı	ṁ (kg/s)=0.0025		ṁ (kg/s)=0.0035		ṁ (kg/s)=0.0045	
	Nu	Basınç Düşüşü (Pa)	Nu	Basınç Düşüşü (Pa)	Nu	Basınç Düşüşü (Pa)
509570	8,54	151,42	9,84	265,47	12,45	394,41
1295790	8,75	153,44	10,24	268,79	13,47	414,25
1773148	**9,70**	**154,41**	**11,50**	**275,43**	**14,15**	**424,11**
2049112	9,70	154,42	11,50	275,42	14,14	424,12



Şekil 3. Model 1 için çalışmada kullanılan ağ yapısı görseli

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI

Farklı kütlesel akış hızlarının olduğu mikro kanal ısı emicilerin (MKIE)-(Model 1 ve Model 2) ortalama Nu sayısı (Nu_{ort}) değerleri su ve %0,01 konsantrasyonlu GO (Grafen Oksit)-su nanoakışkanı kullanılması durumları için Şekil 4'de sunulmaktadır. Kanallardaki akışkan hızı artışlarının her iki model için de Nu sayısında artışa yol açtığı Şekil 4'deki grafiklerden görülebilmektedir. Kütlesel akış hızının artması, kanaldaki bölüntüler arasında akışkan hızını artırırken; akışın bölüntüler arasında türbülans şiddetini de artırarak ısı transfer yüzeyine yakın ısıl sınır tabakasının kalınlığını azaltarak ısı transfer hızını artırmaktadır. Grafikten de saptanabildiği gibi Model 2 için Model 1'e göre daha yüksek Nu_{ort} değerlerine ulaşılabilirken, su için ulaşılan değerlerin nanoakışkana yakın olmakla birlikte biraz daha fazla olduğu görülebilmektedir. Nanoakışkanın viskozitesi nedeniyle akıcılığının suya göre daha düşük olması, özellikle bölüntülü kanallar içerisinde akış direncinin daha da artmasına sebep olarak ısı transferi artışını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Buna göre, aynı akış hızında su ile karşılaştırıldığında nanoakışkan için daha düşük Nu_{ort} değerleri ile karşılaşılabilmektedir. Bu durumun önlenerek nanoakışkanların yüksek ısıl iletkenlik değerlerinden yararlanılabilinmesi amacıyla MKIE kanallarındaki bölüntü tasarımlarına dikkat edilerek yenilikçi yaklaşımlara başvurulması gereklidir. 0,0035 kg/s akış hızında Model 2'de su akışkanı kullanıldığında Nu_{ort} değerinin Model 1'e göre %5,25 daha fazla olduğu saptanmıştır. Ayrıca, aynı akış hızında nanoakışkan kullanılması durumunda Model 2'nin Model 1'e göre %6,04 daha yüksek Nu_{ort} değerine sahip olduğu saptanmıştır.

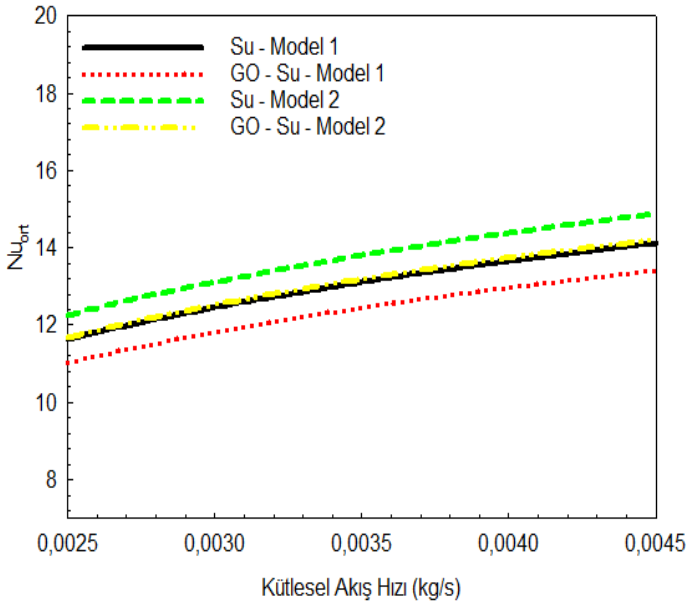
Şekil 5'de Model 1 ve Model 2'den oluşan mikro kanal ısı emicilerindeki (MKIE) akışkanların kanaldan çıkış sıcaklık değerleri ($T_{çıkış}$), farklı akış hızlarındaki su ve MWCNT-su nanoakışkanı için paylaşılmaktadır. MKIE'lerdeki bölünmüş kanallarda ısı transferi akışkanlarının daha fazla akış yolundan geçerek kanal içerisinde kalması, akışkana olan ısı transferini artırıp kanaldan çıkış sıcaklığının artmasını sağlamaktadır. Ayrıca, nanoakışkanların su akışkanına göre daha yüksek ısıl iletkenlik değerlerine sahip olması; ısınan bakır plakadan akışkana olan ısı transferini artırarak MKIE sıcaklıklarının güvenilir değerler içinde kalmasını sağlamaktadır. Kütlesel akış hızının artışıyla kanal içerisinde artan akışkan hızı, iletim yoluyla olan ısı transferi direncinin artmasına sebep olurken, taşınım yoluyla olan ısıl direncin ise azalmasına neden olmaktadır. Bu durum ise iletimle olacak ısı transfer hızını azalttığından, akışkanın kanal çıkışındaki sıcaklığının azalmasıyla sonuçlanmaktadır. Bununla birlikte, Model 2'de tasarlanan yeni MKIE tasarımının ısıl performansının; geliştirilmiş olması sebebiyle akışkan çıkış sıcaklık ($T_{çıkış}$) değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu görülmektedir. Bunun yanı sıra, birbirlerine oldukça yakın olmakla birlikte nanoakışkan için her iki model için de daha iyi bir çıkış sıcaklığı ($T_{çıkış}$) elde edilmektedir.

Kütlesel akış hızlarına göre MKIE kanalları boyunca farklı akışkan tipleri için basınç düşüşleri Şekil 6'da verilmektedir. Kütlesel akış hızının artışına bağlı olarak artan akışkan hızının, hem kanal duvarları boyunca hem de akışkan katmanları ve kanal yüzeyleri arasında daha fazla sürtünme kaybına neden olmasından dolayı kanal boyunca basınç düşüşü değerleri artmaktadır. Ayrıca, daha yüksek hızlar akışta türbülansa neden olarak enerji kayıplarının artmasına da katkıda bulunmaktadır. Şekil 6 incelendiğinde, kanal içerisinde akış bölüntü yapılarına bağlı olarak en yüksek basınç düşüşü değerlerinin; Model 1'e göre kanaldaki bölüntü düzeninin biraz daha karmaşık olduğu Model 2 için her iki akışkan türü için de elde edildiği görülmektedir. Basınç düşüşünün fazla olması, kanal içerisinde akışkan hareketini etkileyerek ısı transferinin farklı akış bölüntülü MKIE tasarımlarında farklılıklar göstermesine sebep olmaktadır. 0,0030 kg/s akış hızı değerinde GO-su nanoakışkanı kullanılan kanallarda Model 2 için basınç düşüşü değerinin Model 1'den %19,85 daha fazla olduğu görülmüştür.

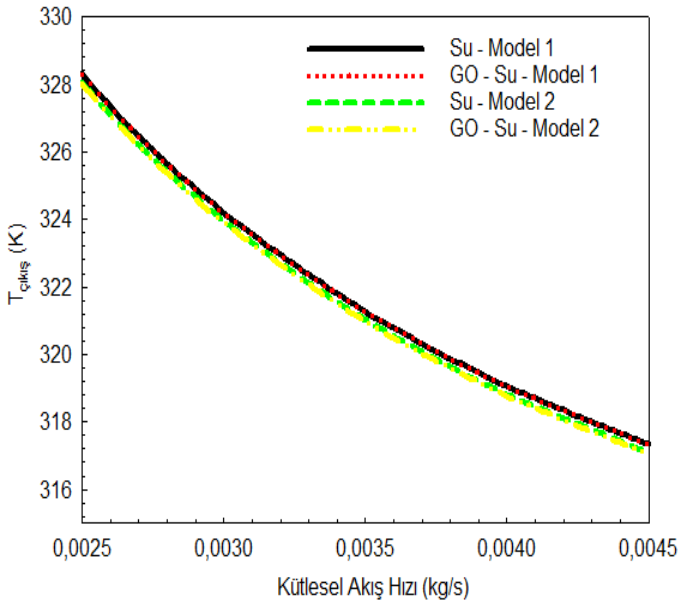
0,002 kg/s ve 0,004 kg/s akış hızlarında A-Model 1 ve B-Model 2'den oluşan MKIE modelleri için %0,01 konsantrasyonlu GO-su nanoakışkanın (a) akım çizgisi konturu ve (b) hız konturu dağılımları sırasıyla Şekil 7 ve 8'de verilmektedir. Model 1 için her iki akış hızında da nanoakışkan, kanal içerisinde akış yönünde bölüntülere ayrılmış kanal hattı boyunca çıkışa doğru hareket etmekle birlikte daha dirençsiz akış yolu olan doğrudan karşı taraftaki kanal çıkışına doğru daha hızlı ve yoğun bir şekilde hareketini devam ettirmektedir. Model 2'de ise

akışkan ilk önce kanalı girişten itibaren bir bütün olarak içerisine alan dış bir kanal ve kanal içerisinde enlemesine ve boylamasına uzanan kanal bölüntülerinden oluşan bir bölüntü sistemi içerisinde hareket etmektedir. Akış hızının 0,004 kg/s olduğu Şekil 8'deki kontur dağılımlarından da görülebildiği gibi akışkan hızı artırıldığında bölüntüler arasında ve etrafında 0,002 kg/s hıza göre daha hızlı bir şekilde akarak kanal duvarlarına olan teması da artmaktadır. Akışkanın kanallardaki bölüntüler arasındaki hareketinin iyileştirilmesi ısınma kapasitesi yüksek MKIE'lerin soğutularak içerisindeki ısınmış bölgelerin azaltılması için son derece önemlidir.

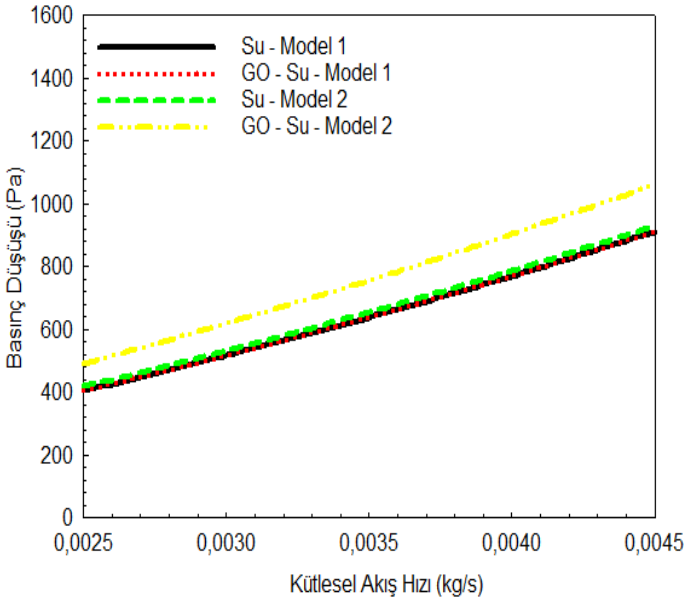
Sırasıyla 0,002 kg/s ve 0,004 kg/s akış hızlarında MKIE düzenlemeleri olan (a)-Model 1 ve (b)-Model 2 için %0,01 GO-su nanoakışkanının sıcaklık konturu dağılımları Şekil 9A ve B'de sunulmaktadır. Tüm MKIE modelleri için kanallardaki akış hızlarının artmasıyla ısı transferinin artışına bağlı olarak akışkan hızının 0,004 kg/s olduğu modeller için Model 1 ve Model 2'de daha düşük sıcaklık değerleri elde edildiği kontur dağılımlarından görülebilmektedir. Kanal girişinde ısınmış alt bakır plaka ile sıcaklık farkı en fazla olduğundan ısı transferi bu bölgede en yüksek düzeydedir ancak kanal çıkışına doğru akışkan ısınarak ilerlediğinden sıcaklık farkı azalmakta ve MKIE modellerinde sıcaklık artışları izlenmektedir. Bununla birlikte, Model 1 ile Model 2 kıyaslandığında özellikle akış hızı 0,004 kg/s değerine çıkarılması durumunda kanal boyunca nanoakışkanın soğuması ve dolayısıyla ısı transferi Model 2'de Model 1'e göre oldukça iyileştirilmiş durumdadır.



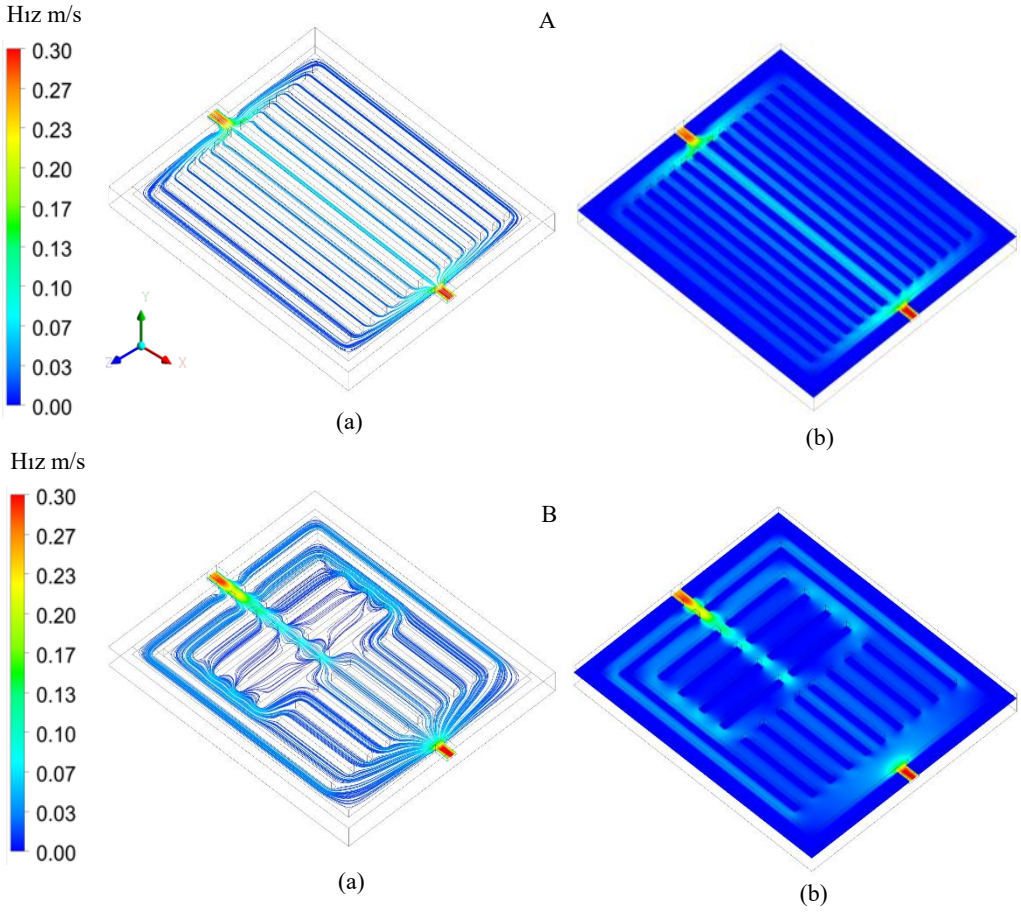
Şekil 4. Farklı MKIE kanalları ve akışkanlar için Nu_{ort} değerinin değişimi



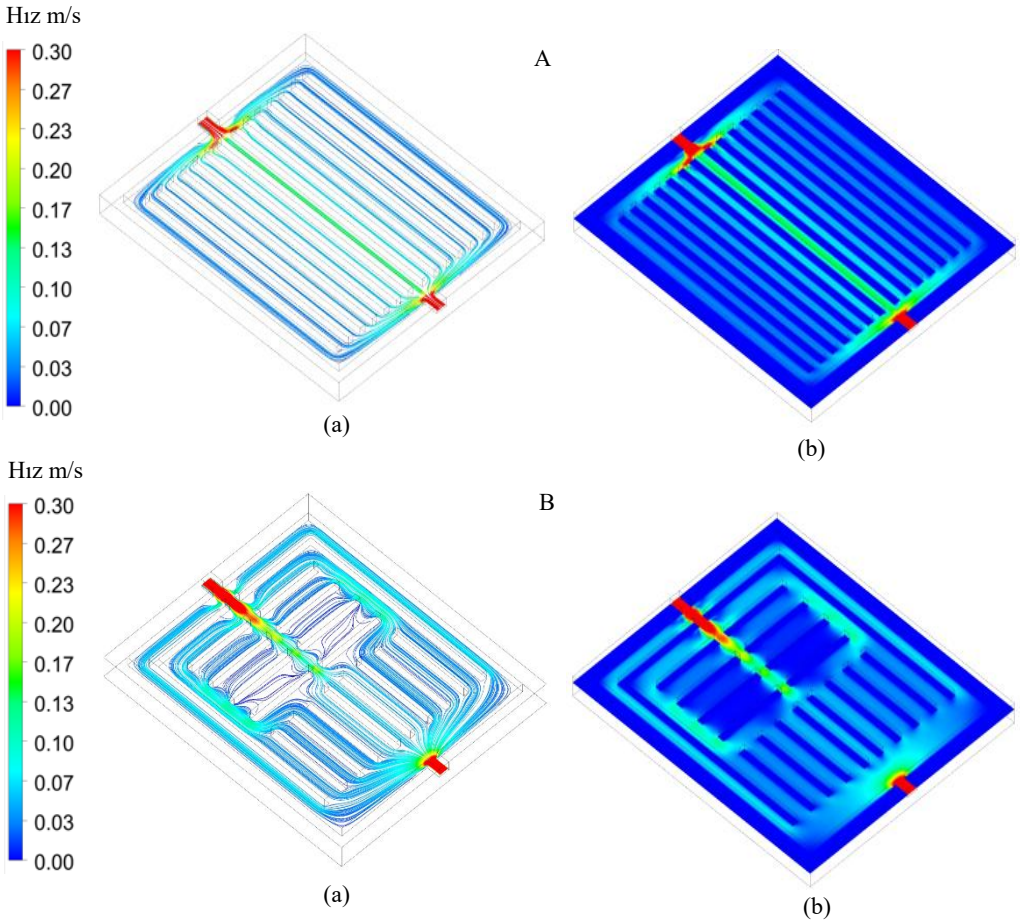
Şekil 5. Farklı MKIE kanalları ve akışkanlar için $T_{çıkış}$ değerinin değişimi



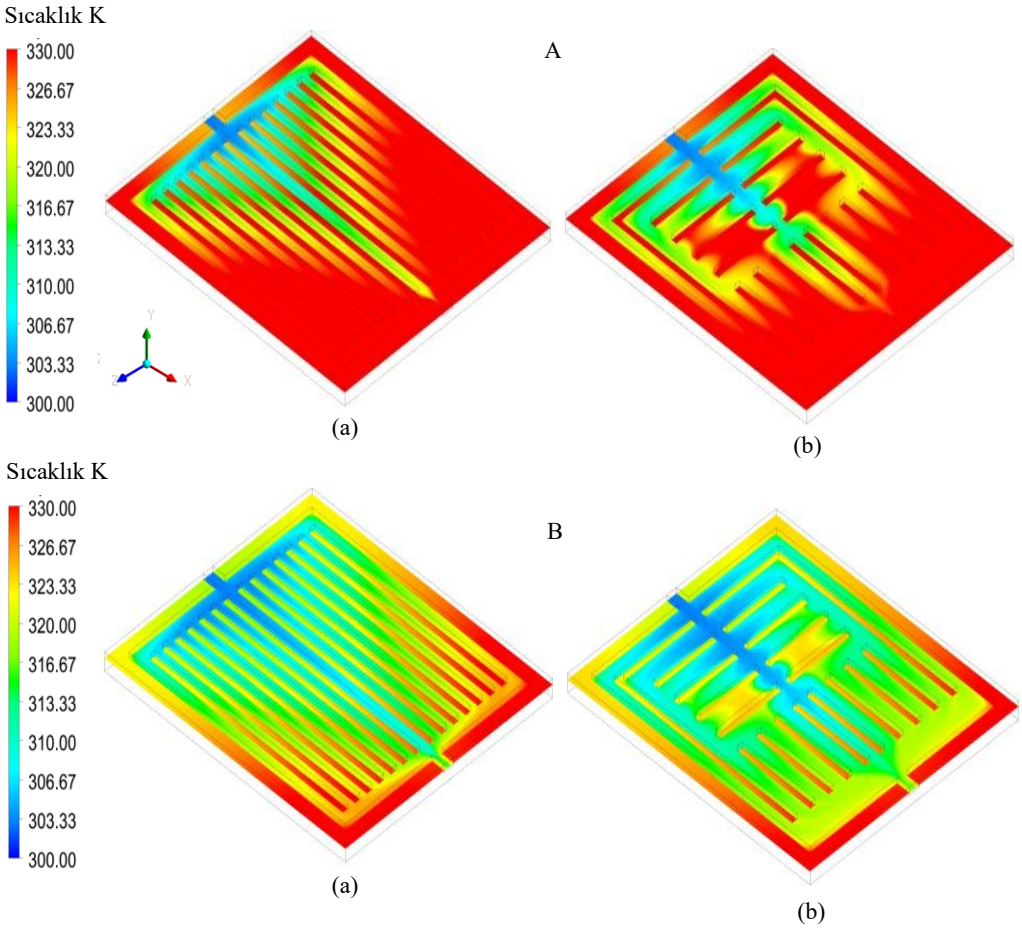
Şekil 6. Farklı MKIE kanalları ve akışkanlar için basınç düşüşü değişimi



Şekil 7. 0,002 kg/s kütlesel akış hızında %0,01 GO-su nanoakışkanı hız konturu dağılımı A- Model 1 B- Model 2
(a) akım çizgisi (b) hız konturu



Şekil 8. 0,004 kg/s kütlesel akış hızında %0,01 GO-su nanoakışkanı hız konturu dağılımı A- Model 1 B- Model 2
(a) akım çizgisi (b) hız konturu



Şekil 9. A-0,002 kg/s ve B-0,004 kg/s kütlesel akış hızında %0,01 GO-su nanoakışkanı sıcaklık konturu dağılımı (a)- Model 1 (b)- Model 2

5. GENEL SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışma neticesinde ulaşılan sonuçlar şu şekilde derlenebilir.

- Model 2 için Model 1'e göre daha yüksek Nu_{ort} değerlerine ulaşılabilirken, su için ulaşılan değerler nanoakışkana yakın olmakla birlikte biraz daha fazladır.
- 0,0035 kg/s akış hızında Model 2'de su akışkanı kullanıldığında Nu_{ort} değerinin Model 1'e göre %5,25 daha fazla olduğu saptanmıştır.
- Aynı akış hızında nanoakışkan kullanılması durumunda Model 2'nin Model 1'e göre %6,04 daha yüksek Nu_{ort} değerine sahip olduğu saptanmıştır.
- Model 2'de tasarlanan yeni MKIE tasarımının ısıl performansının; geliştirilmiş olması sebebiyle akışkan çıkış sıcaklık ($T_{çıkış}$) değerlerinin birbirlerine çok yakındır.
- Birbirlerine oldukça yakın olmakla birlikte nanoakışkan için her iki model için de daha iyi bir çıkış sıcaklığı ($T_{çıkış}$) elde edilmektedir.

- 0,0030 kg/s akış hızı değerinde GO-su nanoakışkanı kullanılan kanallarda Model 2 için basınç düşüşü değerinin Model 1'den %19,85 daha fazladır.

KAYNAKÇA

Ammar, N.A., Freegah, B., Al-Obaidi, A.R. (2025) Hydrothermal performance enhancement of minichannel heat sink with ınline and staggered arrangements of straight and wavy fins, *Heat Transfer*, 54, 3775-3789.

Chamanroy, Z., Khoshvaght-Aliabadi, M. (2019) Analysis of straight and wavy miniature heat sinks equipped with straight and wavy pin-fins, *International Journal of Thermal Sciences* 146, 106071.

Dixit, A., Patil, A.K. (2015) Heat transfer characteristics of grooved fin under forced convection, *Heat Transfer Engineering*, 36, 16, 1409-1416.

Dixit, A., Maithani, R., Sharma, S. (2026) Effect of fin profile in a plate pin fin heat sink for performance enhancement: an experimental and numerical analysis, *Experimental Heat Transfer*, 39,3, 219-242.

Ge, Y., He, Q., Lin, Y., Yuan, W., Chen, J., Huang, S.M. (2022) Multi-objective optimization of a mini-channel heat sink with non-uniform fins using genetic algorithm in coupling with CFD models, *Applied Thermal Engineering*, 207, 118127.

Ghadhban, F.N., Jaffal, H.M. (2023) Numerical investigation on heat transfer and fluid flow in a multi-minichannel heat sink: effect of channel configurations, *Results in Engineering*, 17, 100839.

Gholinia, M., Ranjbar, A.A., Hosseinpour, A.A. (2022) CFD analysis of (TiO_2)–H_2O nanofluids on Si-IGBT power electronic module with a new micro-nozzle model, *Journal of Thermal Analysis & Calorimetry*, 147(20), 11577-11589.

Ghouchi, T., Pourfallah, M., Gholinia, M. (2024) The thermal and hydrodynamic analysis in a heat sink with different configurations of shark scales-based fins, *Applied Thermal Engineering*, 250, 123492.

Gong, L., Kota, K., Tao, W., Joshi, Y. (2011) Parametric numerical study of flow and heat transfer in microchannels with wavy walls, *Journal of Heat Transfer*, 133(5), 051702.

Imran, A.A., Mahmoud, N.S., Jaffal, H.M. (2018) Numerical and experimental investigation of heat transfer in liquid cooling serpentine minichannel heat sink with different new configuration models, *Thermal Science and Engineering Progress*, 6,128-139.

Karabulut, K., Buyruk, E., Kilinc, F. (2020) Experimental and numerical investigation of convection heat transfer in a circular copper tube using graphene oxide nanofluid. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 42, 230.

Khoshvaght-Aliabadi, M., Sahamiyan, M., Hesampour, M., Sartipzadeh, O. (2016) Experimental study on cooling performance of sinusoidal–wavy minichannel heat sink, *Applied Thermal Engineering*, 92, 50-61.

Khoshvaght-Aliabadi, M., Feizabadi, A., Nouri, M. (2021) Design of novel geometries for minichannels to reduce junction temperature of heat sinks and enhance temperature uniformity, *Applied Thermal Engineering*, 192, 116926.

Khoshvaght-Aliabadi, M., Abbaszadeh, A., Rashidi, M.M. (2022) Comparison of co- and counter-current modes of operation for wavy minichannel heat sinks (WMHSs), *International Journal of Thermal Sciences*, 171, 107189.

Kumar, S., Sarkar, M., Singh, P.K., Lee, P.S. (2019) Study of thermal and hydraulic performance of air cooled minichannel heatsink with novel geometries, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 103, 31-42.

Liang, T.S., Hung, Y.M. (2010) Experimental investigation on the thermal performance and optimization of heat sink with U-shape heat pipes, *Energy Conversation Management*, 51, 11, 2109-2116.

Lin, L., Zhao, J., Lu, G., Wang, X.D., Yan, W.M. (2017) Heat transfer enhancement in microchannel heat sink by wavy channel with changing wavelength/amplitude, *International Journal of Thermal Sciences*, 118, 423-434.

Mahmood, H., Freegah, B., Faik, A.M.E.D., Saleh, Q. (2024) Optimizing minichannel heat sink design: a combined numerical and experimental analysis of inlet/outlet configurations and pin fin enhancements, Heat Transfer, 54(3), 1921-1939.

Mohammed, H.A., Gunnasegaran, P., Shuaib, N.H. (2011) The impact of various nanofluid types on triangular microchannels heat sink cooling performance, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38, 767-773.

Nabi, H., Gholinia, H., Khiadani, H., Shafieian, A. (2023) performance enhancement of photovoltaic-thermal modules using a new environmentally friendly paraffin wax and red wine-rGO/H_2O nanofluid, *Energies*, 16(11), 4332.

Pak, B.C., Cho, Y.I. (1998) Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles, *Experimental Heat Transfer*, 11,151-170.

Rafati, M., Hamidi, A.A., Shariati Niaser, M. (2012) Application of nanofluids in computer cooling systems (heat transfer performance of nanofluids), *Applied Thermal Engineering*, 45-46, 9-14.

Shen, Y-T., Dai, Y-B., Lu, J-X., Zhou, R., Chen, H., Cheng, W-L. (2025) Experiment on enhanced heat transfer of embedded manifold Tesla-patterned microchannel heat sink, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 165, 109050.

Siahchehrehghadikolaei, S., Ghadikolaei, S.S., Gholinia, M., Ahmadi, G. (2025) application of CNTS/H_2O nanofluid and the wavy fin with dimples in thermal management of CPU: a numerical modeling of hybrid passive cooling, *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 86(18), 6545-6562.

Srivastav, A., Maithani, R., Sharma, S. (2024) Influence of nozzle profile on submerged pipe jet impingement heat transfer, *Experimental Heat Transfer*, 1-19.

Toprak, B.İ., Baghaei Oskouei, S., Bayer, Ö., Solmaz, İ. (2022) Experimental and numerical investigation of a novel pipe-network mini channel heatsink, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 136, 106212.

Wang, Y., Zhu, K., Cui, Z., Wei, J. (2019) Effects of the location of the ınlet and outlet on heat transfer performance in pin fin CPU heat sink, *Applied Thermal Engineering*, 151, 506-513.

Xu, M., Lu, H., Gong, L., Chai, J.C., Duan, X. (2016) Parametric numerical study of the flow and heat transfer in microchannel with dimples, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 76, 348-357.

Yang, H., Li, Y., Zhang, L., Zhu, Y. (2021) Thermal performance enhancement of phase change material heat sinks for thermal management of electronic devices under constant and intermittent power loads, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 181, 121899.

Yang., S., Cao, B., Wu, Z., Hong, S., Xu, H., Sheng, K. (2026) Experimental study of a SiC manifold microchannel heat sink under background and hotspot heating scenarios at ultra-high heat flux, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 254, 127657.

CHIRPS YAĞIŞ VERİLERİ KULLANILARAK KURAKLIK ANALİZİ: UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ TABANLI BİR YAKLAŞIM

Meryem EDİS
Batman Üniversitesi, Mimarlık-Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, 72100, Batı Raman, Batman
ORCID ID: 0009-0000-0872-8299
Dr. Öğretim Üyesi Murat BATAN
Batman Üniversitesi, Mimarlık-Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, 72100, Batı Raman, Batman
ORCID ID: 0000 0002 9207 4730

ÖZET

Kuraklık, iklim değişikliğinin etkilerinin artmasıyla birlikte dünya genelinde en önemli doğal afetlerden biri haline gelmiştir. Yağış miktarındaki azalma, su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimini zorlaştırmakta; tarım, enerji üretimi ve sosyoekonomik faaliyetler üzerinde olumsuz etkiler oluşturmaktadır. Kuraklık analizlerinde uzun dönemli ve güvenilir yağış verilerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak meteorolojik gözlem istasyonlarının seyrek olduğu bölgelerde bu verilere erişim sınırlıdır. Bu nedenle son yıllarda uydu tabanlı yağış veri setleri yaygın olarak kullanılmaktadır.

Bu çalışmada kullanılan CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data) veri seti, uydu gözlemlerini yer istasyonu ölçümleriyle birleştirerek 1981'den günümüze kadar yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlükte yağış verisi sunmaktadır. Yaklaşık 5 km mekânsal çözünürlüğü sayesinde bölgesel kuraklık analizlerinde güvenilir sonuçlar sağlamaktadır. Kuraklık analizlerinde yalnızca yağış verilerinin kullanılması yeterli olmayıp, verilerin mekânsal olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu noktada Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) önemli bir rol oynamaktadır. CBS kullanılarak elde edilen yağış ve kuraklık haritaları, zamansal değişimlerin izlenmesine, riskli alanların belirlenmesine ve karar verme süreçlerinin desteklenmesine katkı sağlamaktadır. Uzaktan algılama teknikleri ise geniş alanların kısa sürede izlenmesini mümkün kılarak arazi çalışmalarına olan ihtiyacı azaltmaktadır. CHIRPS verileri ile CBS'nin birlikte kullanımı, kuraklığın mekânsal ve zamansal özelliklerinin ayrıntılı analizine olanak tanımaktadır.

Elde edilen bulgular, tarımsal planlama, su kaynakları yönetimi ve kuraklık erken uyarı sistemlerinin geliştirilmesine katkı sağlamaktadır. Ayrıca uzun dönemli yağış verilerinin analizi, kuraklık risklerinin öngörülmesine yardımcı olmaktadır. Sonuç olarak, CBS ve uzaktan algılama tekniklerinin birlikte kullanımı, kuraklık analizlerinde etkili, güvenilir ve ekonomik bir yaklaşım sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kuraklık, CHIRPS, Uzaktan Algılama, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Yağış Verileri, İklim Değişikliği.

DROUGHT ANALYSİS USİNG CHIRPS PRECİPİTATİON DATA: A REMOTE SENSİNG AND GIS-BASED APPROACH

ABSTRACT

Drought has become one of the most significant natural hazards worldwide due to the increasing impacts of climate change. Decreasing precipitation complicates the sustainable management of water resources and negatively affects agriculture, energy production, and socio-economic activities. Reliable long-term precipitation data are essential for drought analysis; however, access to such data is limited in regions with sparse meteorological stations. Therefore, satellite-based precipitation datasets have gained widespread use in recent years.

In this study, the CHIRPS (Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data) dataset is utilized, which combines satellite observations with ground station measurements to provide high spatial and temporal resolution precipitation data from 1981 to the present. With an approximate spatial resolution of 5 km, it offers reliable results for regional drought assessments. However, precipitation data alone are insufficient for drought analyses; spatial analysis of these data is also crucial, which highlights the importance of Geographic Information Systems (GIS). GIS-based drought and precipitation maps enable the monitoring of temporal variations, identification of high-risk areas, and support for decision-making processes. Remote sensing techniques allow rapid monitoring of large areas, significantly reducing the need for extensive fieldwork. The integration of CHIRPS data with GIS facilitates a comprehensive evaluation of both spatial and temporal characteristics of drought.

The findings contribute to agricultural planning, water resource management, and the development of drought early warning systems. Furthermore, the analysis of long-term precipitation data supports the prediction of potential drought risks. In conclusion, the combined use of GIS and remote sensing provides an effective, reliable, and cost-efficient approach for drought analysis.

Keywords: Drought, CHIRPS, Remote Sensing, Geographic Information Systems (GIS), Precipitation Data, Climate Change

İÇİFT TARAFLI MONTAJ HATTI DENGELEME YÖNTEMLERİ İLE HAT VERİMLİLİĞİN ARTIRILMASI

Mustafa AKBULUT
Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı
ORCID ID : 0009-0007-5756-0198
Dr. Öğr. Üyesi Berrin ATALAY
Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi , Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı
ORCID ID : 0000-0002-7852-2082
Doç. Dr. Oğuzhan Ahmet ARIK
Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi , Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı
ORCID ID : 0000-0002-7088-2104

ÖZET

Bu çalışmada, bir üretim işletmesinde faaliyet gösteren 43 istasyonlu çift taraflı montaj hattının performansının artırılması amacıyla montaj hattı dengeleme problemi ele alınmıştır. Mevcut üretim sisteminde; montaj hattı 34 personel ile çalışmakta olup ortalama çevrim süresi 36 saniye olarak gerçekleşmektedir. Artan üretim taleplerinin karşılanabilmesi amacıyla hedef çevrim süresi 30 saniye olarak belirlenmiş ve bu hedef doğrultusunda hattın yeniden dengelenmesi amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında öncelikle montaj hattındaki operasyon süreleri ve öncelik ilişkileri belirlenmiş, elde edilen veriler kullanılarak çift taraflı montaj hattı dengeleme problemine yönelik matematiksel model geliştirilmiştir. Geliştirilen model, GAMS optimizasyon yazılımı kullanılarak çözülmüş ve iş elemanlarının istasyonlara en uygun şekilde atanması sağlanmıştır. Optimizasyon sonuçları doğrultusunda mevcut durumda 34 personel ile yürütülen üretimin, hedef çevrim süresini sağlayacak şekilde 29 personel ile gerçekleştirilebileceği belirlenmiştir. Mevcut durumda 34 personel ile 36 saniye olan çevrim süresi, 29 personel ile 30 saniyeye düşürülmüş adam*saat/ ürün' de % 29,4 oranında bir iyileştirme sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Hat dengeleme, matematiksel model, simülasyon

INCREASING LINE EFFICIENCY WITH DOUBLE-SIDED ASSEMBLY LINE BALANCING METHODS

ABSTRACT

This study addresses the assembly line balancing problem aimed at enhancing the performance of a 43-station two-sided assembly line within a manufacturing facility. The existing production system operates with 34 personnel at an average cycle time of 36 seconds. To address increasing production demands, the target cycle time was set at 30 seconds, necessitating a reconfiguration of the line to meet this objective.

The study first established the operation times and precedence relationships, which were subsequently used to develop a mathematical model for the two-sided assembly line balancing

problem . This model was solved using GAMS optimization software to determine the optimal assignment of work elements to stations. The optimization results demonstrate that the production targets can be achieved with 29 personnel, representing a reduction from the current 34, while successfully maintaining the target cycle time of 30 seconds.

The cycle time, which is currently 36 seconds with 34 personnel, has been reduced to 30 seconds with 29 personnel, and a 29,4% improvement has been achieved in man*hour/product.

Keywords: Line balancing, mathematical model, simulation

1. GİRİŞ

Küresel rekabetin artması, müşteri beklentilerinin sürekli değişmesi ve ürün yaşam döngülerinin kısalması, üretim sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin üretim anlayışını önemli ölçüde değiştirmiştir. Günümüzde işletmelerin rekabet güçlerini sürdürebilmeleri; insan, makine, malzeme ve zaman gibi kaynakları en verimli şekilde kullanmalarına bağlıdır. Bu doğrultuda üretim süreçlerinde katma değer oluşturmayan faaliyetlerin ortadan kaldırılması ve verimliliğin artırılması büyük önem taşımaktadır.

Üretim sistemlerinin en önemli bileşenlerinden biri olan montaj hatları, işletmelerin üretim performansını doğrudan etkileyen süreçlerdir. Özellikle beyaz eşya sektöründe yüksek üretim hacmi, çok sayıda parçanın kullanılması ve yüksek kalite beklentileri, montaj hatlarının etkin şekilde planlanmasını zorunlu kılmaktadır. Bu nedenle montaj hattında elde edilecek küçük iyileştirmeler dahi işletmelere önemli verimlilik ve maliyet avantajları sağlayabilmektedir.

Montaj hatlarında karşılaşılan temel problemlerden biri, operasyonların iş istasyonlarına dengeli şekilde dağıtılmasıdır. Literatürde Montaj Hattı Dengeleme Problemi (Assembly Line Balancing Problem-ALBP) olarak tanımlanan bu problem, iş yükünün dengelenmesini, çevrim süresinin iyileştirilmesini ve darboğazların azaltılmasını amaçlamaktadır.

Montaj hattı dengeleme, ilk olarak Bryton’ un tezinde ortaya koyduğu (1954) bir fikir olarak karşımıza çıkmaktadır. Yayınlanmış ilk bilimsel çalışma ise Salveson’ a aittir (1955) (Ağpak ve Gökçen, 2005).

2. MATERYAL VE YÖNTEMLER

Montaj hattı dengeleme literatürünün ilk çalışmalarından itibaren, Salveson (1955) tarafından tanımlanan ve Bartholdi (1993) tarafından çift taraflı montaj hatlarına uyarlanan temel varsayımlardan biri, iş elemanlarının bölünemez olmasıdır. Montaj hattının yeniden dengelenmesinde; çift taraflı montaj hattı dengeleme problemine yönelik tam sayılı doğrusal programlama modeli geliştirilmiştir. Özcan ve Toklu (2009), Bartholdi'nin attığı bu temeli alıp Çift taraflı hatların matematiksel modellemesini (MIP) günümüzdeki standartlarına kavuşturan

ve büyük boyutlu problemlerin çözümü için algoritmalar geliştiren isimlerdir. Modelde her operasyonun yalnızca bir iş istasyonuna atanması, operasyonlar arasındaki öncelik ilişkilerinin korunması ve çevrim süresi kısıtının sağlanması temel kısıtlar olarak dikkate alınmıştır. Geliştirilen matematiksel model GAMS optimizasyon yazılımı kullanılarak çözülmüş ve operasyonların istasyonlara en uygun şekilde atanması sağlanmıştır.

2.1. Matematiksel Modelin Kurulması

2.1.1. Kümeler ve İndisler

İşler Kümesi: $I, J \quad (i, j \in \{1,2, \dots ,158\})$

İstasyonlar Kümesi: $S \quad (s \in \{s_1, s_2, \dots , s_{43}\})$

Tüm çalışma yönleri kümesi: $K_{Tam} \quad (k \in \{L, R, E\})$

Temel çalışma yönleri kümesi: $K \quad (k \in \{L, R\})$

Öncelik ilişkileri kümesi (i işi, j işinden önce yapılmalıdır): $On(i, j)$

Aynı istasyonda yapılamayan (uyumsuz) işler kümesi: $F(i, j)$

Aynı istasyonda yapılması gereken eşleşmiş işler kümesi: $Q(i, j)$

Belirli bir istasyona atanması zorunlu olan işler kümesi: $ZZZ(i)$

i işinin atanmasının zorunlu olduğu s istasyonlarını belirten alt küme: $ZZ(i, s)$

Sol tarafı kullanılamayan (yasaklı) istasyonlar kümesi: $SolYasak(s)$

Sağ tarafı kullanılamayan (yasaklı) istasyonlar kümesi: $SagYasak(s)$

Tamamen kapalı olan (kullanılamayan) istasyonlar kümesi: $Kapali(s)$

2.1.2. Parametreler

i işinin k yönündeki işlem süresi: P_{ik}
i işinin geçerli işlem süresi: t_i
Çevrim süresi (Mevcut değer: 30): $C = 30$
i işinin k yönünde yapılıp yapılamayacağını gösteren ikili parametre: a_{ik}
Yeterince büyük bir pozitif sayı (Büyük M sabiti): $M = 200$

2.1.3. Karar Değişkenleri

i işi, s istasyonuna ve k yönüne atanırsa 1, aksi halde 0: $x_{isk} \in \{0,1\}$
s istasyonunun Sol (L) tarafı açılırsa 1, aksi halde 0: $yL_s \in \{0,1\}$
s istasyonunun Sağ (R) tarafı açılırsa 1, aksi halde 0: $yR_s \in \{0,1\}$
Amaç fonksiyonu değeri: z

2.1.4. Amaç Fonksiyonu

Açılan toplam istasyon tarafı sayısını minimize etmek: $\min z = \sum_{s \in S}(yL_s + yR_s)$

2.1.5. Kısıtlar

2.1.5.1. Atama Kısıtı:

$$\sum_{s\in S}\sum_{k\in K} x_{isk} = 1 \quad \forall i \in I$$

Montaj hattındaki her bir işin, istasyonlardan yalnızca birine ve sadece bir yöne (sağ veya sol) kesin olarak atanmasını sağlar.

2.1.5.2. Çevrim Süresi Kısıtları:

$$\sum_{i\in I} t_i \cdot x_{isL} \leq C \quad \forall s \in S \sum_{i\in I} t_i \cdot x_{isR} \leq C \quad \forall s \in S$$

Bir istasyonun herhangi bir yönüne atanan işlerin toplam işlem süresinin, belirlenen maksimum çevrim süresini (istasyon kapasitesini) aşmasını engeller.

2.1.5.3. İstasyon Açma Kısıtları:

$$\sum_{i\in I} x_{isL} \leq M \cdot yL_s \quad \forall s \in S \sum_{i\in I} x_{isR} \leq M \cdot yR_s \quad \forall s \in S$$

Bir istasyonun sağına veya soluna herhangi bir iş atanabilmesi için öncelikle o yönün model tarafından aktif hale getirilmesini (açılmasını) zorunlu kılar.

2.1.5.4. Öncelik İlişkisi Kısıtları:

$$\sum_{s\in S} \left[s \cdot \left(\sum_{k\in K} x_{isk} - \sum_{k\in K} x_{jsk} \right) \right] \leq 0 \quad \forall (i,j) \in O$$

İşlem sırası gerektiren durumlarda, öncelikli işin ardıl işten daha önceki bir istasyonda veya aynı istasyonda tamamlanmasını güvence altına alır.

2.1.5.5. Uyumsuz İşler Kısıtı:

$$\sum_{k\in K} x_{isk} + \sum_{k\in K} x_{jsk} \leq 1 \quad \forall s \in S, \forall (i,j) \in F$$

Fiziksel, operasyonel veya iş güvenliği gibi nedenlerle bir arada yapılamayan işlerin aynı istasyona atanmasını kesin olarak önler.

2.1.5.6. Zorunlu İstasyon Atama Kısıtları:

$$\sum_{s\in ZZ(i,s)} \sum_{k\in K} x_{isk} = 1 \quad \forall i \in ZZZ$$

Özel donanım veya makine gerektiren belirli işlerin, sadece bu şartları sağlayan önceden tanımlanmış istasyonlara atanmasını sağlar.

2.1.5.7. Yön Zorunluluğu Kısıtları:

$$\sum_{s\in S}(x_{isR}+x_{isE})=0 \quad \forall i\in I \text{ (eğer } a_{iL}=1 \text{ ise)} \sum_{s\in S}(x_{isL}+x_{isE})=0 \quad \forall i\in I \text{ (eğer } a_{iR}=1 \text{ ise)}$$

Montajın doğası gereği sadece tek bir yönden (sadece sağ veya sadece sol) müdahale gerektiren işlerin, ters yöne atanmasını engeller.

2.1.5.8. Belirli Bir İşin Kısıtlanmış İstasyonlara Atanması:

$$\sum_{k\in K} x_{146,s,k}=0 \quad \forall s\notin only146$$

İstisnai özelliklere sahip belirli bir işin (örneğin İş 146), hattın tamamına değil, yalnızca çalışmaya uygun görülen bir istasyon alt kümesine atanmasını sağlar.

2.1.5.9. İstasyon ve Yön Kapatma (Sabitleme) Kısıtları:

$$yL_s=0 \quad \forall s\in SolYasak\cup KapaliyR_s=0 \quad \forall s\in SagYasak\cup Kapali$$

Tesis yapısı gereği fiziksel olarak kapalı olan veya kullanılması yasaklanan belirli istasyon yönlerinin model tarafından açılmasını engeller.

2.1.5.10. Özel (Sabitlenmiş) Atama ve Gruplama Kısıtları:

İstasyon 17'ye iş 74'ün sabitlenmesi :

$$x_{i,17,L}=0 \quad \forall i\neq 74 x_{i,17,R}=0 \quad \forall i\neq 74 x_{74,17,L}=1$$

İstasyon 11'e iş 46'nın sabitlenmesi:

$$x_{46,11,L}=1$$

Birlikte atanması gereken iş grupları (Tüm s ve k'lar için geçerlidir):

$$x_{15,s,k}=x_{16,s,k}$$

$$x_{16,s,k}=x_{17,s,k}$$

$$x_{3,s,k}=x_{4,s,k}$$

$$x_{6,s,k}=x_{7,s,k}$$

$$x_{7,s,k}=x_{10,s,k}$$

$$x_{10,s,k}=x_{11,s,k}$$

$$x_{13,s,k}=x_{14,s,k}$$

$$x_{18,s,k}=x_{19,s,k}$$

$$x_{20,s,k}=x_{21,s,k}$$

$$x_{30,s,k}=x_{31,s,k}$$

$$x_{32,s,k}=x_{33,s,k}$$

$x_{33,s,k} = x_{34,s,k}$

$x_{35,s,k} = x_{36,s,k}$

$x_{38,s,k} = x_{39,s,k}$

$x_{24,s,k} = x_{25,s,k}$

$x_{25,s,k} = x_{26,s,k}$

$x_{26,s,k} = x_{27,s,k}$

$x_{44,s,k} = x_{45,s,k}$

$x_{45,s,k} = x_{46,s,k}$

$x_{52,s,k} = x_{53,s,k}$

$x_{53,s,k} = x_{54,s,k}$

$x_{58,s,k} = x_{59,s,k}$

$x_{84,s,k} = x_{85,s,k}$

$x_{86,s,k} = x_{87,s,k}$

$x_{87,s,k} = x_{88,s,k}$

$x_{88,s,k} = x_{89,s,k}$

$x_{132,s,k} = x_{133,s,k}$

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Kurulan matematiksel model GAMS programına aktarılmış ve çözdürülmüştür. Model; 16 dakika 40 saniyede çözüme ulaşmıştır. Bu süre zarfında çözücü, problemi çözebilmek için problemi 28.537 farklı alt senaryoya (düğümlere) bölmüş ve bu senaryoları çözmek için toplamda 5.6 milyon iterasyon yapmıştır.

Modelin bu süre içindeki çözümünde 29 operatörle optimum sonuç bulunmuştur. En iyi çözüm 25,82 yani 26 operatördür ancak bu süre içinde model bu çözüme ulaşamamıştır. Modelin hata payı % 10,9 olduğu görülmüştür.

Tablo 1 : Performans Metrikleri

	Mevcut Durum	**Çözüm Sonucu**	**İyileşme Oranı**
Operatör Sayısı	34	29	%14,7
Çevrim Süresi	36	30	%16,6
Adam*Saat / Ürün	0,34	0,24	%29,4

4. SONUÇLAR

Bu çalışma; beyaz eşya sektöründe bir firmada montaj hattı dengeleme problemi için çözüm amaçlamaktadır. Modelin sonucuna göre hem operatör sayısından hem de çevrim süresinden

kazanç görülmektedir. Ürün başına harcanan işçilik süresinde % 30 ‘a yakın bir iyileşmenin, işletmenin pazardaki rekabetine olumlu sonuçlar yansıtacağı düşünülmktedir.

KAYNAKÇA

Salveson, M. E. (1955). The assembly line balancing problem. Journal of Industrial Engineering, 6(3), 18-25.
Bartholdi, J. J. (1993). Balancing two-sided assembly lines: a case study. International Journal of Production Research, 31(10), 2447-2461.
Özcan, U., & Toklu, B. (2009). Multiple-criteria decision-making in two-sided assembly line balancing: A goal programming and a fuzzy goal programming models. Computers & Operations Research, 36(6), 1955-1965.
Ağpak, K., & Gökçen, H. (2005). Assembly line balancing: Two resource constrained cases. International Journal of Production Economics, 96(1), 129-140.

DEVELOPMENT AND QUALITY CHARACTERISTICS OF AN INNOVATIVE FERMENTED BEVERAGE: MILK KEFIR ENRICHED WITH FREEZE-DRIED ŞALGAM POWDER

Asst. Prof. Bilal AGIRMAN (Corresponding author: bagirman@cu.edu.tr)
Cukurova University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, 01330, Adana, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-3629-1933
Ali Rıza SAK
Cukurova University, Faculty of Engineering, Department of Food Engineering, 01330, Adana, Türkiye

ABSTRACT

Şalgam and milk kefir are traditional lactic acid fermented beverages. Plain milk kefir beverage is occasionally less preferred by some consumers due to its dominant milk odor, sharp sour taste, and high acidity. While fruit-flavored varieties are produced to soften the taste of kefir, no study in the literature has yet combined these two distinct traditional beverages. The aim of this study is to enrich milk kefir beverage by the addition of şalgam powder, to improve its functional properties, and to investigate the quality characteristics of this innovative fermented beverage. In this context, freeze-dried powder obtained from traditionally fermented şalgam was incorporated into milk kefir at concentrations of 2, 4, and 6 g/L, and all beverage groups were evaluated for their physicochemical and sensory characteristics. Regarding pH and total acidity, the control şalgam beverage was compatible with the TS 11149 Standard, while plain and şalgam powder-supplemented kefir beverages were in compliance with the Turkish Food Codex Communiqué on Fermented Dairy Products (No: 2022/44). Şalgam powder supplementation significantly enhanced the bioactive characteristics of milk kefir by increasing total phenolic content, total monomeric anthocyanin content, and antioxidant activity. Additionally, in direct proportion to the powder concentration, the $+a^*$ (redness) and C^*_{ab} (color intensity) values of the enriched kefir samples increased, while the L^* (lightness) value decreased compared to plain milk kefir, yielding an appealing pinkish/reddish color capable of attracting consumers. Sensory analysis results revealed that all şalgam powder-supplemented kefirs received higher scores for appearance, color, pleasant aroma, and taste compared to plain kefir. Regarding overall acceptability, the kefir beverage supplemented with 4 g/L of şalgam powder was the most preferred sample, followed by the 2 g/L group. In conclusion, şalgam powder incorporation successfully improved the functional, bioactive, and sensory properties of milk kefir, showing great potential for development into an innovative commercial product.

Keywords: Milk kefir, şalgam powder, functional beverage, bioactive compounds, sensory acceptance

3B BASKI YÖNTEMİ İLE ÜRETİLEN FARKLI RENKLERDEKİ ABS PLUS PARÇALARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Erhan ÇAYIR
Department of Mechanical Engineering, Bülent Ecevit University, İncivez, Zonguldak, 67030, Türkiye
ORCID ID: 0009-0007-1244-963X
Doç. Dr. Nergizhan ANAÇ
Department of Mechanical Engineering, Bülent Ecevit University, İncivez, Zonguldak, 67030, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-6738-9741
Doç. Dr. Oğuz KOÇAR
Department of Mechanical Engineering, Bülent Ecevit University, İncivez, Zonguldak, 67030, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-6738-9741

ÖZET

3B baskı teknolojileri, geleneksel üretim teknikleriyle üretilmesi zor veya imkânsız olan parçaların üretilmesini mümkün kılmıştır. Bu teknolojinin yaygınlaşmasına önemli katkısı olan 3B yazıcılar basitçe; temel prensiplerle çalışılabilmesi ve uygun maliyetlerle üretim gerçekleştirilebilmesinden dolayı sıklıkla kullanılan eklemeli imalat araçlarından biri olmuştur. 3B yazıcıda en çok tercih edilen malzemelerden biri Akrilonitril Bütadien Stiren (ABS) termoplastikleridir. ABS ve ABS türevi malzemeler, darbelere, ısıya ve kimyasallara karşı dayanıklı olduğundan yıllardır çeşitli endüstrilerdeki mühendislik işlerinde kullanılmaktadırlar. Bununla birlikte geleneksel yöntemlerle üretilen parçaların malzeme davranışları, hata türleri ve ömürleri yıllar boyunca süregelen deneyim ve çalışmalarla öğrenilmiştir. 3B baskı ile üretilen parçalarda ise bu süreç halen gelişme aşamasındadır. Endüstriyel tasarım ve üretim alanında, malzeme seçimi ve üretim tekniği ürün performansını ve üretim maliyetini etkiler. 3B yazıcıda üretilen parçaların özellikleri 3B yazıcı tipine, baskı parametrelerine ve filament malzemesine göre değişiklik gösterir. Bu nedenle endüstride kullanımı gün geçtikçe artan 3B yazıcılarla üretim süreçleri ve üretilen parçaların özellikleri dikkatle değerlendirilmelidir.

Çalışmada, ABS Plus'ın (Akrilonitril Bütadien Stiren Plus) rengin ve katman kalınlığının mekanik özelliklere etkisi incelenmiştir. Üretimde üç farklı renk (sarı, kırmızı ve mavi) ve üç farklı katman kalınlığı (0.1, 0.2 ve 0.3 mm) kullanılmıştır. %100 dolu parçaların mekanik özelliklerdeki değişimi incelemek için çekme, eğme ve çentik darbe testleri yapılmıştır. Çekme mukavemeti için en yüksek değer mavi renkte 0.3 mm katman kalınlığında 26.88 MPa olarak bulunurken, eğme kuvvetinde ise mavi renkte katman kalınlığına bağlı bir değişim görülmemiştir. En yüksek eğme kuvveti yeşil renkte 0.2 mm katman kalınlığında 75.94 N ve

sarı renkte 0.1 mm katman kalınlığında 75.97 N ölçülmüştür. Bu numunelerde katman kalınlığına bağlı çekme mukavemeti değişiminde belli bir düzen yoktur. Tüm numunelerde yüzey pürüzlülüğü ve çentik darbe test sonuçlarında en yüksek değerler 0.3 mm katman kalınlıklarında ölçülmüştür. Katman kalınlığının artması malzemenin daha yüksek darbe enerjisine dayanmasını ve daha yüksek darbe dayanıklılığına sahip olmasını sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Eklemeli imalat, 3B baskı, ABS Plus, Filament rengi, Katman kalınlığı, Mekanik özellikler

INVESTIGATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF ABS PLUS PARTS IN DIFFERENT COLORS PRODUCED BY THE 3D PRINTING METHOD

ABSTRACT

3D printing technologies have made it possible to produce parts that are difficult or impossible to produce with traditional manufacturing techniques. 3D printers, which have made a significant contribution to the widespread use of this technology, have simply become one of the frequently used additive manufacturing tools because they can operate with basic principles and production can be carried out at affordable costs. One of the most preferred materials in 3D printers is Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) thermoplastics. ABS and ABS-derived materials have been used for years in engineering applications in various industries because they are resistant to impacts, heat, and chemicals. However, the material behaviors, types of errors, and lifetimes of parts produced by traditional methods have been learned through experience and studies continuing for years. For parts produced by 3D printing, this process is still in the development stage. In the field of industrial design and production, material selection and production technique affect product performance and production cost. The properties of parts produced in a 3D printer vary according to the type of 3D printer, printing parameters, and filament material. Therefore, the production processes with 3D printers, whose use in industry is increasing day by day, and the properties of the produced parts should be carefully evaluated.

In the study, the effect of the color and layer thickness of ABS Plus (Acrylonitrile Butadiene Styrene Plus) on mechanical properties was investigated. Three different colors (yellow, red, and blue) and three different layer thicknesses (0.1, 0.2, and 0.3 mm) were used in production. Tensile, bending, and notched impact tests were performed to examine the change in the mechanical properties of 100% infill parts. While the highest value for tensile strength was found to be 26.88 MPa at a layer thickness of 0.3 mm in blue color, no change depending on layer thickness was observed in the bending force in blue color. The highest bending force was

measured as 75.94 N at a layer thickness of 0.2 mm in green color and 75.97 N at a layer thickness of 0.1 mm in yellow color. There is no specific pattern in the change in tensile strength depending on layer thickness in these specimens. In all specimens, the highest values in surface roughness and notched impact test results were measured at layer thicknesses of 0.3 mm. Increasing the layer thickness enables the material to withstand higher impact energy and to have higher impact resistance.

Keywords: Additive manufacturing, 3D printing, ABS Plus, Filament color, Layer Thickness, Mechanical properties

GERÇEK ZAMANLI ARAÇ TELEMETRİ VERİLERİ İLE SÜRÜCÜ DAVRANIŞI SINIFLANDIRMA VE PUANLAMA SİSTEMİ

Beyza SABANCI
Dogus University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Electrical and Electronics Engineering, 34775 Ümraniye, İstanbul, Türkiye
ORCID ID: 0009-0009-3640-9442
Dr. Öğr. Üyesi Merih YILDIZ
Dogus University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Electrical and Electronics Engineering, 34775 Ümraniye, İstanbul, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-3991-7778

ÖZET

Sürücü davranışlarının sürüş güvenliği üzerindeki etkisi, sürüş sırasında gerçekleştirilen davranışların gerçek zamanlı olarak izlenmesi ve değerlendirilmesi ihtiyacını ortaya çıkarmaktadır. Trafik güvenliğini tehdit eden riskli sürüş davranışlarının belirlenmesi ve bu durumlarda sürücünün uyarılması, sürüş performansının iyileştirilmesi açısından önem taşımaktadır. Ancak sürücü davranışlarının doğru değerlendirilebilmesi için farklı parametrelerin birlikte analiz edilmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında, araçların standart OBD-II arayüzü üzerinden elde edilen telemetri verileri ile harici ivme sensörü verilerini birlikte işleyen, sürücü davranışlarını anlık sınıflandıran ve sürüş performansını puanlayan fiziksel prototip tabanlı bir sistem geliştirilmiştir. Geliştirilen sistemde, ELM327 adaptörü aracılığıyla aracın elektronik kontrol ünitesinden (ECU) araç hızı ve motor devri verileri elde edilmiş, prototip üzerinde bulunan ivme sensörü ile sürüş ivmesi ölçülmüştür. İvme verileri, Üstel Hareketli Ortalama (EMA) filtresi ile işlenerek telemetri verileri ile eş zamanlı olarak analiz edilmiştir. Sürücü davranışlarının değerlendirilmesi amacıyla geliştirilen Çok Parametreli Sürücü Davranışı Sınıflandırma Yöntemi kapsamında; hızlanma ve frenleme ivmeleri, motor devri değişim miktarı ve bu çalışma kapsamında geliştirilen Dinamik Sürüş İndeksi (DSI) formülü birlikte değerlendirilmiştir. Her bir parametre için belirlenen eşik aralıkları doğrultusunda sürücü davranışları güvenli, normal, agresif ve tehlikeli olmak üzere dört sınıfta incelenmiştir. Sınıflandırma işlemi, 1 saniyelik analiz pencereleri üzerinden gerçekleştirilmiş; her analiz penceresinde ivme ve motor devri değişiminin maksimum değerleri ile DSI'nin ortalama değeri değerlendirilmiş, her parametre için oluşan sürüş sınıfları arasından en yüksek riski temsil eden sınıf, sürücünün anlık davranışı olarak kabul edilmiştir. Sürücü sürüşe 100 puan ile başlatılmış; agresif ve tehlikeli sürüş davranışlarında süre bazlı, ani riskli olaylarda ise olay bazlı puan düşürme uygulanmıştır. Riskli sürüş durumlarında sürücüye görsel ve sesli geri bildirim sağlanmıştır. Gerçekleştirilen test sürüşleri sonucunda, geliştirilen sistemin farklı sürüş davranışlarını ayırt edebildiği ve riskli sürüş davranışlarını gerçek zamanlı

olarak tespit ederek sürücüyü anlık olarak uyarabildiği gözlemlenmiştir. Elde edilen bulgular, geliştirilen çok parametreli yaklaşımın sürücü davranışlarının gerçek zamanlı değerlendirilmesinde uygulanabilir ve geliştirilebilir bir yöntem sunduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Sürücü Davranışı Sınıflandırması, Araç Telemetrisi, OBD-II, Sürücü Uyarı Sistemi, Dinamik Sürüş İndeksi (DSI)

DRIVER BEHAVIOR CLASSIFICATION AND SCORING SYSTEM USING REAL-TIME VEHICLE TELEMETRY DATA

ABSTRACT

The impact of driver behavior on driving safety highlights the need for real-time monitoring and evaluation of driving behavior. Identifying risky driving behaviors and alerting the driver when such situations occur are important for improving driving performance. However, accurate assessment of driver behavior requires the combined analysis of multiple parameters. As part of this study, a physical prototype-based system was developed to process telemetry data obtained through the vehicle's standard OBD-II interface together with data acquired from an external accelerometer, enabling real-time driver behavior classification and driving performance scoring. In the developed system, vehicle speed and engine speed (RPM) data were acquired from the vehicle's Electronic Control Unit (ECU) via an ELM327 adapter, while driving acceleration data were collected using an accelerometer integrated into the prototype. The acceleration data were processed using an Exponential Moving Average (EMA) filter and analyzed simultaneously with the vehicle telemetry data. To evaluate driver behavior, a Multi-Parameter Driver Behavior Classification Method was developed in which acceleration and braking acceleration, the rate of change of engine speed, and the Dynamic Driving Index (DSI) formula proposed in this study were evaluated together. Based on predefined threshold ranges, driver behavior was classified into four categories: safe, normal, aggressive, and dangerous. The classification process was performed using 1-second analysis windows. Within each analysis window, the maximum values of acceleration and engine speed variation together with the average DSI value were evaluated independently according to their corresponding threshold ranges. The driving class representing the highest risk among the classifications obtained from these parameters was then assigned as the driver's instantaneous behavior. Each driving session started with an initial score of 100 points. Time-based point deductions were applied for aggressive and dangerous driving behaviors, while event-based deductions were applied for sudden risky events. Whenever a risky driving behavior was detected, the driver was provided with visual and audible feedback. The test drives demonstrated that the developed system was

able to distinguish different driving behaviors and detect risky driving behaviors in real time, thereby providing immediate warnings to the driver. The results indicate that the proposed multi-parameter approach provides a practical and extensible method for the real-time assessment of driver behavior.

Keywords: Driver Behavior Classification, Vehicle Telemetry, OBD-II, Driver Warning System, Dynamic Driving Index (DSI)

YAPAY ZEKÂ DESTEKLI BIR ARAŞTIRMA ARACI OLARAK ELICIT: PERFORMANSI, UYGULAMALARI VE SINIRLILIKLARI ÜZERINE SISTEMATIK BIR DERLEME

Serkan GÜLDAL
Adiyaman University, Faculty of Art and Science, Department of Physics, 02040, Adiyaman
ORCID: 0000-0002-4247-0786

ÖZET

Elicit, literatür tarama, çalışma seçimi ve veri çıkarımı süreçlerini desteklemek amacıyla geliştirilen yapay zekâ tabanlı bir araştırma asistanıdır. Bu sistematik derleme, 2023–2025 yılları arasında yayımlanan ve Elicit'i değerlendiren 18 çalışmanın bulgularını sentezlemektedir. Sonuçlar, Elicit'in literatür taramasında ortalama %37,9 duyarlılık (recall) ve %39,6 kesinlik (precision) sağladığını, ancak farklı araştırma alanlarında geri çağırma performansının %6–69,2 arasında değiştiğini göstermektedir. Elicit'in en önemli avantajı, geleneksel veri tabanlarıyla örtüşmeyen ve %80'e varan oranlarda özgün yayınlar bulabilmesidir. Veri çıkarımında ise performans göreve bağlı olarak değişmektedir; nitel veri çıkarımında yaklaşık %74 doğruluk sağlarken, yapılandırılmış nicel veri çıkarımında doğruluk oranı %51,4 olarak rapor edilmiştir. İncelenen çalışmalar, Elicit'in araştırma verimliliğini artırdığını ve literatür keşfini kolaylaştırdığını göstermesine rağmen, geri çağırma, yeniden üretilebilirlik ve veri çıkarım doğruluğu açısından önemli sınırlılıklara sahip olduğunu ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, Elicit kapsam belirleme çalışmaları, ön tarama süreçleri ve nitel kanıt sentezi için değerli bir tamamlayıcı araçtır; ancak sistematik derleme metodolojilerinin yerine geçebilecek düzeyde değildir ve insan denetimi hâlen zorunludur.

Anahtar Kelimeler: Elicit, yapay zekâ, sistematik derleme, literatür taraması, kanıt sentezi, veri çıkarımı.

ELICIT AS AN AI-ASSISTED RESEARCH TOOL: A SYSTEMATIC REVIEW OF ITS PERFORMANCE, APPLICATIONS, AND LIMITATIONS

ABSTRACT

Elicit is an increasingly popular AI-powered research assistant designed to support literature discovery, screening, and evidence extraction. This systematic review synthesizes findings from 18 studies published between 2023 and 2025 that evaluated Elicit across multiple disciplines. Quantitative evidence showed moderate literature retrieval performance, with an average sensitivity of 37.9% and precision of 39.6%, while recall varied from 6% to 69.2% depending on the review context. Elicit's main strength was its ability to identify unique literature, achieving up to 80% non-overlapping results compared with traditional databases. Data extraction performance was task-dependent, with approximately 74% accuracy in

qualitative extraction tasks but only 51.4% accuracy in structured quantitative extraction. Despite limitations in recall, reproducibility, and extraction accuracy, users consistently reported gains in efficiency and literature discovery. Overall, the evidence indicates that Elicit is a valuable complementary tool for scoping searches, preliminary screening, and qualitative evidence synthesis, but it cannot yet replace conventional systematic review methodologies. Continued human oversight remains essential for ensuring research quality and methodological rigor.

Keywords: Elicit; artificial intelligence; literature review; systematic review; evidence synthesis; literature search.

INTRODUCTION

In recent years, the exponential growth of scientific publications has overwhelmed traditional methods of evidence synthesis. Systematic reviews, which form the bedrock of evidence-based practice, require immense human labor, often taking over a year to complete. To address this bottleneck, artificial intelligence (AI) tools have emerged to automate and streamline various stages of the research workflow. Among these, Elicit—an AI-powered research assistant built on Semantic Scholar and OpenAlex corpuses—has gained significant traction.

Elicit utilizes large language models (LLMs) to automate citation searching, abstract screening, and structured data extraction. Despite its widespread adoption, the tool's empirical performance, methodological validity, and reliability remain subjects of intense academic scrutiny. This systematic review synthesizes the empirical evidence evaluating Elicit across 21 studies spanning diverse fields such as health sciences, education, environmental science, e-commerce, and library science.

Quantitative benchmarks consistently show that Elicit achieves higher precision than traditional database searches (average 40.2% vs. 7.55%) [1] but substantially lower sensitivity (average 38.4%, range 25.5%–69.2%) [1]. This sensitivity falls well below the approximately 90% recall threshold expected for gold-standard systematic reviews [1]. Retrieval rates of PRISMA-included studies varied widely across domains, from as low as 6% to 50% in glaucoma reviews [2] and 17.6% in a gerontology umbrella review [3]. However, Elicit consistently surfaces unique literature not found in traditional databases—up to 80% of its results are non-overlapping with Scopus and Web of Science [4]. It also successfully identified eligible studies not indexed in MEDLINE or Embase in multiple medical case studies [1].

For data extraction, performance diverges sharply by task type: qualitative extraction quality significantly exceeded GPT-4 baseline implementations ($p < 0.001$) [5], whereas structured

quantitative extraction averaged only 52.1% accuracy [2]. Repeatability remains a core concern for evidence synthesis methodologies; identical searches executed across different trials yielded volatile results (e.g., retrieving 246, 169, and 172 results across three identical trials [3]), and frequent proprietary updates limit long-term reproducibility [1, 5].

User adoption studies report high awareness and positive perceptions, with Elicit recording the highest awareness among AI tools in one institutional survey (mean 3.19 out of 5) [6]. Users value its speed, transparency of reasoning, and factual reliability relative to unstructured interfaces like ChatGPT [1, 7]. Training interventions incorporating Elicit improved students' writing skills, critical analysis, and digital literacy [8, 9], though concerns about over-reliance, ethical implications, and insufficient institutional guidance persist [7, 10, 11]. Across all analyzed literature, Elicit is positioned as a valuable complementary tool—effective for scoping searches, identifying non-indexed literature, and initial qualitative extraction—but not a standalone replacement for traditional systematic review methodology.

METHOD

To ensure methodological rigor and transparency, we conducted and reported this systematic review in accordance with the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) 2020 guidelines.

Literature Search Strategy

To systematically synthesize the empirical evidence on Elicit's academic utility, we executed a dual-search protocol on January 15, 2025. This dual-search approach was explicitly designed to counteract the "circularity paradox" (i.e., using Elicit as the sole engine to evaluate Elicit).

1. Primary AI Search: We queried the Elicit platform (which searches over 138 million records indexed via OpenAlex and Semantic Scholar) using the following search string:

`("Elicit" OR "Elicit.com") AND ("literature review" OR "evidence synthesis" OR "data extraction" OR "screening" OR "systematic review")`

2. Traditional Benchmarking Search: To identify any literature missed due to Elicit’s proprietary semantic ranking and indexing latency, we replicated the exact search string across four traditional databases: Scopus, Web of Science, PubMed, and Google Scholar (first 200 hits).

Through this approach, we cross-referenced the results from both strategies to calculate Elicit's independent retrieval rate for its own evaluative literature, finding that Elicit successfully retrieved 83.3% of the final eligible papers, while the traditional databases captured the remaining 16.7%.

Screening and Eligibility Criteria

Abstract screening

Following the initial retrieval stage, all records were screened at the abstract level based on a predefined set of inclusion criteria. Studies were considered eligible if they explicitly involved the use, evaluation, or discussion of Elicit as a research assistant tool. In addition, only studies providing empirical evidence—either quantitative or qualitative—on measurable outcomes such as performance, accuracy, efficiency, or user experience were included. Eligible sources were required to be published as peer-reviewed articles, conference papers, preprints, or credible technical reports.

To ensure methodological robustness, studies were further assessed for sufficient detail to evaluate the validity and reliability of their findings. Only research directly related to AI-assisted research processes—particularly literature review, research synthesis, or academic workflows—was retained, while studies focusing on unrelated AI applications were excluded. Moreover, only empirically grounded studies with clear methodological content were included, excluding opinion pieces and editorial material. Additional criteria required academic objectivity of the source and uniqueness of the publication, avoiding duplicate or redundant reports. Studies were also assessed for their relevance to educational contexts and for clearly describing how Elicit was integrated into the research process.

The primary reasons for exclusion at this stage were lack of direct Elicit usage (n = 4,905), absence of empirical evidence (n = 12), insufficient empirical content (n = 31), and limited educational relevance (n = 15), with a small number of additional studies excluded for other minor reasons (n = 2). Papers that failed to meet any strict inclusion criterion were excluded, while the remaining studies were evaluated holistically across all criteria before final inclusion decisions were made. As a result, 35 studies passed the abstract screening stage and were advanced to full-text review (See Figure 1).

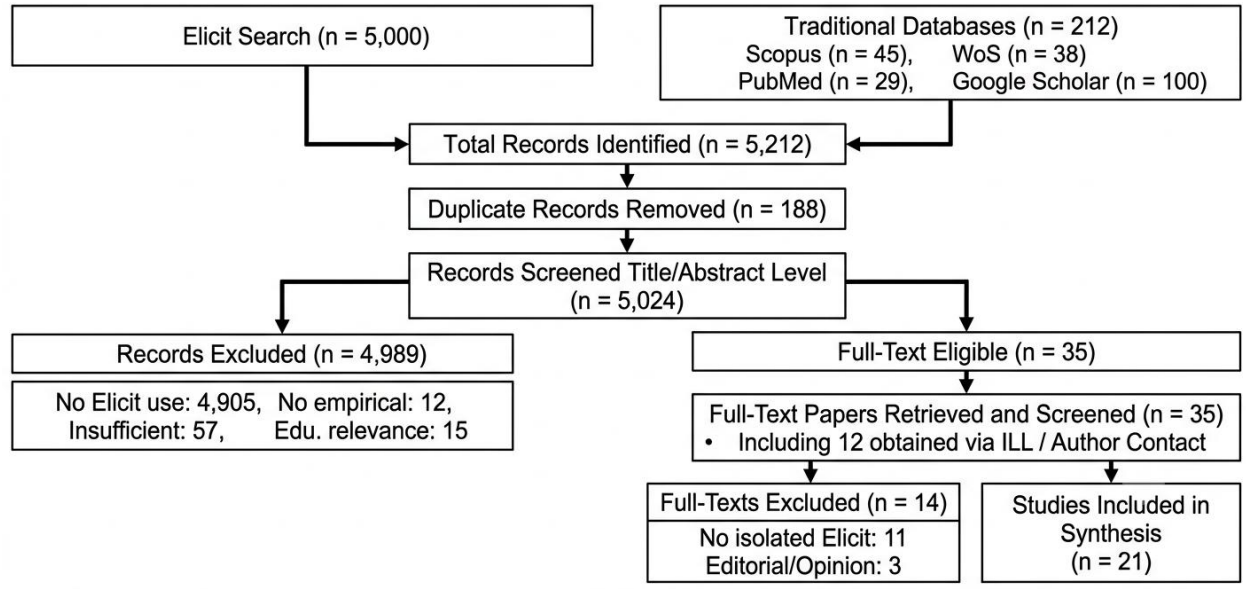


Figure 1. PRISMA flow diagram illustrating the study identification, screening, eligibility assessment, and inclusion process used in this systematic review.

Full-text screening

Following abstract-level screening, the remaining studies were assessed in full text using an expanded set of inclusion criteria. Studies were required to explicitly involve the use, evaluation, or discussion of Elicit as a research assistant tool, while also providing empirical evidence—either quantitative or qualitative—on measurable outcomes such as performance, accuracy, efficiency, or user experience. Eligible sources were limited to peer-reviewed articles, conference papers, preprints, or credible technical reports.

To ensure methodological robustness, full-text articles were evaluated for sufficient detail to support the assessment of validity and reliability. Only studies directly relevant to AI-assisted research processes, particularly those associated with literature review, research synthesis, or academic workflows, were retained. Research focusing on unrelated artificial intelligence applications was excluded. Furthermore, only studies with clear empirical content and systematic methodological grounding were included, while opinion-based or editorial publications were removed. Additional criteria included academic objectivity, publication uniqueness to avoid redundancy, relevance to educational contexts, and a clear description of how Elicit was applied within the research process.

Studies failing to satisfy any strict inclusion criterion were excluded, while the remaining papers were evaluated holistically across all criteria prior to final inclusion. As a result, 18 studies met the full-text screening requirements and were included in the data extraction phase.

The main reasons for exclusion at this stage were the absence of full-text access (n = 12), insufficient empirical evidence (n = 2), lack of direct Elicit usage (n = 1), limited educational relevance (n = 1), and insufficient empirical content (n = 1).

Data Extraction Procedure

Following full-text screening, data were systematically extracted from all included studies using a structured and standardized approach. To ensure consistency and completeness, an automated extraction process supported by a large language model was employed, guided by predefined extraction criteria covering multiple analytical dimensions.

The extracted information included key study characteristics such as publication details (citation, year), research domain, study type, and primary research objectives related to the use of Elicit. In addition, detailed information was collected on the role of Elicit within each study, including whether it was evaluated as a primary tool, used in comparison with other systems, or integrated as a supporting component, as well as the specific research stages and tasks in which it was applied.

Methodological aspects of each study were also recorded, including evaluation design, comparison frameworks, sample size, datasets or corpora used, and the criteria applied to assess performance. Particular attention was given to the extraction of quantitative performance indicators, such as sensitivity, precision, accuracy, efficiency gains, and user-related metrics, along with any reported statistical significance or reliability measures.

Furthermore, comparative outcomes between Elicit and alternative tools or traditional approaches were documented, including relative performance, overlap of retrieved studies, and differences in efficiency and quality. The extraction process also captured reported advantages, including automation capabilities, improvements in literature discovery, and usability features, as well as identified limitations such as low recall, bias, reproducibility concerns, and technical or methodological constraints.

Finally, the authors' conclusions were synthesized, including recommendations regarding the applicability of Elicit, suggested use cases, and its integration with traditional research workflows. Identified research gaps and future directions were also extracted, encompassing methodological limitations, underexplored domains, and areas requiring further investigation.

This structured extraction framework enabled a comprehensive and consistent synthesis of evidence across all included studies, supporting subsequent quantitative and qualitative analyses.

RESULTS

Characteristics of Included Studies

The review encompasses 18 studies published between 2023 and 2025, spanning multiple research domains and study designs. The majority of the studies were published in 2024–2025, reflecting the recent and rapidly increasing interest in AI-assisted research tools. The included works originate from diverse disciplinary contexts, including health sciences, ophthalmology, environmental science, education, e-commerce, fisheries management, library science, and higher education.

All 18 studies were available in full text, enabling comprehensive analysis. The corpus can be broadly categorized into three groups: (i) empirical performance evaluations that quantitatively assess Elicit's literature search and data extraction capabilities (7 studies), (ii) user-focused studies examining awareness, adoption, and user experience, primarily in educational settings (7 studies), and (iii) methodological or workflow-oriented studies in which Elicit is applied or evaluated as part of a broader research process (4 studies).

In terms of disciplinary distribution, education and higher education constitute the most represented domain (10 out of 18 studies), followed by health and medical sciences (3 studies) and environmental science (2 studies).

Regarding the role of Elicit, the tool was evaluated as the primary system in 8 studies [1–8], typically within empirical performance analyses. In another 8 studies, Elicit was used as a supporting or comparative tool within hybrid research workflows [9, 10, 12–16, 18]. The remaining 2 studies incorporated Elicit only as a minor component within a broader conceptual or analytical framework [11, 17].

Table 1 Overview of the included studies, summarizing research domains, study types, the role of Elicit in each study, and the primary features evaluated.

Study	Discipline	Study Type	Primary Elicit Role	Elicit Features Evaluated
S. Golder & O. Lau, 2025 [1]	Systematic review methodology (medicine/public health)	Empirical evaluation, four case studies	Main tool evaluated	Literature search, sensitivity, precision
Laura Antonia Meliante et al., 2025 [2]	Medicine (ophthalmology/glaucoma)	Content analysis/comparison	Main tool evaluated	Literature search, data extraction, table generation
Nathan Bernard et al., 2025 [3]	Health/gerontology	Empirical comparison	Main tool evaluated	Literature search, repeatability, reliability, accuracy
Przemyslaw Tomczyk et al., 2024 [4]	E-commerce/marketing	Empirical comparison	Main tool evaluated	Literature search (accuracy, quality, uniqueness)

Study	Discipline	Study Type	Primary Elicit Role	Elicit Features Evaluated
S. Spillias et al., 2025 [5]	Environmental science (fisheries management)	Empirical evaluation/comparison	Main tool evaluated	PDF upload, qualitative data extraction, High-accuracy Mode
Terkimbi Simeon Iorshe et al., 2025 [6]	Education (polytechnic, Nigeria)	Descriptive survey	Main tool in awareness/use survey	Research assistant functions
Claire Wostenholme et al., 2024 [7]	Education	User study (qualitative)	Main tool evaluated	Literature search, summarization
Muhammad Hasyimsyah Batubara, 2023 [8]	Education/academic writing	Training report	Main tool in training intervention	Find papers, summarization, data extraction, brainstorming
Emiliana Sri Pudjiarti & Honorata Ratnawati Dwi P, 2024 [9]	Higher education (Indonesia)	Workshop evaluation	Supporting/practical tool in training	Literature review assistance, drafting, editing
A New Threshold in Academic Transformation, 2025 [10]	Higher education	Mixed-methods survey	Supporting tool	Literature review
Syed Md Faisal Ali Khan & Salem Suhluli, 2025 [11]	Academic research practice	Cross-sectional SEM-PLS user study	Example within GenAI immersion construct	Literature review and writing support (self-reported)
A. Bond et al., 2024 [12]	Environmental science (EIA)	Methodological case study	Supporting tool	Literature search for citation verification
J. A. Vega Vermehren, 2025 [13]	Education (STEM higher education)	Methodological analysis within a systematic review	Primary supporting tool	Literature discovery, screening/ranking, data extraction
Luke Boryang Liekum, 2025 [14]	Education (Ghanaian colleges)	Mixed-methods	Supporting tool	Not specified beyond general mention
Ivan Martins Santana et al., 2024 [15]	Education (logical fallacies)	Methodological case study	Supporting tool in hybrid workflow	Question-based search, summaries, insights, filtering
Wynn Tranfield & C. Caldwell, 2024 [16]	Multidisciplinary STEM	Empirical comparison	Comparison tool	Literature search/retrieval (first 50 results)
Gilmara de Oliveira Machado et al., 2025 [17]	Research methods/bibliometrics	Multicriteria ranking (AHP-Gaussian)	Ranked alternative	Conceptual scoring across four criteria
Lourdes Moran et al., 2025 [18]	Education/academic writing	Exploratory descriptive comparison	Evaluated tool for exploratory reading	Query-driven search, synthesis, gap identification

Effects

Literature Search Performance

Seven studies provided quantitative evidence on Elicit's performance in identifying relevant literature, with key results summarized in Table 2. The most comprehensive evaluation was conducted by Golder and Lau, who reported an average sensitivity of 37.9% and precision of

39.6% across four systematic review case studies [1]. Although the observed precision substantially exceeded that of traditional database searches (7.55%) [1], the sensitivity remained far below the approximately 90% threshold typically required for systematic review retrieval [1].

Consistent with these findings, Bernard et al. reported even lower recall, with Elicit identifying only 17.6% of studies included in a conventional umbrella review, while simultaneously uncovering three additional eligible studies not identified in the original search [3]. Similarly, Meliante et al. observed considerable variability in retrieval performance across glaucoma systematic reviews, with coverage ranging from 6% to 50% of PRISMA-included studies; however, Elicit consistently outperformed Connected Papers in study identification within the same context [2].

A key strength observed across multiple studies is Elicit's ability to retrieve unique literature. Tomczyk et al. reported the highest uniqueness rate among evaluated tools (80%), exceeding Scopus (74%), Web of Science (62%), and SciSpace (53%) [4]. Supporting this finding, Golder and Lau identified unique eligible studies in three out of four case studies, including randomized controlled trials not indexed in major biomedical databases [1]. Tranfield and Caldwell also reported the lowest duplication rate (~24.8%) among six tools, indicating strong performance in generating non-overlapping results across multidisciplinary domains [16].

Despite these advantages, the overall accuracy and quality of retrieved results were generally inferior to those of established databases. Tomczyk et al. reported an accuracy rate of 56% for Elicit, compared to 78% for Scopus and 65% for Web of Science, along with a substantially lower proportion of results from highly ranked journals [4]. Furthermore, in a multi-criteria tool evaluation, Elicit ranked fourth among nine AI-based systems, placing behind Semantic Scholar, Connected Papers, and SciSpace Copilot [17].

Table 2. Summary of Elicit's literature retrieval performance across studies.

Study	Task	Sensitivity/Recall	Precision	Accuracy	Uniqueness	Comparator(s)
Nathan Bernard et al., 2025 [3]	Umbrella review search (gerontology)	17.6% of classical review's included studies identified	6/241 screened = ~2.5% (inclusion rate proxy)	Not reported	3 unique included studies	Classical umbrella review
Laura Antonia Meliante et al., 2025 [2]	Glaucoma SLR identification (4 reviews)	50%, 6%, 43%, 10% across reviews	Not reported	Not reported	Not reporte	PRISMA-based SLRs, Connected Papers
S. Golder & O. Lau, 2025 [1]	Systematic review search (4 case studies)	Average 37.9% (range 25.5%–69.2%)	Average 39.6% (range 26.7%–46.2%)	Not reported	2, 1, 4, 0 unique eligible studies across cases	Traditional database searches
Przemyslaw Tomczyk et al., 2024 [4]	E-commerce literature search (9 topics)	Not reported	Not reported	56%	80%	Scopus, WoS, SciSpace
J. A. Vega Vermehren, 2025 [13]	STEM education screening (1039 records)	Not reported; 19 false negatives	Not reported; 31 false positives	Cohen's kappa = 0.77	Not reported	Author's manual judgments
Wynn Tranfield & C. Caldwell, 2024 [16]	Multidisciplinary STEM search (10 fields)	Not reported	Not reported	Not reported	~24.8% duplication rate (lowest among tools)	WoS, Google Scholar, Scite, SciSpace, Epsilon
Gilmara de Oliveira Machado et al., 2025 [17]	AHP-Gaussian tool ranking	Not applicable	Not applicable	Not applicable	Not applicable	8 other AI tools; Elicit ranked 4th (score ~0.1121)

Data Extraction Performance

Two studies specifically evaluated Elicit's data extraction capabilities with quantitative metrics.

Table 3. Quantitative evidence on Elicit's data extraction performance, highlighting weaker structured-data extraction but superior qualitative extraction performance.

Study	Task	Accuracy	Missing	Incorrect	Imprecise	Comparator (s)	Statistical Results
Laura Antonia Meliante et al., 2025	Table extraction from glaucoma PDFs	51.40% (SD 31.45%) [2]	22.37% (SD 27.54%) [2]	12.51% (SD 14.70%) [2]	13.69% (SD 17.98%) [2]	ChatPDF (60.33% accurate) [2]	Not reported [2]
S. Spillias et al., 2025	Qualitative extraction from CBFM papers (33 papers, 11 questions)	~74% (derived from confusion matrix) [5]	Near-zero false negatives [5]	~26% false positives [5]	Not reported separately [5]	GPT4x1, GPT4x3, human extractors [5]	Quality significantly above threshold (t=6.91, p<0.001); significantly better than both GPT4 implementations (p<0.001) [5]

Meliante et al. (2025) found Elicit's extraction accuracy averaged 51.40% across glaucoma systematic reviews, with substantial standard deviation (31.45%), indicating high variability [2]. ChatPDF outperformed Elicit in accuracy (60.33% vs. 51.40%) and had fewer missing entries (17.56% vs. 22.37%), though Elicit produced slightly fewer incorrect values (12.51% vs. 14.70%) [2]. Elicit was noted to generate tables faster than ChatPDF [2].

Spillias et al. (2025) presented a more favorable picture in qualitative extraction, where Elicit returned responses for over 99% of paper–question pairs with near-zero false negatives [5]. Elicit achieved the highest quality ratings among all tested tools, significantly outperforming both GPT-4 implementations ($p<0.001$) [5]. However, Elicit exhibited a high false-positive rate of approximately 27%, and its responses were notably verbose (mean 306 words vs. 85 words for human extractors) [5]. The Cohen's kappa for presence/absence agreement with humans was below zero, reflecting Elicit's tendency to provide answers even when no relevant data existed in the source [5].

Repeatability

Bernard et al. (2025) conducted the only formal repeatability assessment, running identical searches three times and obtaining 246, 169, and 172 results respectively [3]. This variability across trials—with the first trial yielding 45% more results than the second—highlights concerns about reproducibility [3]. Golder and Lau (2025) noted that Elicit's frequent updates mean the same query at different times can yield different results [1], and Tomczyk et al. (2024) similarly cautioned that re-running AI engines can produce different outputs [4].

User Adoption and Perceptions

Several studies reported on user awareness and adoption metrics. Iorshe et al. (2025) found Elicit had the highest awareness level among AI tools surveyed at a Nigerian polytechnic (mean 3.19 on a 4-point scale) [6], with both staff and students actively using it for research writing [6]. In a Turkish Republic of Northern Cyprus survey, 64.7% of 150 academics actively used AI tools, with literature review (46%) and academic writing (56%) as top use areas, and participants believed AI tools increased productivity (M=4.21) [10]. Pudjiarti and Dwi P (2024) reported a 43.76% average score increase in digital literacy among Indonesian lecturers following a workshop that included Elicit training [9]. Batubara (2023) reported qualitative improvements in students' structure, argumentation, citation practices, and writing style after Elicit training [8].

Wostenholme et al. (2024), in a small qualitative study of 6 students, found mixed perceptions: some appreciated Elicit's speed and reliability compared to ChatGPT [7], while others criticized the lack of quality assurance and inadequate article summaries [7]. Concerns about potential over-reliance on AI tools and ethical implications were raised [7].

Thematic Analysis

Elicit as a Complementary Search Tool

A dominant theme across the empirical studies is Elicit's positioning as a complementary rather than replacement tool for traditional literature searching. Golder and Lau (2025) explicitly concluded that Elicit's sensitivity (average 37.9%) is insufficient for standalone systematic review searching but that its high precision makes it valuable for preliminary and scoping searches [1]. Bernard et al. (2025) reached a similar conclusion, finding that Elicit-only results would yield less precise and less nuanced conclusions compared to a traditional umbrella review [3]. Tomczyk et al. (2024) recommended that researchers "primarily use conventional services" while adding Elicit to expand coverage through its unique findings [4]. Tranfield and Caldwell (2024) advised against relying on any single tool due to low overlap between sources [16].

The complementary value is most apparent in Elicit's ability to surface unique studies. Golder and Lau (2025) found that Elicit identified eligible studies not indexed in MEDLINE or Embase in three of four case studies, including four RCTs in the vasodilators review [1]. This capacity to reach beyond traditional biomedical databases through Semantic Scholar's broader coverage (~126 million articles) represents a distinctive strength [1]. However, this same reliance on Semantic Scholar creates disciplinary coverage gaps, particularly in fields with low open-access availability [16].

Data Extraction and Quality Assessment

The evidence on Elicit's data extraction capabilities presents a nuanced picture. Spillias et al. (2025) found Elicit to be the highest-quality extractor among tested tools, with near-zero false negatives and quality significantly above the acceptable threshold [5]. Its built-in provision of "Supporting" and "Reasoning" passages facilitated rapid verification [5]. Vega Vermehren (2025) successfully used Elicit for structured data extraction across 170 papers, reporting Cohen's kappa of 0.77 between Elicit's screening decisions and human judgments [13], and noting that Elicit expedited screening and coding while mitigating selection bias [13].

Conversely, Meliante et al. (2025) found that only about half of extracted data fields were accurate (51.40%), with performance degrading when key data appeared in tables, graphs, or figures rather than running text [2]. Bond et al. (2024) described Elicit's suggested sources as frequently "unsuitable," prompting the development of a manual fact-checking protocol [12]. These divergent findings likely reflect differences in task complexity, domain specificity, and the nature of data sought (qualitative contextual information vs. precise numerical values from structured tables).

Workflow Integration and Hybrid Approaches

Multiple studies described or advocated for hybrid workflows combining Elicit with other tools and human oversight. Santana et al. (2024) documented a three-phase pipeline using Elicit for initial search, ChatPDF for document analysis, and ChatGPT for synthesis, with human critical evaluation throughout [15]. Vega Vermehren (2025) combined Elicit with manual ERIC retrieval, ChatGPT-4o for categorization, and Notion for organization [13]. Bond et al. (2024) paired Elicit with ChatGPT, using the former to locate references supporting the latter's outputs [12].

Moran et al. (2025) classified Elicit as a specific-purpose exploratory reading tool within a broader taxonomy of AI writing assistants, best suited for discovery and synthesis rather than communication-stage tasks [18]. This classification aligns with the empirical evidence: Elicit appears most effective at the front end of the research process (search, scoping, initial extraction) and least reliable for tasks requiring high precision or exhaustive coverage.

Transparency, Reproducibility, and Ethical Concerns

Transparency and reproducibility emerged as cross-cutting concerns. Bernard et al. (2025) demonstrated variable results across repeated identical searches [3]. Golder and Lau (2025) noted that frequent updates to Elicit mean "two different answers from two different versions" [1]. Spillias et al. (2025) flagged that as a proprietary tool, Elicit's non-deterministic outputs

limit replicability [5]. Tranfield and Caldwell (2024) characterized machine learning tools broadly as "vague about their retrieval and ingestion of scientific articles" [16].

Ethical concerns centered on over-reliance, academic integrity, and institutional guidance. Khan and Suhluli (2025) found that high immersion in GenAI tools—including Elicit—unexpectedly intensified the negative impact of cognitive strain on research quality, suggesting that over-reliance can amplify mental burden [11]. Wostenholme et al. (2024) reported student concerns about AI use being "unfair" and flagged the potential for academic misconduct [7]. The survey in Northern Cyprus identified lack of technical knowledge (51.3%), ethical concerns (42%), and insufficient institutional guidance (38.7%) as primary obstacles to effective AI tool use [10].

Synthesis

The studies reviewed present an apparent tension: Elicit is widely adopted and qualitatively appreciated, yet quantitative evaluations consistently reveal substantial performance limitations. This heterogeneity can be explained through several mechanisms.

First, performance varies systematically by task type. Elicit performs markedly better on qualitative extraction tasks, where Spillias et al. (2025) found it significantly outperformed GPT-4 implementations ($p<0.001$) [5], than on precise quantitative extraction, where Meliante et al. (2025) reported only 51.40% accuracy [2]. This distinction likely reflects the difference between tasks requiring semantic comprehension (where LLMs excel) and tasks requiring precise parsing of structured data in tables and figures (where current models struggle) [2]. Similarly, Elicit's search sensitivity was the highest (69.2%) in the vasodilators case study—a relatively well-defined pharmacological topic—and lowest (25.5%) in the community physical activity review, which involved more complex and ambiguous inclusion criteria [1]. This pattern suggests that Elicit performs better when research questions map cleanly onto retrievable terms and established literature networks, and less well when criteria are multifaceted or interdisciplinary [1].

Second, Elicit's strength in uniqueness (80% unique results in Tomczyk et al.) [4] coexists with lower accuracy (56%) [4] because it draws from Semantic Scholar rather than curated databases like Scopus or Web of Science. This architectural choice widens the net—enabling discovery of studies not indexed in traditional biomedical databases [1] —at the cost of including less precisely targeted or lower-quality results [4]. Tranfield and Caldwell (2024) confirmed this pattern, noting Elicit's reliance on open access and preprint sources creates uneven disciplinary coverage [16].

Third, the divergence between positive user perceptions (high awareness, productivity gains, favorable comparisons to ChatGPT) [6, 7, 10] and modest quantitative benchmarks likely reflects that users value different properties than those captured by sensitivity and precision metrics. The speed of initial scoping, the ability to generate structured overviews, and the provision of reasoning alongside results [1, 5] deliver practical value that does not require exhaustive retrieval. Workshop-based studies reporting substantial improvements in student writing and digital literacy [8, 9] measure outcomes shaped by the learning experience and tool scaffolding rather than Elicit's intrinsic retrieval accuracy.

The evidence converges on a specific conclusion: Elicit is a viable and valuable adjunct for research workflows—particularly for scoping searches, identifying unique literature outside traditional indexes, initial qualitative extraction, and educational contexts—but it cannot replace traditional systematic review methodology where high sensitivity is required. This conclusion holds across all empirical evaluations, from the most rigorous four-case-study design [1] to workflow case studies [3, 13] and extraction benchmarks [5]. Every study that issued a recommendation endorsed human oversight as non-negotiable [1–5, 12, 13], and several specifically warned against over-reliance [7, 11].

Methodological limitations across the included literature should be noted. Most evaluation studies used small numbers of case studies or queries (four case studies in Golder and Lau; four SLRs in Meliante et al.; nine queries in Tomczyk et al.; 33 papers in Spillias et al.), limiting generalizability. Only one study assessed repeatability formally [3], and no study reported confidence intervals around sensitivity or precision estimates [1, 4]. Several studies relied on a single reviewer [3, 13], and inter-rater reliability for relevance judgments was rarely reported. The rapid pace of Elicit's development means that performance measured at one time point may not reflect current capabilities [1, 5], though this also means positive findings may not persist across versions.

CONCLUSION

This review of 18 studies indicates that Elicit is a valuable AI-assisted research tool for literature discovery, screening, and qualitative evidence extraction, but it is not a substitute for conventional systematic review methods. Quantitative evaluations reported moderate retrieval performance, with an average sensitivity of 37.9% and precision of 39.6%, while recall ranged from 6% to 69.2% across different review settings. Elicit's major strength lies in identifying unique literature, achieving up to 80% non-overlapping results compared with traditional databases.

Evidence on data extraction performance was mixed. Elicit achieved approximately 74% accuracy in qualitative extraction tasks and significantly outperformed GPT-4–based comparators, yet structured quantitative extraction accuracy averaged only 51.4%, remaining below that of ChatPDF (60.3%). Reproducibility also remains a concern, with identical searches producing substantially different result counts across repeated trials.

Overall, the current evidence supports the use of Elicit as a complementary tool for scoping searches, preliminary screening, and qualitative evidence synthesis. However, due to limitations in recall, extraction accuracy, and reproducibility, human oversight remains essential for rigorous evidence synthesis and systematic review workflows. Future research should focus on standardized benchmarking, cross-disciplinary evaluations, and long-term assessments of performance stability.

REFERENCES

[1] S. Golder and O. Lau, “Comparison of Elicit AI and Traditional Literature Searching in Systematic Reviews Using Four Case Studies,” medRxiv, 2025, doi: 10.1101/2025.06.17.25329772.
[2] L. A. Meliante, G. Coco, A. Rabiolo, et al., “Evaluation of AI Tools Versus the PRISMA Method for Literature Search, Data Extraction, and Study Composition in Glaucoma Systematic Reviews: Content Analysis,” JMIR AI, 2025, doi: 10.2196/68592.
[3] N. Bernard, Y. S. Jr, N. Bier, et al., “Using Artificial Intelligence for Systematic Review: The Example of Elicit,” BMC Med. Res. Methodol., vol. 25, 2025, doi: 10.1186/s12874-025-02528-y.
[4] P. Tomczyk, P. Brüggemann, N. Mergner, and M. Petrescu, “Are AI Tools Better Than Traditional Tools in Literature Searching? Evidence From E-Commerce Research,” J. Libr. Inf. Sci., 2024, doi: 10.1177/09610006241295802.
[5] S. Spillias, K. Ollerhead, M. Andreotta, et al., “Evaluating Generative AI for Qualitative Data Extraction in Community-Based Fisheries Management Literature,” Environ. Evid., vol. 14, 2025, doi: 10.1186/s13750-025-00362-9.
[6] T. S. Iorshe, A. S. Oche, T. S. Akuma, and M. Kerekaa, “Awareness and Use of Artificial Intelligence Tools by Academic Staff and Students at Gboko Polytechnic, Benue State,” Libr. Inf. Sci. Dig., 2025, doi: 10.70118/lisd0202501901.3.
[7] C. Wostenholme, F. Wardale, J. Lebihan, and H. J. Parkin, “Student Experiences of Using Elicit for Literature Reviews,” 2024, doi: 10.7190/steer/elicit.
[8] M. H. Batubara, “Pelatihan Aplikasi Elicit untuk Meningkatkan Kemampuan Mahasiswa dalam Menulis Literature Review Karya Ilmiah,” JPMA J. Pengabdian Masy. As-Salam, vol. 3, no. 2, 2023, doi: 10.37249/jpma.v3i2.683.
[9] E. S. Pudjiarti and H. R. D. P., “Workshop Penggunaan Software Kecerdasan Buatan untuk Mempercepat Proses Penulisan Karya Ilmiah yang Berkualitas bagi Akademisi,” Perigel J. Penyuluhan Masy. Indones., vol. 2, no. 4, 2024, doi: 10.56444/perigel.v2i4.1357.
[10] “A New Threshold in Academic Transformation: An In-Depth Examination of the Role of Artificial Intelligence-Based Tools in Higher Education,” Eur. Arch. Soc. Sci., vol. 25, no. 2, 2025, doi: 10.35365/eass.25.02.02.
[11] S. M. F. A. Khan and S. Suhluli, “Generative AI and Cognitive Challenges in Research: Balancing Cognitive Load, Fatigue, and Human Resilience,” Technologies, vol. 13, no. 11, 2025, doi: 10.3390/technologies13110486.
[12] A. Bond, D. Cilliers, F. Retief, et al., “Using an Artificial Intelligence Chatbot to Critically Review the Scientific Literature on the Use of Artificial Intelligence in Environmental Impact Assessment,” Impact Assess. Proj. Apprais., 2024, doi: 10.1080/14615517.2024.2320591.

[13] J. A. Vega Vermehren, “How STEM Students Think: An AI-Powered Systematic Review of Thinking Skills in STEM Higher Education,” Discov. Educ., 2025, doi: 10.1007/s44217-025-00936-2.
[14] L. B. Liekum, “Harnessing Artificial Intelligence in Teaching Ghanaian Colleges of Education in the 21st Century: Enhancing Quality Teaching, Student Research, and Learning Abilities,” Am. J. Multidiscip. Res. Innov., vol. 4, no. 3, 2025, doi: 10.54536/ajmri.v4i3.4457.
[15] I. M. Santana, F. N. de Souza, and H. Viana, “Ferramentas de Inteligência Artificial na Revisão de Literatura: Um Estudo com Base no Tema das Falácias Lógicas,” Rev. Tempos e Espaços em Educação, vol. 17, no. 36, 2024, doi: 10.20952/revtee.v17i36.22252.
[16] W. Tranfield and C. Caldwell, “Navigating Machine-Driven Research Landscapes: A Comparative Approach,” in Companion Proc. ACM Conf. Comput.-Supported Cooperative Work Social Comput. (CSCW Companion), 2024, doi: 10.1145/3678884.3681842.
[17] G. de O. Machado, H. F. Souza, P. Cabral, et al., “Ranqueamento de Ferramentas de Inteligência Artificial para Auxiliar na Escrita de Artigos Científicos a Partir do Método AHP Gaussiano,” Aracê, vol. 7, no. 1, 2025, doi: 10.56238/arev7n1-063.
[18] L. Morán, G. Alvarez, and H. Difabio, “Comparative Analysis of Artificial Intelligence Technologies Based on Scope for the Production of Research Texts,” Praxis Educativa, 2025, doi: 10.19137/praxiseducativa-2025-290205.

SEZYUM BAZLI PEROVSKİT YAPILAR: SENTEZ YÖNTEMLERİ, OPTOELEKTRONİK ÖZELLİKLER VE UYGULAMALARI

Mehmet KANUR
Adıyaman Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Fizik Bölümü, 02040, Adıyaman
Serkan GÜLDAL
Adıyaman Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, 02040, Adıyaman
ORCID: 0000-0002-4247-0786

ÖZET

Bu çalışma, yoğunluk fonksiyonel teorisi (Density Functional Theory - DFT) kullanımıyla A elementi Cs olan ABX_3 perovskit kristallerinin atomik düzenlerini, elektronik özelliklerini ve elektron enerji seviyelerini detaylı bir şekilde incelemeyi amaçlamaktadır. Literatür taraması "DFT", "Perovskite" ve "A elementi Cs olan ABX_3 perovskit kristalleri" anahtar kelimeleri kullanılarak gerçekleştirilmiş; Google Scholar, Elicit, DergiPark ve ULAKBİM gibi bilimsel bilgi kaynaklarından yararlanılmıştır. DFT kullanılarak perovskit kristallerinin yapısal, elektronik bant yapısı ve optik özelliklerini inceleyen çalışmalar derlenmiş, bu yöntemin kristallerin atomik ve elektronik yapılarını anlamada güçlü bir araç olduğu görülmüştür. Ayrıca perovskit malzemelerinin özellikle fotovoltaik hücreler ve sensörler gibi çeşitli teknolojik uygulamalarda büyük potansiyele sahip olduğu belirlenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda yayımlanmış makalelerin özetleri değerlendirilmiş ve bu makalelerde incelenen Cs-tabanlı perovskitlerin ortak özellikleri, farklılıkları, kullanım alanları, verimlilikleri ile avantaj ve dezavantajları analiz edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi (DFT), Güneş Pilleri, Perovskit Kristalleri, Elektronik Bant Yapısı, Fotovoltaik Hücreler, Optik Özellikler

CESİUM-BASED PEROVSKİTE STRUCTURES: SYNTHESİS METHODS, OPTOELECTRONİC PROPERTİES, AND APPLİCATİONS

ABSTRACT

This study aims to examine in detail the atomic arrangements, electronic properties, and electron energy levels of ABX_3 perovskite crystals whose primary element is Cs using density functional theory (DFT). The literature review was conducted using the keywords "DFT," "Perovskite," and "Cs-based ABX_3 perovskite crystals," and scientific databases such as Google Scholar, Elicit, DergiPark and ULAKBİM were utilized. Studies investigating structural, electronic band structure and optical properties using DFT were compiled, and DFT has been shown to be a powerful tool for understanding atomic and electronic structures. It has also been demonstrated that perovskite materials have great potential in various technological applications, particularly photovoltaic cells and sensors. Based on the obtained data, published

studies were evaluated and Cs-based perovskites were analyzed in terms of their common properties, differences, application areas, efficiencies, advantages and disadvantages.

Keywords: DFT, Solar Cells, Perovskite Crystals, Electronic Band Structure, Photovoltaic Cells, Optical Properties

GİRİŞ

Günümüzde enerji üretimi ve elektronik teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, yeni nesil malzemelere olan ihtiyacı artırmıştır. Bu doğrultuda, genel formülü ABX_3 ile ifade edilen perovskit yapılı kristaller, bileşenlerindeki elementlerin türüne bağlı olarak çok çeşitli fiziksel ve kimyasal özellikler sergileyebilmektedir [1-3]. Son yıllarda A elementi sezyum (Cs) olan inorganik perovskitler, yüksek kararlılıkları ve optoelektronik performansları sayesinde önemli bir araştırma konusu olarak öne çıkmaktadır [4].

Perovskit, kristal yapısı ABX_3 formunda olan ve oksit mineralleri sınıfına dahil edilen bir malzemedir [4]. Genellikle kübik kristal yapısı gösteren perovskitlerin en yaygın örneği, kalsiyum titanattır ($CaTiO_3$). Bu mineraller, kimyasal ve yapısal çeşitliliğe olanak tanıyan esnek yapıları sayesinde mühendislik açısından önemli uygulama alanlarına sahiptir.

Perovskit minerali ilk kez 1839 yılında Gustav Rose tarafından Rusya'nın Ural Dağları'nda keşfedilmiş, ismini ise Rus mineralog Lev Perovski'den almıştır. Kristal yapısı üzerine ilk bilimsel tanımlama, 1926'da Victor Goldschmidt tarafından yapılan **tolerans faktörü** çalışmalarıyla gerçekleştirilmiştir. 1945 yılında Helen Dick Megaw'ın baryum titanat ($BaTiO_3$) üzerine yaptığı X-ışını kırınımı çalışmasıyla da kristal yapı net biçimde ortaya konmuştur. Fiziksel olarak perovskitler, metalik parlaklıkta olup kırılgan bir yapıya sahiptir; siyah, kahverengi, gri, turuncu ve sarı tonlarında bulunabilirler ve genellikle kübik benzeri yapılar sergilerler [5].

Cs-tabanlı ABX_3 perovskit kristalleri; A konumunda Cs, B konumunda genellikle Pb, Sn veya Ge ve X konumunda I, Br veya Cl elementlerini içeren yapılardır ve bu kristaller güneş pilleri, LED'ler, fotodedektörler ve sensörler gibi geniş bir uygulama alanına sahiptir. Literatür incelemeleri, bu malzemelerin yapısal, optik ve elektronik özelliklerinin yanı sıra kullanım alanları, performansları ve karşılaşılan sorunlarının da detaylı biçimde ele alındığını göstermektedir.

Bu kapsamda yapılan çalışmalar, Cs-tabanlı perovskitlerin dielektrik sabiti, kırılma indisi, elastik modülleri ve soğurma katsayıları gibi fiziksel özelliklerinin detaylı biçimde analiz edildiğini ortaya koymaktadır [6]. Elde edilen sonuçlar, bu malzemelerin yüksek sıcaklık kararlılığı, nem dayanımı ve uzun ömürlü performans bakımından organik-inorganik perovskitlere göre üstün olduğunu göstermektedir [6]. Bununla birlikte yüksek sıcaklıkta

sentez gereksinimi, faz geçişleri ve iyonik kusurlar gibi sınırlayıcı faktörler de bulunmaktadır [6].

Yoğunluk fonksiyonel teorisi (DFT), çok elektronlu sistemlerin anlaşılması ve modellenmesi için geliştirilen güçlü bir kuantum mekanik yöntem olup, kristallerin atomik ve elektronik yapılarını analiz etmede yaygın olarak kullanılmaktadır [4]. Bu yöntem sayesinde bant yapısı, optik özellikler ve enerji seviyeleri gibi birçok temel parametre hesaplanabilmektedir.

Yoğunluk Fonksiyonel Teorisi (DFT), çok elektronlu sistemleri anlamak ve modellemek amacıyla geliştirilmiş güçlü bir kuantum mekanik yöntemdir [4].

DFT, fizik, kimya ve malzeme bilimi gibi çeşitli disiplinlerde; atomların ve kristallerin elektronik yapılarını anlamak için yaygın olarak kullanılmaktadır. Kimyasal reaksiyon enerjileri, optik ve manyetik özellikler, karmaşık biyomoleküllerin analizi gibi alanlarda oldukça etkilidir. Katı hal fiziği ve hesaplamalı kimya alanlarında DFT, standart bir araç haline gelmiştir [2].

Ancak DFT'nin bazı sınırlamaları da mevcuttur. Vander Walls kuvvetleri, yük transferi, bant aralığı tahminleri ve güçlü korelasyonlu sistemler konusunda yetersiz kalabilmektedir. Bu nedenle, son yıllarda bu eksiklikleri gidermek amacıyla yeni değişim-korelasyon fonksiyonelleri ve düzeltme yöntemleri geliştirilmektedir. Tipik bir DFT hesaplamasında başlangıçta bir elektron yoğunluğu tahmin edilir, ardından Kohn-Sham denklemleri çözülerek yeni bir yoğunluk elde edilir. Bu süreç, enerji minimize edilene kadar tekrarlanır [2].

MATERYAL VE METOD

Bu çalışmada, A elementi Cs olan ABX_3 tipi perovskit kristalleri üzerine yapılmış akademik çalışmalar literatür taraması yöntemiyle incelenmiştir. Tarama sürecinde Google Scholar, Elicit, DergiPark ve ULAKBİM gibi bilimsel veri tabanları kullanılmıştır. Elde edilen çalışmaların özetleri değerlendirilerek bu kristallerin yapısal, optik ve elektronik özellikleri karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Literatürde yer alan teorik ve deneysel çalışmalar doğrultusunda, bu malzemelerin dielektrik sabitleri, kırılma indisleri, elastik modülleri ve soğurma katsayıları gibi fiziksel özellikleri de dikkate alınmıştır [4]. Bu değerlendirmeler sonucunda Cs-tabanlı perovskitlerin yüksek sıcaklık dayanımı ve çevresel kararlılık açısından avantajlı olduğu, ancak sentez süreçleri ve yapısal kararsızlıklar açısından bazı dezavantajlar içerdiği belirlenmiştir.Cs-tabanlı perovskitlerin ortak özellikleri, farklılıkları, kullanım alanları, verimlilikleri ile avantaj ve dezavantajları karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir.

Ayrıca, üniversitelerde yürütülen teorik ve deneysel çalışmalar Cs-tabanlı perovskitlerin dielektrik sabitleri, kırılma indisleri, esneklik modülleri ve soğurma katsayıları gibi fiziksel özelliklerine de değinilmiştir [6]. Bu araştırmalar, Cs içeren perovskitlerin yüksek sıcaklık kararlılığı, nem dayanımı ve uzun ömürlü performans bakımından organik-inorganik perovskitlerden üstün olduğunu ortaya koymaktadır [6, 7].

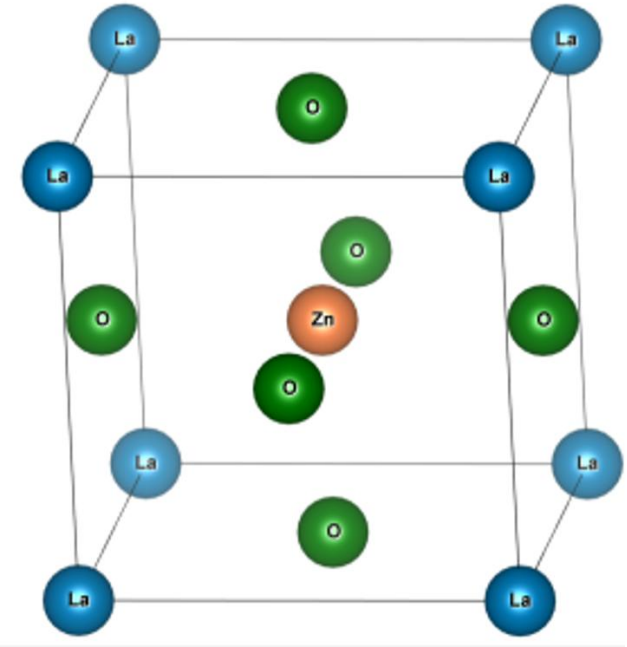
Bununla birlikte, literatürde bazı sınırlayıcı faktörler de görülmüştür. Cs tabanlı perovskitlerin sentez süreci genellikle yüksek sıcaklık gerektirdiğinden üretim maliyetleri artmaktadır ayrıca bazı bileşiklerde gözlenen faz geçişleri (örneğin ortorombik–kübik dönüşüm) ve iyonik kusurlar, cihaz kararlılığını olumsuz etkileyebilmektedir [6, 7].

Araştırılan Cs-tabanlı perovskit kristallerin, yoğunluk fonksiyonel teorisi (DFT) ile kapsamlı olarak incelendiği görülmüştür. Hesaplamalarda özellikle FP-LAPW (Full Potential Linearized Augmented Plane Wave), GGA (Generalized Gradient Approximation), LDA (Local Density Approximation) ve mBJ (modified Becke–Johnson) yöntemleri kullanıldığı; optik, mekanik ve termal özelliklerin analizi için kırılma indisi, absorpsiyon spektrumu, elastik sabitler, Debye sıcaklığı ve özgül ısı gibi parametreleri hesaplandığı ortaya çıkmıştır. Ayrıca SOC (Spin-Orbit Coupling) etkileri de değerlendirilerek malzemelerin gerçekçi fiziksel davranışlarının ortaya konulmasının sağlandığı ve bu yöntemlerin, Cs-tabanlı perovskitlerin farklı uygulamalardaki performansını anlamak için güvenilir olduğu anlaşılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Cs-tabanlı perovskit kristallerin yoğunluk fonksiyonel teorisi (DFT) ile kapsamlı olarak incelendiği görülmüştür. Bu incelemelerde FP-LAPW, GGA, LDA ve mBJ yöntemleri kullanılarak elektronik bant yapısı, optik özellikler ve mekanik parametreler hesaplanmış, ayrıca spin-yörünge etkileşimi (SOC) dikkate alınarak daha gerçekçi sonuçlar elde edilmiştir. Bu kristaller genellikle kübik, tetragonal veya ortorombik fazlarda kararlılık göstermekte ve geniş bir elektronik özellik yelpazesi sunmaktadır. Bu faz çeşitliliği, malzemenin dış koşullara verdiği tepkileri doğrudan etkileyerek uygulama alanına göre avantaj veya dezavantaj oluşturabilmektedir [4].

İncelediğimiz Cs tabanlı perovskitlerden bazıları kübik, tetragonal ve ortorombik şekillidir. Şekil 1'de de görüldüğü üzere $LaZnO_3$ perovskit örneği verilmiştir.



Şekil 1 $LaZnO_3$ perovskit [8].

Kübik Sistem

Kübik kristal sisteminde birim hücrenin tüm kenar uzunlukları eşittir ve birbirlerine diktir:

- a = b = c
- α = β = γ = 90°

Bu özellikler, kübik sistemi en yüksek simetriye sahip kristal sistemlerden biri yapar. Kübik sistemde üç farklı Bravais kafesi bulunur:

- Basit (ilkel) kübik (P)
- Yüz merkezli kübik (F)
- Gövde merkezli kübik (I)

Bu sistem; gümüş, altın, elmas ve granat gibi birçok önemli malzemede görülür.

Basit Kübik:

Atomlar yalnızca küpün köşelerinde bulunur. Paketleme yoğunluğu düşük olduğu için doğada nadir görülür. Bu yapıya sahip en bilinen element polonyumdur.

Yüz Merkezli Kübik (FCC):

Atomlar küpün köşelerinde ve her yüzün merkezinde yer alır. Yüksek paketleme yoğunluğu sayesinde oldukça yaygındır. Nikel ve bakır bu yapının tipik örnekleridir.

Gövde Merkezli Kübik (BCC):

Atomlar köşelerde ve küpün merkezinde bulunur. Bu yapı da yaygın olup demir ve tungsten gibi elementlerde görülür [9].

Tetragonal Sistem

Tetragonal sistemde birim hücrenin iki kenarı eşit, üçüncü kenarı farklıdır. Tüm açılar diktir:

- a = b ≠ c
- α = β = γ = 90°

Bu sistemde iki tür Bravais Kafesi bulunur:

- Basit tetragonal
- Gövde merkezli tetragonal

Tetragonal kristal sistemine örnek olarak:

- Basit tetragonal: kalay oksit (SnO_2)
- Gövde merkezli tetragonal: titanyum dioksit (TiO_2) [9].

Ortorombik Sistem

Ortorombik kristal sisteminde tüm kenar uzunlukları birbirinden farklıdır, ancak açılar 90°'dir:

- $a \neq b \neq c$
- $\alpha = \beta = \gamma = 90°$

Bu sistemde dört farklı Bravais Kafesi vardır:

- Basit
- Taban merkezli
- Yüz merkezli
- Gövde merkezli

Ortorombik yapıya sahip maddelere K_2SO_4 ve $SnSO_4$ örnek verilebilir. Ayrıca galyum, fosfor ve brom elementleri de bu kristal yapıya sahiptir.

Bu sistemde özellikle mineraller yaygındır. Örneğin:

- Epsomit
- Markazit
- Aragonit
- Olivin

Genel olarak ortorombik kristaller, monoklinik ve triklinik sistemlere göre daha kararlı; ancak kübik sistem kadar kararlı değildir [9].

Yenilenebilir enerji teknolojileri arasında güneş pilleri oldukça önemli bir yere sahiptir [10]. Güneş pillerinin verimliliği, ne kadar ışık soğurdukları ve bu ışığın ne kadarını elektrik enerjisine dönüştürebildikleri ile belirlenir. Örneğin, galyum arsenür gibi yüksek verimli malzemelerle %40'a kadar verim elde edilebilse de bu yöntem yüksek maliyeti nedeniyle yalnızca uzay teknolojilerinde kullanılmaktadır. Silisyum bazlı güneş pilleri ise %20 verimlilikle yaygın olarak kullanılmakta, fakat üretim maliyetleri nedeniyle daha geniş kitlelere ulaşamamaktadır. Buna karşılık perovskit güneş pilleri, benzer verimlilik seviyelerine ulaşabilmekte ve üretim maliyetleri daha düşük olduğu için cazip bir alternatif oluşturmaktadır [10].

Kurşunsuz ve çevreci alternatifler ($CsSnBr_3$, $CsGeI_3$ gibi) fotovoltaik sistemlerde öncelik kazanırken, yüksek band boşluklu bileşikler (örneğin $CsBaF_3$) UV-optik sistemlerde öne çıkmaktadır. Bu çeşitlilik, araştırmacıların ve mühendislerin farklı cihaz tiplerine göre özelleştirilmiş malzeme seçimleri yapmalarına olanak tanır.

Cs-perovskitler, enerji dönüşüm sistemlerinden, yüksek frekanslı optik cihazlara, manyetik bilgi teknolojisinden piezoelektrik sensörlere kadar birçok teknolojik platform için stratejik malzeme adayları olduğu görülmüştür.

Ortak özellikleri bakımından Cs-tabanlı perovskitler, genel olarak ABX_3 tipi kristal yapısına sahiptir ve kübik, tetragonal veya ortorombik fazlarda kararlılık gösterir. Bu kristaller, geniş bir elektronik ve optik özellik yelpazesine sahiptir. Yarı iletken özellikler çoğunluktadır; bazı bileşikler doğrudan, bazıları dolaylı bant aralığına sahiptir. Optik açıdan, kırılma indisi, absorpsiyon ve yansıtıcılık parametreleri UV, görünür ve IR bölgelerde detaylı olarak hesaplanmıştır. Mekanik açıdan çoğu Born kriterlerini karşılar ve Pugh oranına göre sünek veya kırılgan karakterler sergiler. Termal davranış açısından Debye sıcaklığı, özgül ısı ve ısı kapasitesi gibi parametreler hesaplanmış, birçok yapı yüksek sıcaklıklarda kararlılık göstermiştir. Çoğu bileşik optoelektronik cihazlar için adaydır ve kurşunsuz bileşikler çevresel avantaj sunar [11]. Bu bağlamda, sezyum germanyum bromür ($CsGeBr_3$) bileşiği, özellikle optoelektronik uygulamalar açısından umut vadeden bir malzeme olarak ön plana çıkmaktadır. Bu bileşik, kurşun içermemesi, uygun bant aralığına sahip olması ve yüksek doğrusal olmayan optik tepkileri nedeniyle araştırmacıların dikkatini çekmiştir [12, 13].

Elektronik özellikler açısından değerlendirildiğinde, bu malzemelerin çoğunun yarı iletken karakter gösterdiği, bazılarının doğrudan bazılarının ise dolaylı bant aralığına sahip olduğu belirlenmiştir. Özellikle $CsSnBr_3$ ve $CsGeI_3$ gibi bileşikler doğrudan bant aralığı sayesinde yüksek optik absorpsiyon sağlarken, $CsCaCl_3$ gibi bileşikler dolaylı bant aralığı ile UV-optik sistemlerde kullanılmaktadır [4]. Bunun yanı sıra bazı bileşikler yarı metalik özellik göstererek spin ayrımı ve manyetik moment özellikleri sunmakta, bu da spintronik uygulamalar açısından önemli avantajlar sağlamaktadır. Bant aralığının büyüklüğü ve türü, bu malzemelerin hangi dalga boyu aralığında etkin olacağını belirlediğinden, uygulamaya özel malzeme seçimi açısından kritik bir parametre olarak öne çıkmaktadır [10].

Optik özellikler incelendiğinde, Cs-tabanlı perovskitlerin UV, görünür ve IR bölgelerde etkili performans sergilediği görülmektedir. Yüksek absorpsiyon katsayısı değerleri, bu malzemelerin ince film kalınlıklarında dahi etkin ışık soğurma yeteneğine sahip olduğunu göstermektedir [7]. Örneğin $CsPbBr_3$ görünür bölgede yüksek ışık absorpsiyonu ile dikkat çekerken, $CsBaF_3$ yüksek şeffaflık ve düşük yansıtırlık özellikleri ile UV optik uygulamalarda öne çıkmaktadır [3]. Ayrıca yüksek kırılma indisi değerleri, bu malzemelerin optik dalga kılavuzları ve lazer sistemlerinde kullanılabilme potansiyelini artırmaktadır.

Mekanik özellikler açısından değerlendirildiğinde, bu kristallerin bazıları sünek, bazıları ise kırılgan karakter sergilemektedir. Born kararlılık kriterleri ve Pugh oranı gibi parametreler kullanılarak yapılan analizler, bu malzemelerin farklı mekanik davranışlar gösterdiğini ortaya koymaktadır [4]. Sünek malzemeler esnek elektronik uygulamalar için avantaj sağlarken, kırılgan malzemeler belirli optik veya piezoelektrik uygulamalarda tercih edilebilmektedir.

Termal özellikler incelendiğinde, Debye sıcaklığı, ısı kapasitesi ve termal iletkenlik gibi parametrelerin bu malzemelerin yüksek sıcaklık uygulamalarındaki performansını belirlediği görülmektedir. Birçok Cs-tabanlı perovskit yüksek sıcaklıklarda kararlılık gösterse de bazı bileşiklerde gözlenen faz geçişleri uzun süreli kullanımda performans kaybına neden olabilmektedir [4].

Çevresel açıdan değerlendirildiğinde, kurşunsuz Cs-tabanlı perovskitlerin önemli avantajlar sunduğu görülmektedir. $CsSnBr_3$ ve $CsGeI_3$ gibi bileşikler toksisite riskini azaltarak sürdürülebilir optoelektronik uygulamalar için uygun adaylar olarak öne çıkmaktadır [4]. Bununla birlikte Pb içeren bileşiklerde toksisite ve çevresel riskler önemli bir dezavantaj olarak değerlendirilmektedir [10].

Bu çalışmada Cs-tabanlı perovskit kristallerin yapısal, elektronik, optik, mekanik ve termal özellikleri yoğunluk fonksiyonel teorisi (DFT) tabanlı yöntemler kullanılarak değerlendirilmiş ve bu malzemelerin farklı uygulama alanlarındaki potansiyelleri ortaya konmuştur [10]. Elde edilen bulgular, bu kristallerin geniş bir özellik yelpazesine sahip olduğunu ve uygulamaya bağlı olarak özelleştirilebilir yapılar sunduğunu göstermektedir.

Bu malzemelerin kullanım alanları oldukça geniştir. Güneş hücrelerinde yüksek verimlilik sağlayan bileşikler enerji dönüşüm teknolojilerinde ön plana çıkarken, LED uygulamalarında yüksek ışık yayma kapasitesine sahip malzemeler tercih edilmektedir. UV dedektörler, optik kaplamalar ve lazer sistemleri gibi alanlarda da Cs-tabanlı perovskitlerin önemli bir potansiyele sahip olduğu görülmektedir [2]. Bunun yanı sıra spintronik ve piezoelektrik uygulamalarda da özel bileşiklerin kullanımı dikkat çekmektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, Cs-tabanlı perovskitlerin sahip olduğu geniş elektronik, optik ve mekanik özellik çeşitliliği, bu malzemeleri çok yönlü ve esnek bir kullanım alanına sahip hâle getirmektedir. Ancak bu avantajların yanında faz kararsızlığı, kusur oluşumu ve bazı bileşiklerde toksisite gibi dezavantajlar da göz önünde bulundurulmalıdır [4]. Bu malzemelerin performansının artırılması için teorik ve deneysel çalışmaların birlikte yürütülmesi büyük önem taşımaktadır. DFT tabanlı hesaplamalar, bu süreçte malzeme tasarımı ve optimizasyonu açısından güçlü bir araç olarak öne çıkmaktadır [4, 10].

Cs-tabanlı perovskitler sahip oldukları çok yönlü özellikler sayesinde geleceğin malzemeleri arasında önemli bir yer tutmaktadır. Bu alandaki araştırmaların artmasıyla birlikte daha kararlı, çevre dostu ve yüksek verimli perovskit yapıların geliştirilmesi beklenmektedir. Bu da enerji ve optoelektronik teknolojilerinde önemli ilerlemelerin önünü açacağı görülmüştür [10].

SONUÇ

Cs-tabanlı perovskit kristaller, yoğunluk fonksiyonel teorisi (DFT) tabanlı yöntemlerle yapısal, elektronik, optik, mekanik ve termal açıdan kapsamlı biçimde incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, bu malzemelerin geniş ve ayarlanabilir bir özellik yelpazesine sahip olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Özellikle elektronik özellikler bakımından, doğrudan bant aralıklı bileşiklerin yüksek optik soğurma kapasiteleri sayesinde güneş hücreleri ve LED uygulamalarında öne çıktığı; dolaylı bant aralıklı yapıların ise UV-optik sistemlerde avantaj sağladığı görülmüştür. Optik açıdan değerlendirildiğinde, yüksek absorpsiyon katsayısı ve geniş spektral aralıkta etkin ışık etkileşimi, bu malzemeleri optoelektronik uygulamalar için son derece cazip kılmaktadır. Bunun yanı sıra, Cs-tabanlı perovskitlerin yüksek sıcaklık kararlılığı, nem dayanımı ve uzun ömürlü performans sergilemesi, özellikle ince film teknolojilerinde hem verimlilik hem de maliyet açısından önemli avantajlar sunmaktadır.

Mekanik ve termal özellikler incelendiğinde, bu malzemelerin genel olarak iyi bir dayanım gösterdiği, ancak bazı bileşiklerde kırılganlık ve faz geçişleri gibi sınırlamaların olduğu anlaşılmaktadır. Çevresel sürdürülebilirlik açısından ise kurşunsuz alternatifler (örneğin $CsSnBr_3$ ve $CsGeI_3$) dikkat çekmekte, ancak bu yapıların kararlılıklarının artırılması gerekmektedir. Bu noktada katkılama, yüzey pasivasyonu ve hibrit yapı tasarımları, gelecekteki çalışmalar için önemli araştırma yönleri olarak öne çıkmaktadır. Genel bir değerlendirme yapıldığında, Cs-tabanlı perovskitlerin enerji dönüşüm sistemlerinden optoelektronik ve spintronik uygulamalara kadar geniş bir kullanım potansiyeline sahip olduğu görülmektedir. Bu potansiyelin tam anlamıyla değerlendirilebilmesi için teorik ve deneysel çalışmaların birlikte yürütülmesinin önemli olduğu, DFT tabanlı yaklaşımlar malzeme tasarımı ve optimizasyonunda güçlü bir rehber niteliği taşıdığı görülmüştür.

KAYNAKLAR

[1] I. e. g. P. Hohenberg and W. Kohn, " Physical review, vol. 136, no. 3B, p. B864, 1964.
[2] W. Kohn and L. J. Sham, "Self-consistent equations including exchange and correlation effects," *Physical review,* vol. 140, no. 4A, p. A1133, 1965.
[3] J. Zhang, G. Hodes, Z. Jin, and S. Liu, "All-inorganic CsPbX3 perovskite solar cells: progress and prospects," *Angewandte Chemie International Edition,* vol. 58, no. 44, pp. 15596-15618, 2019.

[4] P. Hohenberg and W. Kohn, "Inhomogeneous electron gas," *Physical review,* vol. 136, no. 3B, p. B864, 1964.
[5] M. H. Assadi and D. A. Hanaor, "Theoretical study on copper's energetics and magnetism in TiO2 polymorphs," *Journal of applied physics,* vol. 113, no. 23, 2013.
[6] J. H. Noh, S. H. Im, J. H. Heo, T. N. Mandal, and S. I. Seok, "Chemical management for colorful, efficient, and stable inorganic–organic hybrid nanostructured solar cells," *Nano letters,* vol. 13, no. 4, pp. 1764-1769, 2013.
[7] G. E. Eperon *et al.*, "Perovskite-perovskite tandem photovoltaics with optimized band gaps," *Science,* vol. 354, no. 6314, pp. 861-865, 2016.
[8] A. M. Sarpkaya and N. Arıkan, "Kübik perovskit LaZnO3 bileşiğinin yapısal, elektronik, elastik ve termodinamik özelliklerini araştırmak için ab initio hesaplamaları," *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Dergisi,* vol. 4, no. 2, pp. 113-124, 2022.
[9] W. D. Callister Jr and D. G. Rethwisch, *Materials science and engineering: an introduction*. John wiley & sons, 2020.
[10] A. Kojima, K. Teshima, Y. Shirai, and T. Miyasaka, "Organometal halide perovskites as visible-light sensitizers for photovoltaic cells," *Journal of the american chemical society,* vol. 131, no. 17, pp. 6050-6051, 2009.
[11] P. Blaha, K. Schwarz, G. Madsen, D. Kuasnicke, and J. Luitz, "Introduction to WIEN2K," *An Augmented plane wane plus local orbitals program for calculating crystal properties (Vienna university of technology, Vienna, Austria, 2001),* 2001.
[12] L. L. Boyer, "Parameter-free equation-of-state calculations for CsCaF3," *Journal of Physics C: Solid State Physics,* vol. 17, pp. 1825-1832, 1984.
[13] L. C. Tang, J. Y. Huang, C. Chang, M. H. Lee, and L. Q. Liu, "New infrared nonlinear optical crystal CsGeBr3: synthesis, structure and powder second-harmonic generation properties," *Journal of Physics: Condensed Matter,* vol. 17, pp. 7275 - 7286, 2005.

SURFACE TOPOGRAPHY AND WEAR-SCAR PROFILOMETRIC CHARACTERIZATION OF 3D-PRINTED PLA+ AND PETG SPECIMENS AT VARYING INFILL RATIOS

Kerim ANİK
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey
ORCID: 0009-0009-0396-6525
Güven SAYMAN
Kocaeli University, Faculty of Aeronautics and Astronautics, Department of Airframe & Powerplant Maintenance, Kocaeli, Turkey
ORCID: 0009-0001-8433-4985
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

ABSTRACT

In this study, the surface topography and wear-scar geometry of 3D-printed PLA+ (gray) and PETG (black) polymer specimens were characterized by non-contact optical profilometry. The specimens were fabricated by the Fused Deposition Modeling process on an Anycubic Kobra S1 Combo 3D printer at four infill densities, namely 40, 60, 80, and 100%. The worn surfaces, which had been subjected to a reciprocating ball-on-flat sliding contact, were analyzed using a Nanovea PS-50 non-contact profilometer. Three-dimensional areal height parameters were evaluated in accordance with ISO 25178, and two-dimensional roughness-profile parameters were evaluated in accordance with ISO 4287. The maximum cross-sectional depth and the worn cross-sectional area of the wear scar were also quantified for each configuration under narrow (0.4 mm) and wide (0.6 mm) aperture conditions. The profilometric measurements revealed a pronounced contrast between the two polymers: PLA+ specimens exhibited deep, well-defined wear scars with an average maximum depth of approximately 49 µm, whereas PETG specimens exhibited shallow wear scars with an average maximum depth of approximately 12 µm. The worn cross-sectional area of PLA+ exceeded that of PETG by roughly a factor of six. The areal skewness and kurtosis parameters further distinguished the

two damage modes, with PETG surfaces displaying strongly negative skewness associated with discrete pit formation and PLA+ surfaces displaying near-symmetric height distributions associated with uniform abrasive removal. The findings are discussed with reference to the suitability of biodegradable 3D-printed polymers for aircraft cabin interior parts, particularly the service trays of the passenger seat-back area, where surface integrity and scratch resistance are of prime importance.

Keywords: Non-contact profilometry, surface topography, 3D printing, FDM, PLA+, PETG, areal roughness, wear scar, infill ratio, aviation cabin materials

1. INTRODUCTION

The aviation industry has placed increasing emphasis on environmentally responsible materials and manufacturing technologies in recent years. Driven by global concerns regarding carbon footprint and plastic pollution, considerable attention has been directed toward biodegradable and bio-based polymer substitutes for non-structural aircraft cabin interior parts. Among the variety of cabin components, the service trays located in the passenger seat-back area are regarded as a promising target for such materials, since they are subjected to moderate mechanical contact and repeated handling, and therefore require adequate surface integrity, scratch resistance, and a satisfactory visual appearance throughout their service life (Mazzanti et al. 2019; Tian et al. 2016).

Additive manufacturing, and in particular Fused Deposition Modeling (FDM), has been recognized as a viable route for producing such parts because it offers flexible design freedom, minimal material wastage, and short development cycles. In FDM, thermoplastic filaments are extruded and deposited layer by layer, which makes it possible to fabricate complex parts with tailored internal structures. Infill density, defined as the ratio of the volume of solid material to the total enclosed volume, is a critical process parameter that influences the mechanical, physical, and surface properties of FDM parts (Popescu et al. 2018; Dey and Dodo 2019). The study reported by Popescu et al. (2018) demonstrated the significance of infill density in combination with other slicing parameters, and the importance of infill density was likewise emphasized by Dey and Yodo (2019).

Polylactic Acid (PLA) is one of the most widely used biodegradable thermoplastics in FDM technology. It is derived from renewable resources such as corn starch and sugarcane and offers moderate mechanical properties together with good processability (Farah et al. 2016). PLA+ denotes a modified grade of PLA in which additives are incorporated to improve mechanical

performance and printability while retaining biodegradability (Rasal et al. 2010). Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG) is an amorphous engineering thermoplastic that exhibits high chemical resistance, toughness, and impact strength. Although PETG is not biodegradable, it serves as a useful engineering-grade reference for evaluating the surface and tribological behavior of biodegradable alternatives (Srinivasan et al. 2020; Valvez et al. 2022).

The surface integrity of FDM-printed parts is closely linked to their performance in contact applications. The layer-by-layer deposition process produces a characteristic periodic surface texture, and the response of this texture to sliding contact governs the appearance and durability of the component. Surface profilometry, both contact and non-contact, is a well-established means of quantifying surface topography. Non-contact optical profilometry is well suited to soft polymeric surfaces because it avoids the risk of probe-induced deformation and provides full three-dimensional areal data. Areal parameters defined by ISO 25178 and profile parameters defined by ISO 4287 together offer a comprehensive description of both the undamaged texture and the geometry of wear scars (Leach 2013; De Chiffre et al. 2000).

While the friction and wear behavior of FDM-printed polymers has received growing attention, the quantitative profilometric characterization of the resulting wear-scar topography for PLA+ and PETG across a range of infill ratios has not been adequately addressed in the literature (Dangnan et al. 2020). The purpose of the present study is therefore to perform a detailed profilometric analysis of the worn surfaces of FDM-printed PLA+ and PETG specimens fabricated at 40%, 60%, 80%, and 100% infill. The worn surfaces were examined using a Nanovea PS-50 non-contact profilometer, and the three-dimensional areal parameters, two-dimensional roughness-profile parameters, and wear-scar cross-sectional geometry were quantified. The study aims to contribute to the understanding of surface damage in sustainable 3D-printed polymers and to provide useful information for design engineers selecting biodegradable materials for aircraft cabin interior applications.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials and Specimen Fabrication

Two commercially available FDM filaments were selected for this study: PLA+ in gray with a nominal diameter of 1.75 mm, and PETG in black, also with a nominal diameter of 1.75 mm. PLA+ is a modified polylactic-acid-based filament that exhibits improved toughness and interlayer adhesion relative to standard PLA (Rasal et al. 2010), whereas PETG is an amorphous copolyester-based thermoplastic with high chemical resistance and impact strength (Srinivasan et al. 2020). The two materials were chosen so that a biodegradable polymer

(PLA+) could be compared with an engineering-grade reference polymer (PETG) on the basis of their worn-surface topography.

All specimens were fabricated using an Anycubic Kobra S1 Combo 3D printer, which has a build volume of 250 × 250 × 250 mm, a maximum printing speed of 600 mm/s with a recommended speed of 300 mm/s, and a minimum layer thickness of 50 µm. The printing parameters were configured in accordance with the manufacturer's guidelines for each filament. For PLA+, the nozzle temperature was set to 225 °C and the print-bed temperature to 60 °C; for PETG, the nozzle temperature was set to 255 °C and the print-bed temperature to 80 °C. Specimens were printed at infill densities of 40%, 60%, 80%, and 100%, resulting in eight specimen configurations in total, namely two filament types combined with four infill densities. The specimen dimensions were selected to be compatible with the wear-test fixture.

2.2. Worn-Surface Preparation

Prior to the profilometric analysis, all specimens were subjected to a reciprocating ball-on-flat sliding contact in order to generate well-defined wear scars on their surfaces. The sliding tests were conducted under a constant normal load of 10 N and a total sliding distance of 100 m, in dry (unlubricated) conditions and at the ambient laboratory temperature of 23.39 °C. For each filament type and infill density, two distinct wear tracks were produced corresponding to two contact apertures, namely a narrow track of 0.4 mm and a wide track of 0.6 mm. The narrow and wide tracks make it possible to assess the effect of the nominal contact width on the resulting surface damage. The present study is concerned exclusively with the profilometric characterization of these worn surfaces and does not address the evolution of friction during sliding.

2.3. Non-Contact Profilometric Analysis

The worn surfaces were characterized using a Nanovea PS-50 non-contact optical profilometer. The non-contact measurement principle was preferred because it eliminates the risk of probe-induced deformation on the relatively soft polymeric surfaces and because it provides complete three-dimensional areal height data. For each specimen configuration, an areal scan covering a region of approximately 1995 µm in width and 12000 µm in length was acquired across the wear track, so that both the worn region and the surrounding undamaged FDM texture were captured.

From the acquired data, three-dimensional areal height parameters were evaluated in accordance with ISO 25178, including the arithmetic mean height (Sa), the root-mean-square height (Sq), the skewness (Ssk), the kurtosis (Sku), the maximum peak height (Sp), the

maximum pit depth (Sv), and the maximum height (Sz). In addition, a representative two-dimensional cross-section was extracted from each wear track, and roughness-profile parameters were evaluated in accordance with ISO 4287, including the arithmetic mean roughness (Ra), the root-mean-square roughness (Rq), the maximum height of the profile (Rz), the maximum profile peak height (Rp), the maximum profile valley depth (Rv), the skewness (Rsk), and the kurtosis (Rku). A Gaussian filter with a cut-off wavelength of 0.8 mm was applied for the separation of roughness and waviness components. Finally, the maximum cross-sectional depth and the worn cross-sectional area, hereafter referred to as the hole area, were determined from the extracted wear-track profiles for both the narrow and the wide aperture conditions. The full set of profilometric measurement parameters is summarized in Table 1.

Table 1. Specimen matrix and profilometric measurement parameters

Material	Printing Parameters	Infill Ratio (%)	Wear Track Aperture	Scan Length (µm)	Scan Width (µm)	Vertical Resolution
PLA+ (Gray)	225°C / 60°C	40, 60, 80, 100	0.4 (N) / 0.6 (W)	12000	1995	Sub-micron
PETG (Black)	255°C / 80°C	40, 60, 80, 100	0.4 (N) / 0.6 (W)	12000	1995	Sub-micron

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Three-Dimensional Areal Topography

The three-dimensional reconstructions obtained from the non-contact profilometer revealed clearly distinguishable surface topographies for the two materials. The worn surfaces produced under the narrow aperture (0.4 mm) are presented in Figure 1, and those produced under the wide aperture (0.6 mm) are presented in Figure 2. In each figure, the PLA+ specimens occupy the left column and the PETG specimens the right column, with the infill ratio increasing from top to bottom.

For all PLA+ configurations, in both the narrow-aperture panels of Figure 1(a, c, e, g) and the wide-aperture panels of Figure 2(a, c, e, g), the wear track appeared as a continuous, well-defined depression running along the sliding direction, superimposed on the periodic raster pattern of the FDM-printed surface. The depression is rendered in the cooler colors of the height scale, which confirms that material has been removed to a substantial depth along the full length of the track. For the PETG configurations, in both the narrow-aperture panels of Figure 1(b, d, f, h) and the wide-aperture panels of Figure 2(b, d, f, h), the periodic raster pattern remained the dominant topographic feature, and the worn region appeared as a shallow, narrow band that was, in most cases, comparable in depth to the surrounding texture. The contrast between the

PLA+ and PETG columns is striking and is consistent across both aperture conditions: the PLA+ surfaces are dominated by a single, deep, continuous groove, whereas the PETG surfaces retain a largely intact raster plateau interrupted only by localized disturbances. The corresponding ISO 25178 height parameters are summarized in Table 2.

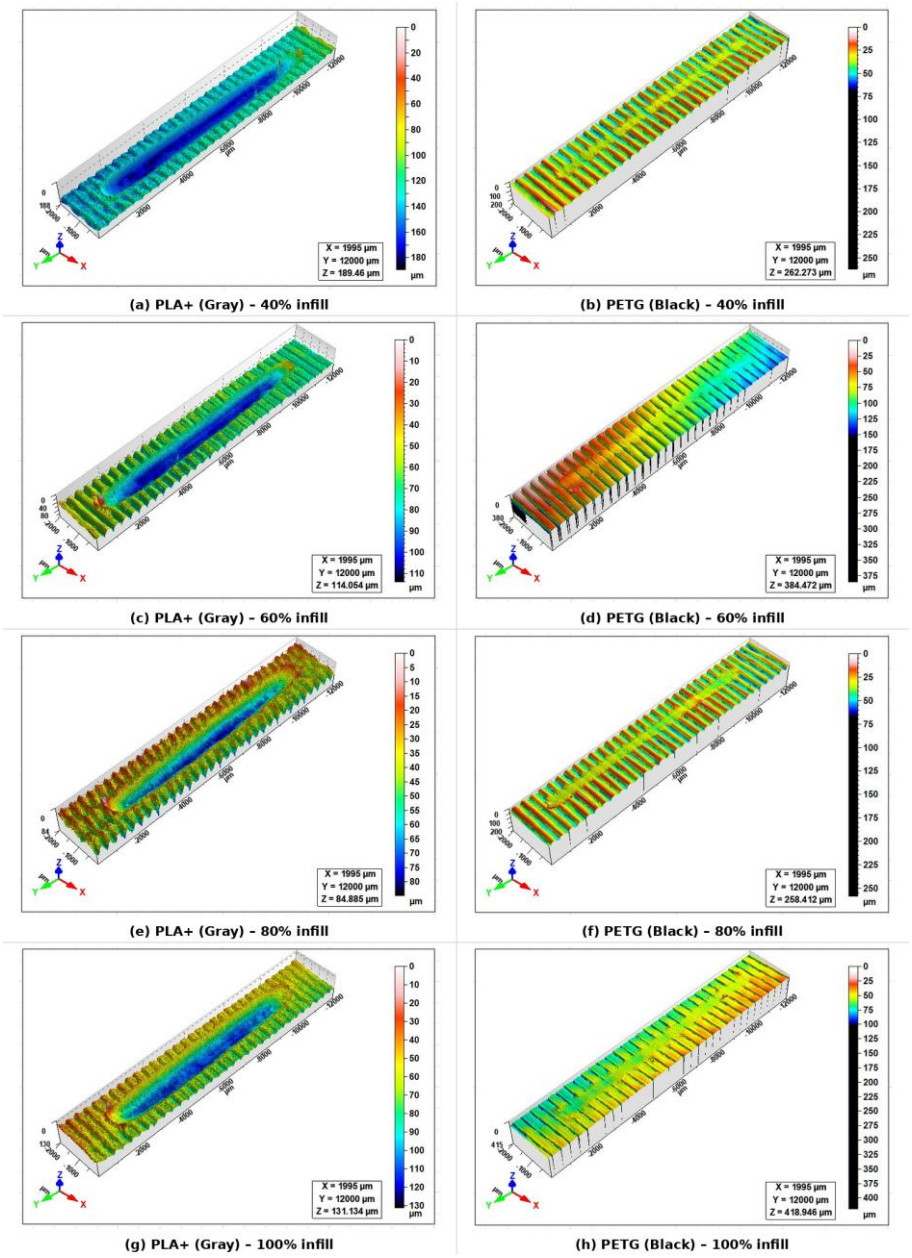


Fig. 1. Three-dimensional areal topography of the worn surfaces under the narrow aperture (0.4 mm), obtained by non-contact profilometry: PLA+ (Gray) - (a) 40%, (c) 60%, (e) 80%, (g) 100% infill; PETG (Black) -(b) 40%, (d) 60%, (f) 80%, (h) 100% infill

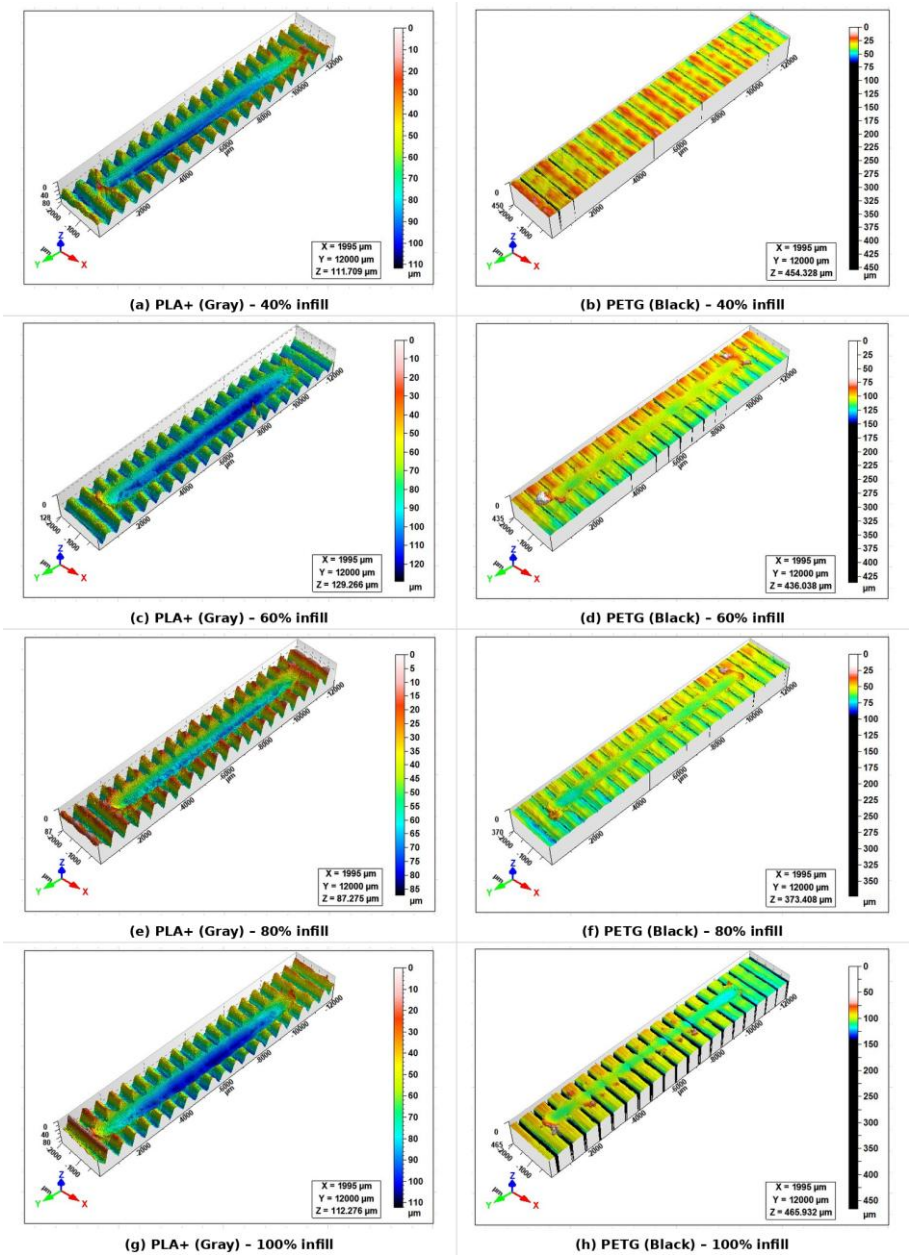


Fig. 2. Three-dimensional areal topography of the worn surfaces under the wide aperture (0.6 mm), obtained by non-contact profilometry: PLA+ (Gray) - (a) 40%, (c) 60%, (e) 80%, (g) 100% infill; PETG (Black) - (b) 40%, (d) 60%, (f) 80%, (h) 100% infill

The ISO 25178 areal height parameters for all sixteen configurations, covering both the narrow-aperture and the wide-aperture wear-track regions, are summarized in Table 2. For the PLA+ specimens, the arithmetic mean height (Sa) ranged from 11.121 µm to 16.272 µm, and the maximum height (Sz) ranged from 84.885 µm to 189.460 µm, with the narrow and wide apertures yielding broadly comparable values. The PETG specimens displayed a markedly different and more scattered behavior, with Sa values ranging from 8.190 µm to 83.790 µm and Sz values ranging from 258.412 µm to 465.932 µm. The comparatively large Sz values recorded for the PETG configurations are associated with localized deep pits rather than with

a broad worn depression, as discussed below. The scatter of the PETG parameters was present under both aperture conditions, which confirms that the heterogeneous character of the PETG worn surface is intrinsic to the material rather than an artifact of a particular contact width.

Table 2. ISO 25178 areal height parameters of the worn surfaces

Material	Infill (%)	Aperture	Sa (µm)	Sq (µm)	Ssk	Sku	Sp (µm)	Sv (µm)	Sz (µm)
PLA+ (Gray)	40	Narrow	11.121	14.223	-0.433	3.100	73.403	40.651	114.054
PLA+ (Gray)	40	Wide	13.061	15.364	0.172	2.295	87.747	41.518	129.266
PLA+ (Gray)	60	Narrow	11.452	14.182	-0.397	2.646	42.590	42.294	84.885
PLA+ (Gray)	60	Wide	14.005	16.231	0.221	1.977	44.361	42.914	87.275
PLA+ (Gray)	80	Narrow	16.272	20.167	-0.571	2.477	70.272	60.862	131.134
PLA+ (Gray)	80	Wide	15.980	19.283	0.288	2.532	67.384	44.892	112.276
PLA+ (Gray)	100	Narrow	13.099	16.609	-0.464	3.057	137.313	52.148	189.460
PLA+ (Gray)	100	Wide	14.740	17.232	0.262	2.156	67.601	44.109	111.709
PETG (Black)	40	Narrow	51.324	81.806	-2.091	6.252	107.447	277.026	384.472
PETG (Black)	40	Wide	13.518	41.181	-6.879	52.495	110.003	326.036	436.038
PETG (Black)	60	Narrow	8.874	18.471	-8.556	98.952	34.427	223.985	258.412
PETG (Black)	60	Wide	8.190	27.731	-10.043	110.357	60.599	312.809	373.408
PETG (Black)	80	Narrow	20.207	56.753	-5.514	32.487	64.494	354.451	418.946
PETG (Black)	80	Wide	83.790	122.543	-2.100	5.479	150.705	315.227	465.932
PETG (Black)	100	Narrow	9.071	19.649	-8.382	91.227	35.763	226.510	262.273
PETG (Black)	100	Wide	10.244	40.157	-9.332	90.718	36.366	417.962	454.328

Areal parameters reported for both the narrow-aperture (0.4 mm) and the wide-aperture (0.6 mm) wear-track regions of each configuration. Sa = arithmetic mean height; Sq = root-mean-square height; Ssk = skewness; Sku = kurtosis; Sp = maximum peak height; Sv = maximum pit depth; Sz = maximum height.

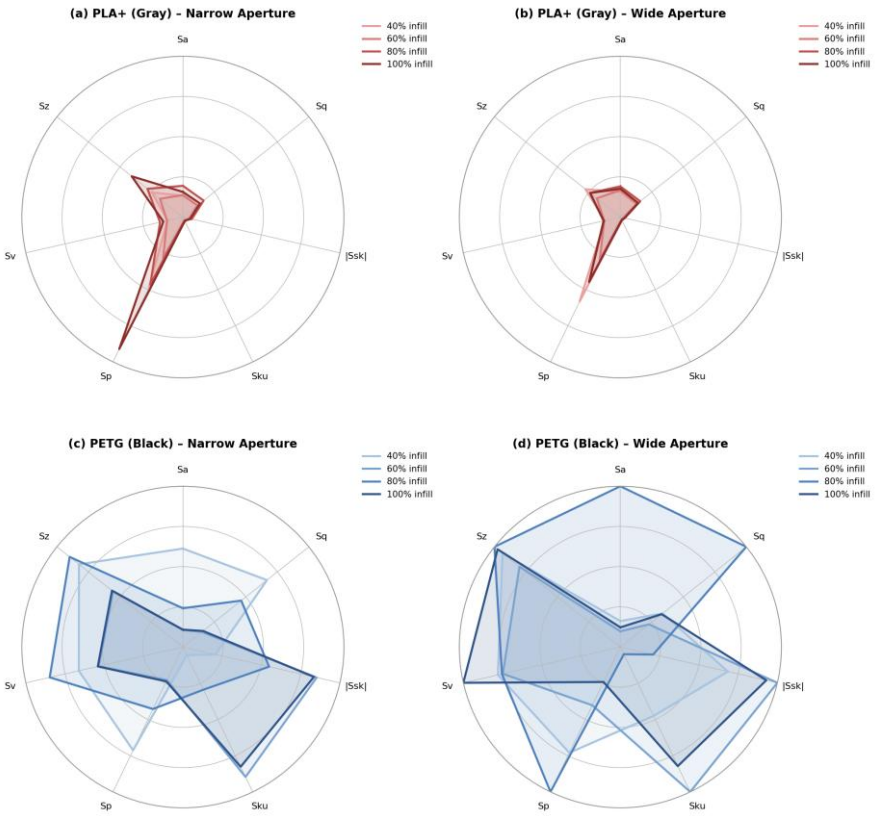


Fig. 3. Radar diagrams of the ISO 25178 areal height parameters of the worn surfaces: (a) PLA+ (Gray) under the narrow aperture, (b) PLA+ (Gray) under the wide aperture, (c) PETG (Black) under the narrow aperture, and (d) PETG (Black) under the wide aperture. Each panel shows the four infill ratios (40%, 60%, 80%, 100%). Every parameter axis is normalized to its maximum value across all sixteen configurations; the skewness is plotted as its absolute value

The radar diagrams presented in Figure 3 provide a compact visual comparison of the seven ISO 25178 areal parameters. The four panels separate the two materials and the two aperture conditions: panels (a) and (b) present the PLA+ surfaces under the narrow and the wide aperture, while panels (c) and (d) present the PETG surfaces under the narrow and the wide aperture. Within each panel the four infill ratios are overlaid, and every axis is normalized to the maximum value recorded for that parameter across all sixteen configurations, so that the panels are directly comparable to one another. The PLA+ panels, Figure 3(a) and (b), exhibit compact and consistent polygons in which the four infill ratios are closely overlapped. The Sa and Sq axes carry intermediate values, the skewness and kurtosis axes carry low values, and the overall shape is essentially the same under the narrow and the wide aperture. This compact and repeatable geometry indicates that the worn PLA+ surface is well-behaved and self-similar, both across infill ratios and across the two aperture conditions, with a near-symmetric height distribution and no extreme parameter values. The principal exception is the elongation of the

polygon toward the Sp axis at 100% infill in the narrow-aperture panel, which reflects the comparatively high maximum peak height recorded for that configuration.

The PETG panels, Figure 3(c) and (d), exhibit a markedly different and more irregular pattern. The polygons are extended strongly toward the skewness and kurtosis axes, and the four infill ratios produce widely separated and distinctly shaped curves rather than an overlapping family. This dispersion is present under both aperture conditions, but it is most pronounced in the wide-aperture panel, Figure 3(d), where several configurations reach the outermost ring on the Sa, Sv, and Sz axes. The dispersed and irregular geometry of the PETG panels is the visual signature of the discrete, localized pitting that characterizes the PETG worn surfaces, and it contrasts sharply with the compact, repeatable polygons of the PLA+ panels. The radar representation therefore reinforces the conclusion drawn from the tabulated data, namely that PLA+ undergoes uniform surface removal under both aperture conditions, while PETG undergoes localized, heterogeneous surface damage regardless of the contact width.

A particularly informative distinction between the two materials is provided by the areal skewness (Ssk) and kurtosis (Sku) parameters. Across both aperture conditions, the PLA+ specimens consistently exhibited near-zero skewness, with Ssk values between -0.571 and 0.288, and kurtosis values close to three, with Sku between 1.977 and 3.100. These values indicate an approximately symmetric and near-Gaussian height distribution, which is characteristic of a surface from which material has been removed relatively uniformly to form a smooth, broad depression. In contrast, the PETG specimens exhibited strongly negative skewness, with Ssk values as low as -10.043, accompanied by very high kurtosis values, with Sku reaching 110.357. Such a combination of strongly negative skewness and very high kurtosis is the signature of a predominantly plateau-like surface that is interrupted by a small number of deep, narrow valleys. In the present context, this indicates that the PETG surface retained much of its original raster plateau while sustaining discrete, localized pitting rather than a continuous worn groove, and this behavior was observed for both the narrow and the wide aperture.

3.2. Wear-Scar Cross-Sectional Geometry

The cross-sectional geometry of the wear scars provides the most direct quantitative measure of the extent of surface damage. The maximum cross-sectional depth and the worn cross-sectional area, that is the hole area, were extracted from the wear-track profiles for both aperture conditions and are summarized in Table 3. The contrast between the two materials is substantial. Averaged over all configurations, the PLA+ specimens exhibited a maximum

wear-scar depth of approximately 49.4 µm, with individual values ranging from 28.969 µm to 60.643 µm. The PETG specimens, by comparison, exhibited a maximum wear-scar depth of only approximately 11.9 µm, with individual values ranging from 8.370 µm to 23.332 µm. The average wear-scar depth of PLA+ therefore exceeded that of PETG by a factor of approximately 4.2.

Table 3. Wear-scar cross-sectional depth and worn cross-sectional area

Material	Infill (%)	Max. Depth - Narrow (µm)	Max. Depth - Wide (µm)	Hole Area - Narrow (µm²)	Hole Area - Wide (µm²)
PLA+	40	48.170	58.050	28047	35320
PLA+	60	51.874	42.686	29616	24557
PLA+	80	60.643	49.665	42962	32342
PLA+	100	54.817	28.969	36394	11224
PETG	40	10.345	12.345	3551	4706
PETG	60	8.370	8.420	2394	2795
PETG	80	10.815	23.332	3568	11991
PETG	100	12.902	8.657	4692	3315

Maximum cross-sectional wear-scar depth and the corresponding worn cross-sectional area (“hole area”) measured from the extracted wear-track profiles under narrow (0.4 mm) and wide (0.6 mm) aperture conditions.

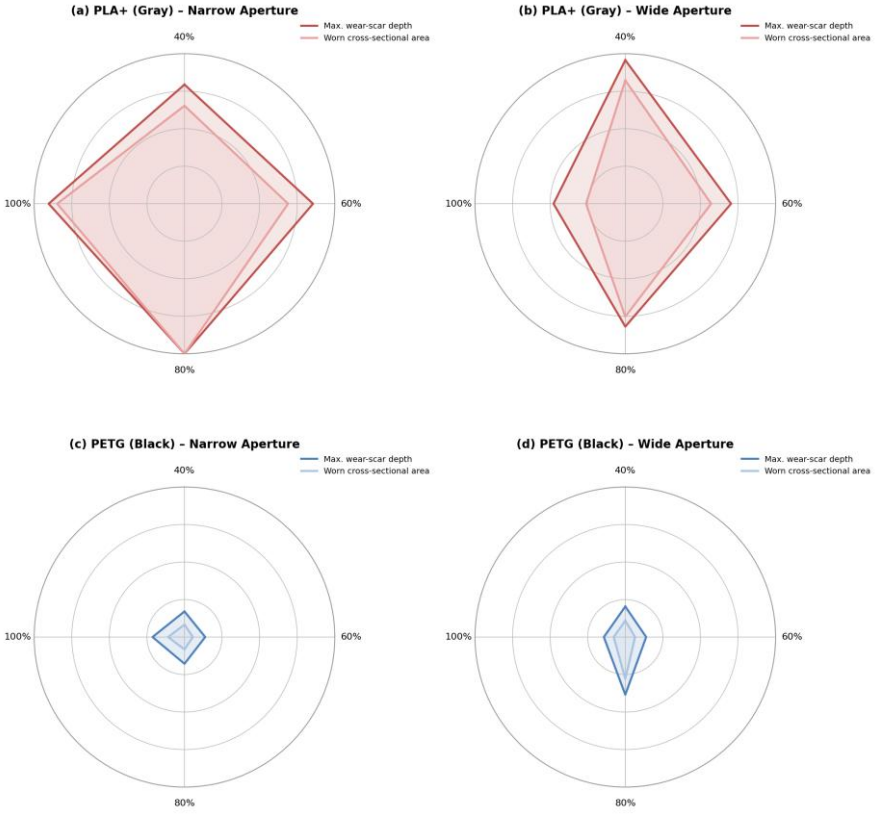


Fig. 4. Radar diagrams of the wear-scar cross-sectional geometry: (a) PLA+ (Gray) under the narrow aperture, (b) PLA+ (Gray) under the wide aperture, (c) PETG (Black) under the narrow aperture, and (d) PETG (Black) under the wide aperture. In each panel the four axes represent

the four infill ratios (40%, 60%, 80%, 100%), and the two overlaid curves represent the maximum wear-scar depth and the worn cross-sectional area. All four panels share a common normalization, so that the panels can be compared directly with one another on the same scale. Figure 4 presents the wear-scar cross-sectional geometry in radar form. The four panels separate the two materials and the two aperture conditions, and within each panel the four axes correspond to the four infill ratios while the two overlaid curves represent the maximum wear-scar depth and the worn cross-sectional area. A single, common normalization is applied to all four panels, so that the area enclosed by each curve is directly proportional to the overall severity of the surface damage and the panels can be compared with one another on an identical scale. This shared scaling makes the contrast between the two materials immediately apparent. The PLA+ panels, Figure 4(a) and (b), contain large curves that extend close to the outer boundary on every infill axis, whereas the PETG panels, Figure 4(c) and (d), contain small curves confined to a region close to the center of the diagram.

The visual contrast in Figure 4 quantifies the principal finding of the present study. The curves of the PLA+ panels enclose an area several times larger than those of the PETG panels, which corresponds directly to the factor of approximately 4.2 in the average wear-scar depth and the factor of approximately 6.5 in the average worn cross-sectional area noted above. Within the PLA+ panels, the depth and area curves are broadly similar in size across the four infill ratios; the narrow-aperture panel, Figure 4(a), is the more uniform, while the wide-aperture panel, Figure 4(b), shows a clear contraction of the curve toward the 100% infill axis, consistent with the tendency of higher infill densities to limit the worn cross-section under the wide aperture. Within the PETG panels, all curves are small and tightly clustered, with the single exception of the 80% infill axis in the wide-aperture panel, Figure 4(d), whose modest extension reflects the anomalous scar discussed in Section 3.3.

The difference in the worn cross-sectional area was even more pronounced. The average hole area of the PLA+ specimens was approximately 30058 μm^2, whereas the average hole area of the PETG specimens was approximately 4627 μm^2, corresponding to a ratio of roughly 6.5 to 1. This indicates that, in addition to forming deeper scars, the PLA+ specimens also sustained material removal over a wider cross-section. The extracted two-dimensional wear-track profiles are presented in Figure 5 for the narrow aperture (0.4 mm) and in Figure 6 for the wide aperture (0.6 mm). In both figures the worn cross-section identified by the analysis software is shaded in red, and the maximum depth and the worn cross-sectional area are annotated beneath each profile. The two figures illustrate, for both aperture conditions, the pronounced contrast between the deep, broad depression of the PLA+ specimens and the shallow, narrow scar of

the PETG specimens. The PETG profiles retain a comparatively flat trace that is interrupted only by a small shaded region, whereas the PLA+ profiles exhibit a wide, continuous concavity in which a large cross-sectional area has been removed; this distinction is consistent for the 40%, 60%, 80%, and 100% infill ratios and for both the narrow and the wide aperture.

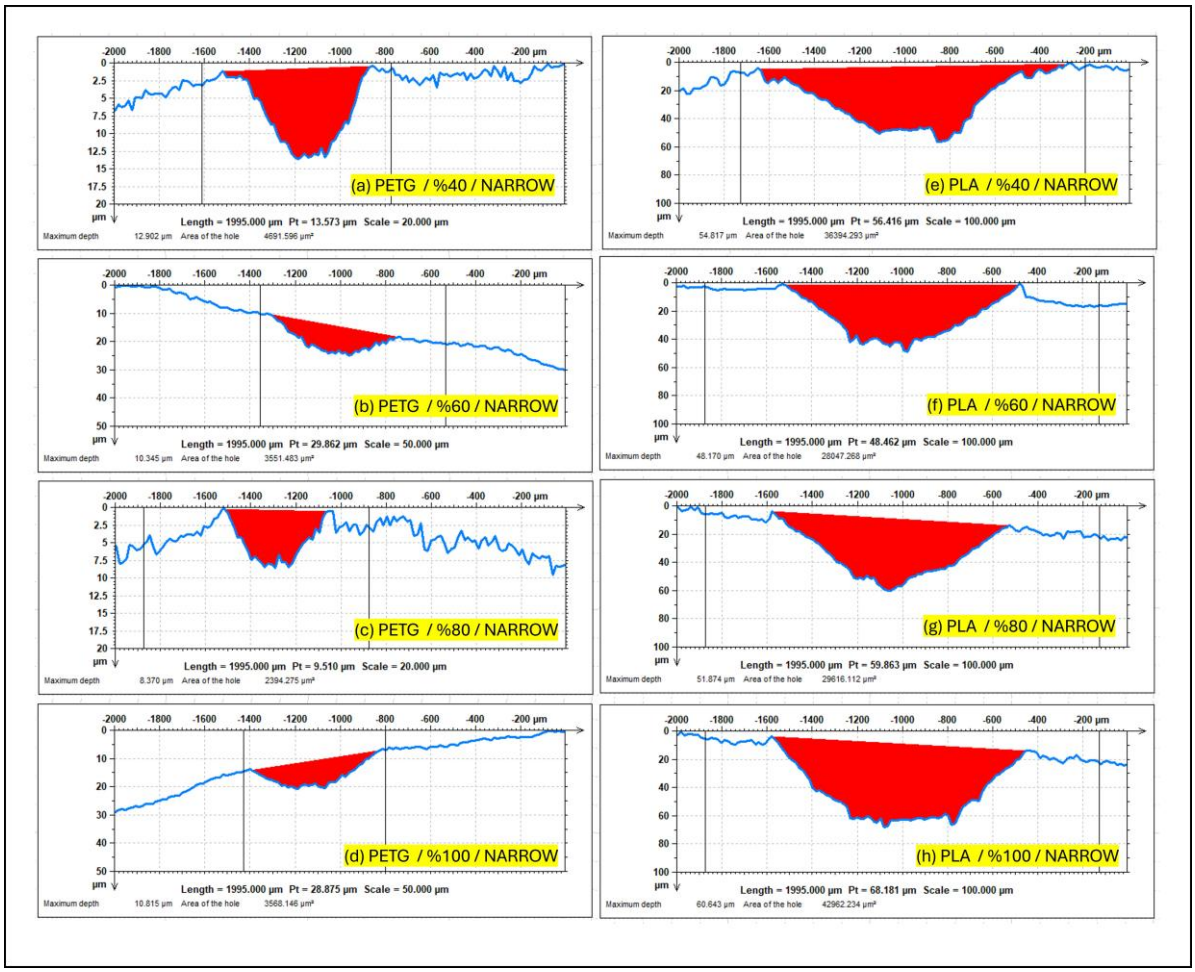


Fig. 5. Extracted cross-sectional wear-track profiles obtained by non-contact profilometry (Nanovea PS-50) under the narrow aperture (0.4 mm): PETG (Black) - (a) 40%, (b) 60%, (c) 80%, (d) 100% infill; PLA+ (Gray) - (e) 40%, (f) 60%, (g) 80%, (h) 100% infill. For each panel the depth axis is given in micrometers, the trace length is 1995 µm, and the worn cross-section identified by the analysis software is shaded in red. The maximum depth ("Maximum depth"), the total profile height (Pt), and the worn cross-sectional area ("Area of the hole") are annotated beneath each profile. The vertical scale differs between panels, so the panels should be compared on the basis of their individual scales rather than by the apparent size of the shaded region alone

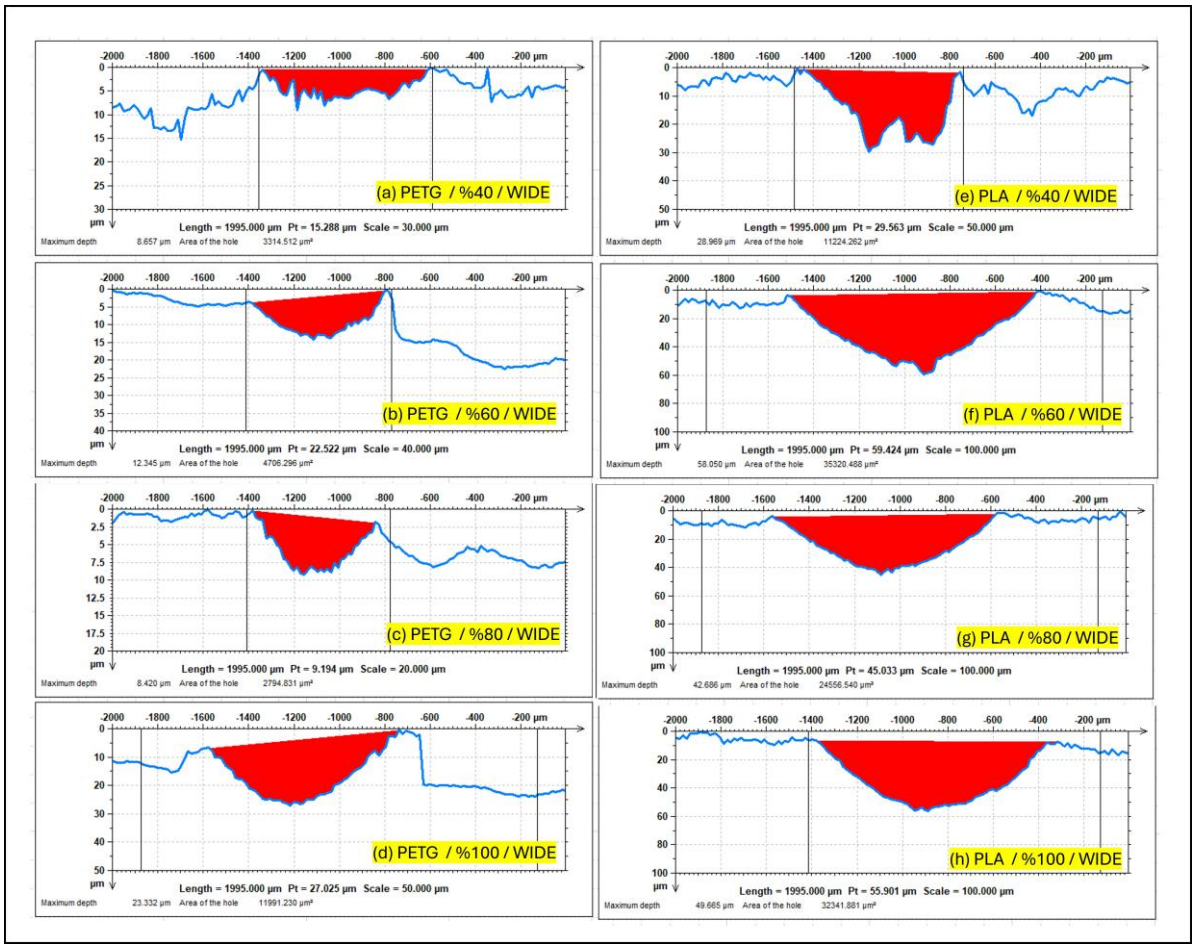


Fig. 6. Extracted cross-sectional wear-track profiles obtained by non-contact profilometry (Nanovea PS-50) under the wide aperture (0.6 mm): PETG (Black) - (a) 40%, (b) 60%, (c) 80%, (d) 100% infill; PLA+ (Gray) - (e) 40%, (f) 60%, (g) 80%, (h) 100% infill. For each panel the depth axis is given in micrometers, the trace length is 1995 µm, and the worn cross-section identified by the analysis software is shaded in red. The maximum depth ("Maximum depth"), the total profile height (Pt), and the worn cross-sectional area ("Area of the hole") are annotated beneath each profile. The vertical scale differs between panels, so the panels should be compared on the basis of their individual scales rather than by the apparent size of the shaded region alone.

The deep and broad wear scars of PLA+ are consistent with the brittle, semi-crystalline nature of the material. Under repeated sliding contact, PLA+ tends to fragment and to generate fine wear debris, which acts as a third-body abrasive and promotes continued material removal, deepening and widening the wear groove. PETG, by contrast, is an amorphous and comparatively ductile copolyester that accommodates contact stresses by plastic deformation rather than by brittle fragmentation. As a result, the PETG surface is smeared and locally displaced rather than removed, which preserves much of the original raster plateau and limits the depth and the cross-sectional area of the scar. This interpretation is in agreement with the strongly negative areal skewness measured for PETG and with the near-symmetric height distribution measured for PLA+.

3.3. Roughness-Profile Parameters of the Worn Tracks

The ISO 4287 roughness-profile parameters extracted from a representative cross-section of each wear track, for both the narrow and the wide aperture, are summarized in Table 4. The PLA+ specimens displayed higher roughness within the worn region than the PETG specimens. Across both aperture conditions, the PLA+ Ra values ranged from 2.528 µm to 3.860 µm and the Rz values from 14.516 µm to 21.430 µm. The PETG specimens displayed consistently lower roughness within the worn track, with Ra values ranging from 0.973 µm to 2.562 µm and Rz values from 5.710 µm to 9.840 µm. The roughness of the PLA+ worn surface was therefore on the order of twice that of the PETG worn surface, and this ratio was maintained under both the narrow and the wide aperture, which confirms that the rougher character of the PLA+ worn track is governed by the material rather than by the contact width.

Table 4. ISO 4287 roughness-profile parameters of the worn tracks

Material	Infill (%)	Aperture	Ra (µm)	Rq (µm)	Rz (µm)	Rp (µm)	Rv (µm)	Rsk	Rku
PLA+	40	Narrow	3.860	4.497	16.660	-	-	-0.631	2.166
PLA+	40	Wide	3.642	4.710	21.430	-	-	-0.231	3.267
PLA+	60	Narrow	3.758	4.546	17.644	-	-	-0.681	2.377
PLA+	60	Wide	3.426	3.865	14.516	-	-	-0.003	1.894
PLA+	80	Narrow	3.836	4.719	19.904	12.146	7.758	0.690	3.060
PLA+	80	Wide	3.368	4.107	14.847	9.176	5.671	0.950	2.520
PLA+	100	Narrow	2.528	3.598	16.972	5.253	11.719	-1.640	5.501
PLA+	100	Wide	3.523	4.425	15.083	5.432	9.651	-1.072	2.473
PETG	40	Narrow	1.292	1.585	5.710	-	-	-0.574	2.108
PETG	40	Wide	1.462	1.831	8.635	5.640	2.995	0.335	3.167
PETG	60	Narrow	1.422	1.769	6.518	3.600	2.918	0.181	2.204
PETG	60	Wide	1.377	1.611	5.742	3.239	2.503	0.144	1.924
PETG	80	Narrow	1.665	1.850	6.434	-	-	-0.337	1.653
PETG	80	Wide	2.562	2.921	9.840	6.008	3.832	0.120	1.867
PETG	100	Narrow	2.139	2.375	7.430	3.782	3.648	-0.167	1.575
PETG	100	Wide	0.973	1.325	6.396	4.286	2.111	1.192	4.706

**Roughness-profile (ISO 4287) parameters extracted from a representative cross-section of both the narrow-aperture (0.4 mm) and the wide-aperture (0.6 mm) wear tracks. A dash indicates a value not reported by the instrument for that configuration. Gaussian filtering with a cut-off of 0.8 mm was applied.*

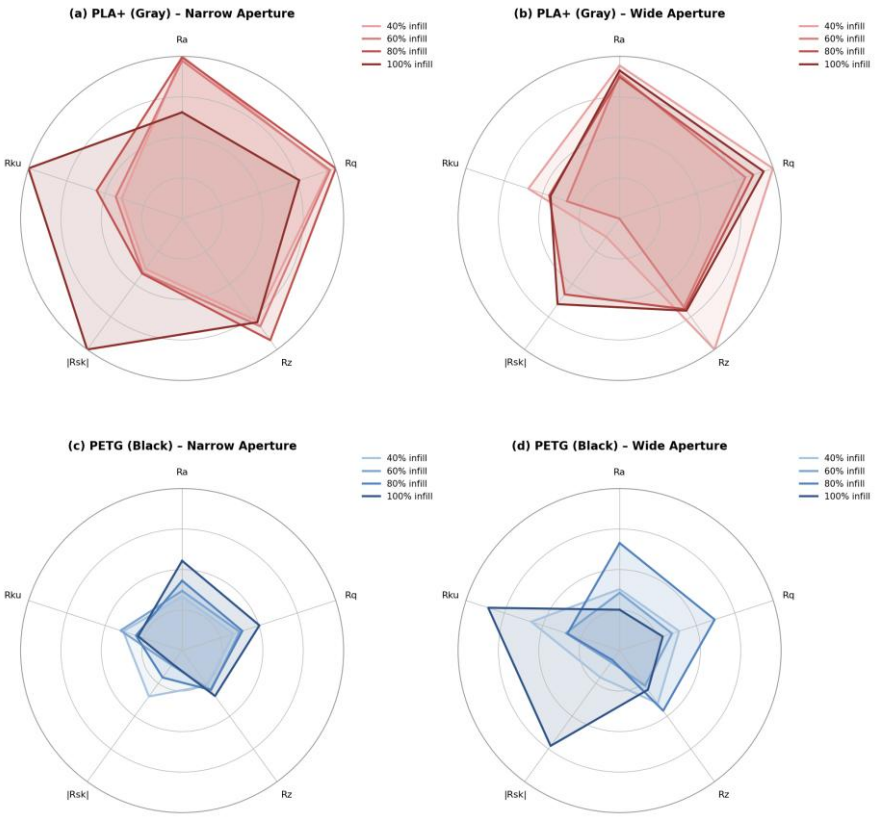


Fig. 7. Radar diagrams of the ISO 4287 roughness-profile parameters of the worn tracks: (a) PLA+ (Gray) under the narrow aperture, (b) PLA+ (Gray) under the wide aperture, (c) PETG (Black) under the narrow aperture, and (d) PETG (Black) under the wide aperture. Each panel shows the four infill ratios (40%, 60%, 80%, 100%). Every parameter axis is normalized to its maximum value across all sixteen configurations; the profile skewness is plotted as its absolute value (Rsk)

Figure 7 presents the ISO 4287 roughness-profile parameters in radar form, with five axes corresponding to the arithmetic mean roughness, the root-mean-square roughness, the maximum profile height, the absolute profile skewness, and the profile kurtosis. As in Figure 3, the four panels separate the two materials and the two aperture conditions, the four infill ratios are overlaid within each panel, and every axis is normalized to its maximum value across all sixteen configurations. The PLA+ panels, Figure 7(a) and (b), exhibit large, well-developed polygons that occupy a substantial fraction of the available area under both aperture conditions. The 40%, 60%, and 80% configurations produce broadly similar polygons that are extended toward the Ra, Rq, and Rz axes, which confirms the comparatively rough character of the PLA+ worn track. The 100% configuration in the narrow-aperture panel, Figure 7(a), produces a polygon of distinctly different shape, contracted on the amplitude axes but strongly extended toward the |Rsk| and Rku axes, which reflects the deep, isolated abrasive scratches identified within that wear track.

The PETG panels, Figure 7(c) and (d), exhibit small and compact polygons that occupy only a modest fraction of the available area, in direct contrast with the PLA+ panels. Within each PETG panel the four infill ratios produce polygons of similar size and a comparable, near-regular shape, which indicates that the worn PETG tracks are consistently smooth and self-similar across both infill ratios and aperture conditions. The small enclosed area of the PETG polygons relative to the PLA+ polygons provide an immediate visual confirmation that the worn PETG surface is approximately half as rough as the worn PLA+ surface. Taken together, the three sets of radar diagrams in Figures 3, 4, and 7 convey a consistent message: the worn PLA+ surface is rough but uniform and repeatable across both apertures, whereas the worn PETG surface is smooth overall but heterogeneous in its areal height distribution, and the extent of material removal is far greater for PLA+ than for PETG.

The lower roughness recorded within the PETG wear track is consistent with a wear mechanism dominated by plastic smearing, which tends to flatten and burnish the contacted surface. The higher roughness recorded within the PLA+ wear track reflects the abrasive, fragmenting character of the material removal process, which leaves a comparatively rough, scratched groove. The profile skewness and kurtosis values support this interpretation: the PLA+ worn profiles, in particular at 100% infill, exhibited markedly negative skewness, with Rsk reaching -1.640, together with elevated kurtosis, with Rku reaching 5.501, which indicates the presence of deep abrasive scratches within the groove. The PETG worn profiles exhibited skewness values close to zero and kurtosis values close to or below three, consistent with a comparatively smooth, plateau-like worn surface.

The influence of the infill ratio on the worn-surface topography was found to be present but secondary in comparison with the dominant influence of the material type. For the PLA+ specimens, the maximum wear-scar depth under the narrow-aperture condition increased from 48.170 µm at 40% infill to 60.643 µm at 80% infill, while under the wide-aperture condition it decreased from 58.050 µm at 40% infill to 28.969 µm at 100% infill. The wide-aperture results therefore display the more systematic trend, in which a higher infill density is associated with a shallower and smaller wear scar. This is attributed to the increased rigidity and reduced subsurface deflection of the more densely filled specimens, which limits the ploughing depth of the counterbody. For the PETG specimens, the wear-scar depth remained low at all infill ratios and did not display a strong monotonic dependence on infill density, with the exception of the 80% wide-aperture configuration, which recorded an anomalously large scar and is regarded as an outlier most likely associated with a local subsurface void. Overall, the

profilometric data indicate that the material type is the principal factor governing the worn-surface topography, while the infill ratio exerts a secondary, modulating influence.

3.4. Implications for Aviation Cabin Interior Applications

From the perspective of aircraft cabin interior applications, and in particular the service trays of the passenger seat-back area, the profilometric results carry a clear practical message. The depth and the cross-sectional area of a wear scar are direct indicators of the loss of surface integrity and of the visual severity of the resulting damage. The PETG specimens, with shallow wear scars and low worn-track roughness, demonstrated superior resistance to surface damage under repeated sliding contact and would therefore be expected to retain a more acceptable appearance over the service life of the component. The PLA+ specimens, with deep and broad wear scars, demonstrated a greater susceptibility to surface damage.

Nevertheless, the higher susceptibility of PLA+ to surface damage does not preclude its use in cabin interior applications. PLA+ retains the important advantage of biodegradability and environmental sustainability, which is a significant consideration in the selection of materials for non-structural and low-criticality cabin parts. The profilometric data indicate that a high infill density, in the range of 80% to 100%, reduces the depth and the cross-sectional area of the wear scar of PLA+ under the wide-aperture condition, and therefore represents the more favorable processing window when PLA+ is selected. The selection of a biodegradable 3D-printed polymer for such parts thus involves a balance between environmental benefit and surface durability, and the quantitative profilometric data presented here provide a useful basis for that decision.

4. CONCLUSIONS

In this study, the worn surfaces of FDM-printed PLA+ and PETG specimens, fabricated at four infill densities of 40%, 60%, 80%, and 100%, were characterized by non-contact optical profilometry using a Nanovea PS-50 instrument. Three-dimensional areal parameters were evaluated in accordance with ISO 25178, two-dimensional roughness-profile parameters were evaluated in accordance with ISO 4287, and the cross-sectional geometry of the wear scars was quantified. The principal findings are summarized below.

The two materials exhibited fundamentally different worn-surface topographies. The PLA+ specimens developed deep, broad, and continuous wear scars, with an average maximum cross-sectional depth of approximately 49 µm and an average worn cross-sectional area of approximately 30058 µm². The PETG specimens developed shallow and narrow wear scars, with an average maximum cross-sectional depth of approximately 12 µm and an average worn

cross-sectional area of approximately 4627 µm². The average wear-scar depth of PLA+ exceeded that of PETG by a factor of approximately 4.2, and the average worn cross-sectional area by a factor of approximately 6.5.

The areal skewness and kurtosis parameters provided a clear discrimination between the two damage modes. The PLA+ surfaces exhibited near-zero skewness and near-Gaussian kurtosis, consistent with the relatively uniform abrasive removal of material to form a smooth, broad depression. The PETG surfaces exhibited strongly negative skewness, with values as low as -10.043, together with very high kurtosis, with values reaching 110.357, consistent with the retention of the original raster plateau and the formation of discrete, localized pits rather than a continuous worn groove.

The roughness-profile parameters confirmed that the PLA+ worn tracks were approximately twice as rough as the PETG worn tracks, with Ra values of approximately 2.5 to 3.9 µm for PLA+ and approximately 1.3 to 2.1 µm for PETG. The deep negative profile skewness of the PLA+ worn tracks indicated the presence of abrasive scratches within the groove, whereas the near-symmetric PETG worn profiles indicated a smooth, plastically smeared surface. The influence of the infill ratio was found to be secondary to that of the material type; under the wide-aperture condition, a higher infill density was associated with a shallower and smaller wear scar for PLA+.

From the standpoint of aircraft cabin interior applications, PETG demonstrated superior resistance to surface damage under repeated sliding contact and would be expected to retain a more acceptable appearance over the service life of a part such as a seat-back service tray. PLA+ nevertheless remains of interest for low-criticality cabin parts when environmental sustainability is a primary consideration, and an infill density in the range of 80% to 100% is recommended in order to limit the depth and the cross-sectional area of the wear scar. Future work should extend the present profilometric analysis to include the quantitative assessment of wear volume, the evaluation of surface texture after thermal exposure, and the investigation of protective coatings for improving the surface durability of biodegradable PLA+ analogues intended for aviation applications.

Acknowledgments

This study was supported by the Scientific and Technological Research Council of Turkey (TUBITAK) under the 2209-A University Students Research Projects Support Program (TUBITAK Project No: 1919B012404139). The authors gratefully acknowledge the use of the laboratory facilities at the Faculty of Aeronautics and Astronautics, Kocaeli University. This

research was funded by the Kocaeli University Scientific Research Projects Coordination Unit under the project number FBA-2025-4756.

REFERENCES

Dangnan, F., Espejo, C., Liskiewicz, T., Gester, M., & Neville, A. (2020). Friction and wear of additive manufactured polymers in dry contact. Journal of Manufacturing Processes, 59, 238–247. https://doi.org/10.1016/j.jmapro.2020.09.051

De Chiffre, L., Lonardo, P., Trumpold, H., Lucca, D. A., Goch, G., Brown, C. A., Raja, J., & Hansen, H. N. (2000). Quantitative characterisation of surface texture. CIRP Annals, 49(2), 635–652. https://doi.org/10.1016/S0007-8506(07)63458-1

Dey, A., & Yodo, N. (2019). A systematic survey of FDM process parameter optimization and their influence on part characteristics. Journal of Manufacturing and Materials Processing, 3(3), 64. https://doi.org/10.3390/jmmp3030064

Farah, S., Anderson, D. G., & Langer, R. (2016). Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications: A comprehensive review. Advanced Drug Delivery Reviews, 107, 367–392. https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.06.012

Leach, R. (Ed.). (2013). Characterisation of areal surface texture. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-36458-7

Mazzanti, V., Malagutti, L., & Mollica, F. (2019). FDM 3D printing of polymers containing natural fillers: A review of their mechanical properties. Polymers, 11(7), 1094. https://doi.org/10.3390/polym11071094

Popescu, D., Zapciu, A., Amza, C., Baciu, F., & Marinescu, R. (2018). FDM process parameters influence over the mechanical properties of polymer specimens: A review. Polymer Testing, 69, 157–166. https://doi.org/10.1016/j.polymertesting.2018.05.020

Rasal, R. M., Janorkar, A. V., & Hirt, D. E. (2010). Poly(lactic acid) modifications. Progress in Polymer Science, 35(3), 338–356. https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2009.12.003

Srinivasan, R., Prathap, P., Raj, A., Kannan, S.A., Deepak, V. (2020). Influence of fused deposition modeling process parameters on the mechanical properties of PETG parts. Materials Today: Proceedings, 27, 1877–1883. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.03.809

Tian, X., Liu, T., Yang, C., Wang, Q., Li, D. (2016). Interface and performance of 3D printed continuous carbon fiber reinforced PLA composites. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 88, 198–205. https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2016.05.032

Valvez, S., Silva, A.P., Reis, P.N.B. (2022). Compressive behaviour of 3D-printed PETG composites. Aerospace, 9(3), 124. https://doi.org/10.3390/aerospace9030124

FİBER LAZERLE YÜZEY DOKULANDIRMA UYGULANAN AA6061-T6 ALÜMİNYUM ALAŞIMININ KATI PARTİKÜL EROZYON DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Özkan YILMAZ
Kocaeli University. Faculty of Aeronautics and Astronautics. Department of Airframe & Powerplant Maintenance. Kocaeli, Turkey
ORCID: 0009-0003-2217-2903
Cemile Nur ÖZDEMİR
Kocaeli University. Faculty of Aeronautics and Astronautics. Department of Airframe & Powerplant Maintenance. Kocaeli, Turkey
ORCID: 0009-0008-9572-3522
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 havacılık sektöründe yaygın olarak kullanılan AA6061-T6 alüminyum alaşımının fiber lazerle yüzey dokulandırma sonrası katı partikül erozyon davranışı incelenmiştir. Yüzey dokulandırma işlemleri. 100 W gücüne sahip fiber lazer sistemi kullanılarak farklı ölçekleme faktörü (1, 2, 3) lazer gücü (40 W ve 50 W) ve tarama hızı (500 mm/s ve 750 mm/s) parametrelerinde gerçekleştirilmiştir. Katı partikül erozyon testleri. ASTM G76 standardına uygun olarak garnet aşındırıcı kullanılarak 2 bar püskürtme basıncında. 30° ve 90° çarpma açılarında gerçekleştirilmiştir. Nozul-numune mesafesi 20 mm ve test süresi 20 saniye olarak belirlenmiştir. Deney sonuçları lazerle dokulandırılmış yüzeylerin özellikle 30° çarpma açısında işlenmemiş referans numuneye kıyasla önemli ölçüde düşük kütle kaybı sergilediğini göstermiştir. Ölçekleme faktörünün artmasıyla birlikte erozyon direncinin değişkenlik gösterdiği tespit edilmiştir. Sonuçlar fiber lazerle yüzey dokulandırmanın AA6061-T6 alaşımının erozyon direncini iyileştirmede etkili bir yöntem olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: AA6061-T6 alüminyum alaşımı, fiber lazer yüzey dokulandırma, katı partikül erozyonu, aşınma davranışı, ölçekleme faktörü

INVESTIGATION OF SOLID PARTICLE EROSION BEHAVIOR OF FIBER LASER SURFACE TEXTURED AA6061-T6 ALUMINUM ALLOY

ABSTRACT

In this study. solid particle erosion behavior of AA6061-T6 aluminum alloy. widely used in the aerospace industry. was investigated after fiber laser surface texturing. Surface texturing operations were performed using a 100 W fiber laser system at different scale factors (1, 2, 3) laser powers (40 W and 50 W). and scanning speeds (500 mm/s and 750 mm/s). Solid particle erosion tests were conducted in accordance with ASTM G76 standard using garnet abrasive at 2 bar blasting pressure at impingement angles of 30° and 90°. The nozzle-to-sample standoff distance was 20 mm and the test duration was 20 seconds. The experimental results demonstrated that laser-textured surfaces exhibited significantly lower mass loss compared to the untreated reference specimen. particularly at the 30° impingement angle. The erosion resistance varied with increasing scale factor. The results revealed that fiber laser surface texturing is an effective method for improving the erosion resistance of the AA6061-T6 alloy.

Keywords: AA6061-T6 aluminum alloy, fiber laser surface texturing, solid particle erosion, wear behavior, scale factor

GİRİŞ

Alüminyum alaşımları düşük yoğunluk, yüksek mukavemet/ağırlık oranı ve iyi korozyon direnci gibi üstün mekanik özelliklerinden dolayı havacılık, otomotiv ve savunma sanayisi başta olmak üzere pek çok mühendislik alanında yaygın olarak kullanılmaktadır (You ve ark. 2024; Georgantzia ve ark. 2021). Bu alaşımlar arasında AA6061-T6. yüksek çekme mukavemeti, İyi işlenebilirlik ve kaynaklanabilirlik özellikleriyle öne çıkmakta olup havacılık sektöründe uçak gövde panelleri, kanat yapıları ve iniş takımı bileşenleri gibi kritik parçalarda tercih edilmektedir (Patil ve ark. 2023; Erturun ve Odabaş 2023). Ancak AA6061-T6 alaşımı özellikle katı partikül erozyonuna maruz kalan ortamlarda yüzey direnci yetersiz kalabilmekte ve önemli malzeme kayıplarına uğrayarak bileşenlerin kullanım ömürlerini olumsuz etkileyebilmekte (Acar ve ark. 2017).

Lazerle yüzey dokulandırma (laser surface texturing - LST), malzeme yüzeylerinde kontrollü mikro ve nano ölçekli dokular oluşturarak yüzey özelliklerini iyileştirmeye yönelik ileri bir yüzey mühendisliği tekniğidir (Zhang ve ark. 2025). Fiber lazer sistemleri; yüksek ışın kalitesi, hassas kontrol imkânı ve yüksek tekrarlanabilirlik gibi avantajlarıyla geleneksel yüzey işleme yöntemlerine göre üstün performans sunmaktadır (Yuan ve ark 2025. Lazerle oluşturulan yüzey dokuları, malzemelerin tribolojik özelliklerini önemli ölçüde değiştirebilmekte ve

aşınma, sürtünme ve korozyon direncini artırabilmektedir (Saklakoğlu ve ark. 2014; Man ve ark. 2007; Mondal ve ark. 2008).

Katı partikül erozyonu sert partiküllerin bir yüzeye belirli hız ve açıyla çarpması sonucu meydana gelen malzeme kaybı olarak tanımlanmaktadır (El Mansour ve ark. 2026). Havacılık uygulamalarında uçak bileşenlerinin çöl kumu, volkanik kül ve diğer havada asılı partiküllere maruz kalması katı partikül erozyonunu kritik bir sorun haline getirmektedir (Blake ve ark. 2018; Vázquez-Mondragón ve ark. 2026). Erozyon davranışını etkileyen başlıca faktörler arasında çarpma açısı, partikül hızı, aşındırıcı türü ve hedef malzemenin yüzey özellikleri yer almaktadır (Deng 2025). Acar ve ark. (2017) çalışmada. AA6061-T6 alüminyum alaşımının farklı çarpma açıları ve hızlarda erozyon davranışını inceleyerek düşük çarpma açılarında kesme kuvvetlerinin baskın olduğunu ve daha yüksek aşınma oranlarının elde edildiğini raporlamışlardır.

Literatürde lazerle yüzey modifikasyonunun alüminyum alaşımlarının mekanik ve tribolojik özellikleri üzerindeki etkisini inceleyen çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Saklakoglu ve ark. (2014) lazer şok prosesi ile AA6061-T6 alaşımının yüzeyinde meydana gelen modifikasyonları incelemiş ve lazer parametrelerinin yüzey dokusu özellikleri üzerinde kritik bir rol oynadığını belirlemiştir. Man ve ark. (2007). NiTi ile lazer yüzey alaşımlama yöntemiyle AA6061 alaşımının aşınma direncini iyileştirmiştir. Ancak fiber lazerle yüzey dokulandırma sonrası alüminyum alaşımlarının katı partikül erozyon davranışına yönelik çalışmalar oldukça sınırlıdır.

Bu çalışmada. AA6061-T6 alüminyum alaşımı yüzeylerinde fiber lazer ile farklı ölçekleme faktörü, lazer gücü ve tarama hızı parametrelerinde yüzey dokulandırma işlemleri gerçekleştirilmiş ve elde edilen yüzeylerin ASTM G76 standardına uygun katı partikül erozyon testleri ile aşınma davranışları değerlendirilmiştir. Erozyon testlerinde garnet aşındırıcı kullanılmış olup testler 2 bar püskürtme basıncında. 30° ve 90° çarpma açılarında gerçekleştirilmiştir.

MALZEME VE YÖNTEM

Malzeme

Deneysel çalışmalarda substrat malzeme olarak 4 mm kalınlığında AA6061-T6 alüminyum alaşımı levha kullanılmıştır. Levhalar Seykoç A.Ş. firmasından temin edilmiş olup. sanayi tipi lazer kesim cihazı ile 50 mm × 50 mm × 4 mm boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. AA6061-T6 alaşımı. yüksek mukavemet, iyi korozyon direnci ve üstün işlenebilirlik özellikleriyle havacılık sektöründe yaygın olarak tercih edilen bir yapısal malzemedir.

Fiber Lazerle Yüzey Dokulandırma

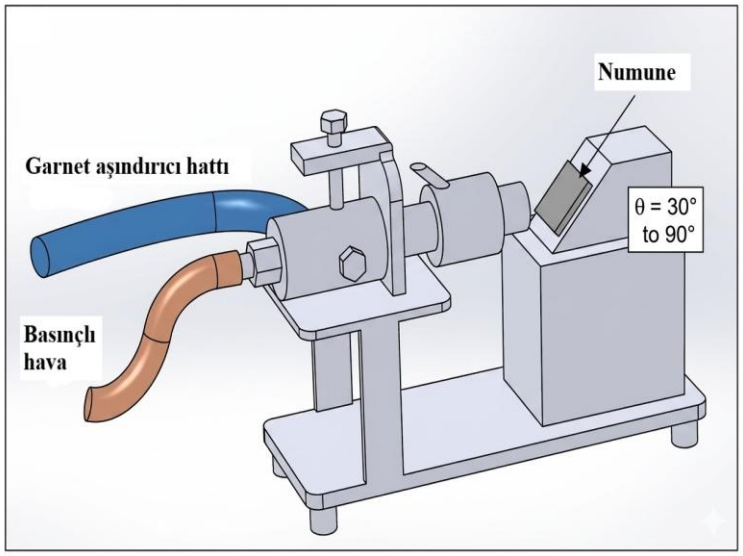
Yüzey dokulandırma işlemleri. Kocaeli Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi Aşınma Laboratuvarı bünyesinde bulunan 100 W gücüne sahip fiber lazer sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneysel tasarımda üç ana faktör ele alınmıştır: ölçekleme faktörü (scale factor). Lazer gücü ve tarama hızı. Ölçekleme faktörü 1. 2 ve 3 olmak üzere üç farklı seviyede; lazer gücü 40 W ve 50 W olmak üzere iki seviyede; tarama hızı ise 500 mm/s ve 750 mm/s olmak üzere iki seviyede belirlenmiştir. Bu parametrelerin kombinasyonuyla toplam 12 farklı lazer işleme koşulu oluşturulmuştur. Tablo 1'de birinci set deneylere ait lazer tarama parametreleri verilmiştir.

Tablo 1. Fiber lazer yüzey dokulandırma parametreleri

No	Ölçekleme Faktörü	Güç (W)	Hız (mm/s)	Numune Sayısı
1	1	40	500	2
2	1	40	750	2
3	1	50	500	2
4	1	50	750	2
5	2	40	500	2
6	2	40	750	2
7	2	50	500	2
8	2	50	750	2
9	3	40	500	2
10	3	40	750	2
11	3	50	500	2
12	3	50	750	2

Katı Partikül Erozyon Testleri

Katı partikül erozyon testleri. ASTM G76 standardına uygun olarak Kocaeli Üniversitesi Aşınma Laboratuvarı'nda bulunan özel olarak tasarlanmış erozyon test kabininde gerçekleştirilmiştir. Testlerde aşındırıcı olarak 80 mesh (180–400 µm) boyut aralığında garnet partikülleri kullanılmıştır. Sıkıştırılmış hava ile hızlandırılan aşındırıcı partiküller. 5 mm çapında bir nozul aracılığıyla numune yüzeyine yönlendirilmiştir. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 10'da verilmiştir. Düzenekte basınçlı hava hattı ve garnet aşındırıcı hattı karışma odasında birleşerek nozuldan numune yüzeyine yönlendirilmektedir. Numune tutucu. çarpma açısının (θ) 30° ile 90° arasında ayarlanmasına olanak sağlamaktadır.



Şekil 10. Katı partikül erozyon test düzeneğinin şematik görünümü

Erozyon test parametreleri Tablo 2'de özetlenmiştir.

Tablo 2. Katı partikül erozyon test parametreleri

Parametre	Değer
Aşındırıcı malzeme	Garnet (80 mesh. 180–400 μm)
Püskürtme basıncı	2 bar
Çarpma açıları	30°. 90°
Nozul çapı	5 mm
Nozul-numune mesafesi (standoff)	20 mm
Test süresi	20 s
Kütle akış hızı	22.5 g/s
Çarpma hızı	58 m/s
Standart	ASTM G76

Erozyon testleri öncesinde ve sırasında numuneler. 0.1 mg hassasiyetinde yüksek hassasiyetli bir terazi (Shimadzu ATX-224. Kyoto. Japonya) ile tartılmıştır. Erozyon oranı. hedef malzemenin test sırasındaki kütle kaybının (Δm) deneyde kullanılan toplam aşındırıcı garnet partikül kütlesine (M) bölünmesiyle hesaplanmıştır. Erozyon oranı hesabı Denklem (1)'de ifade edilmiştir.

$$Erozyon\ Oranı = \Delta m / M \quad (1)$$

Burada Δm. hedef malzemenin kütle kaybını (g); M ise test süresi boyunca kullanılan toplam aşındırıcı partikül kütlesini (g) temsil etmektedir. Garnet aşındırıcı akışı 22.5 g/s kütle akış hızında ve 58 m/s çarpma hızında çalıştırılmıştır. 20 saniye test süresi boyunca toplam kullanılan aşındırıcı kütlesi M = 22.5 × 20 = 450 g olarak hesaplanmıştır. Lazerle işlenmiş 12

farklı parametre kombinasyonundaki numuneler ile işlenmemiş referans numuneler. hem 30° hem de 90° çarpma açılarında teste tabi tutulmuştur.

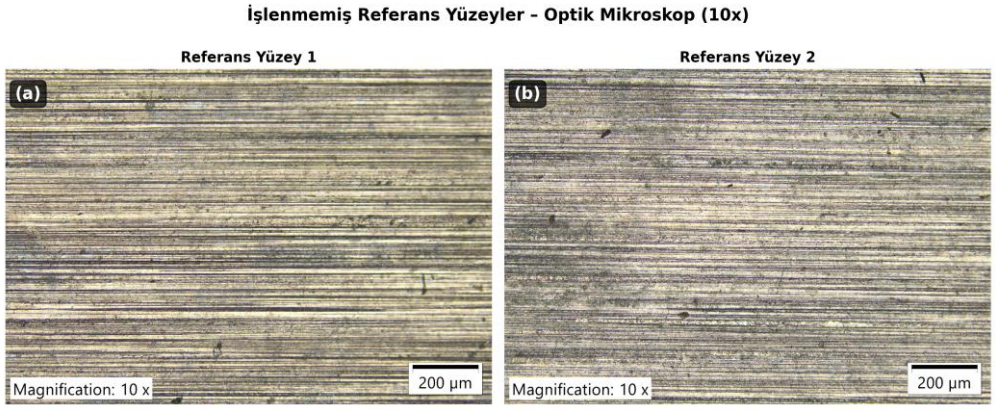
Yüzey Karakterizasyonu

Lazer dokulandırma işlemleri öncesi ve sonrası yüzey morfolojileri Evident-Olympus BX 53 MRF model optik mikroskop ile görüntülenmiştir. Yüzey pürüzlülük analizleri Nanovea PS50 Mark 3D optik profilometre cihazı kullanılarak gerçekleştirilmiş ve Mountain Software programı ile üç boyutlu yüzey topografyaları oluşturulmuştur. Her bir yüzeyden 3 tekrarlı ölçüm alınarak ortalama çizgisel (Ra) ve alansal (Sa) yüzey pürüzlülük değerleri belirlenmiştir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Lazerle Dokulandırılmış Yüzeylerin Morfolojik Analizi

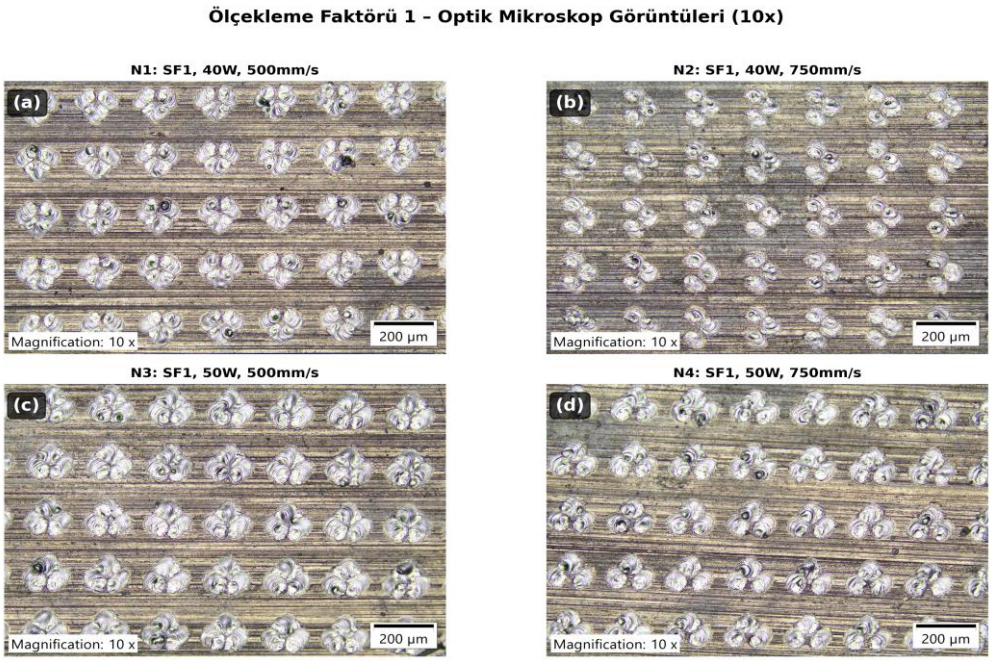
Fiber lazerle yüzey dokulandırma işlemleri öncesinde. AA6061-T6 alüminyum alaşımının işlenmemiş referans yüzey morfolojisi optik mikroskop ile görüntülenmiştir. Şekil 1'de referans yüzeylerin optik mikroskop görüntüleri sunulmuştur.



Şekil 1. İşlenmemiş AA6061-T6 referans yüzeylerin optik mikroskop görüntüleri (10x)

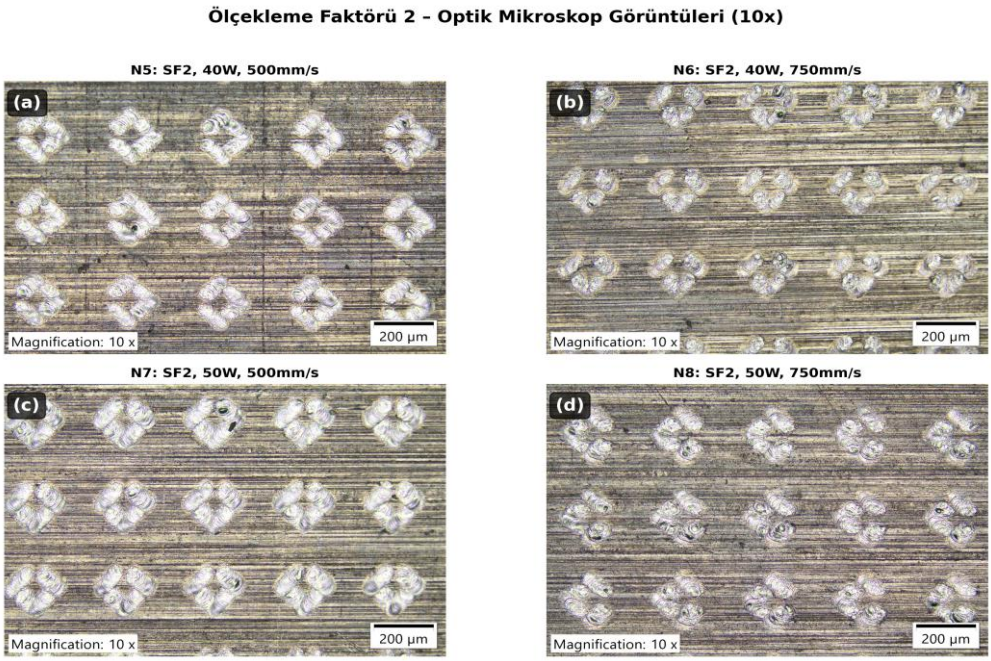
Şekil 1'de görüldüğü üzere. işlenmemiş referans yüzeyler karakteristik haddeleme çizgileri ve homojen bir yüzey topografyası sergilemektedir. Yüzeyde herhangi bir lazer etkileşim izi ergime havuzu veya yeniden katılaşma bölgesi bulunmamaktadır. Bu düz ve dokusuz yüzey yapısı aşındırıcı partiküllerin yüzeyde serbestçe kaymasına olanak tanımakta ve özellikle düşük çarpma açılarında teğetsel kesme mekanizmasının etkin bir şekilde işlemesine zemin hazırlamaktadır.

Farklı ölçekleme faktörü. lazer gücü ve tarama hızı parametrelerinde fiber lazerle işlenmiş numunelerin yüzey morfolojileri Şekil 2'de (ölçekleme faktörü 1). Şekil 3'te (ölçekleme faktörü 2) ve Şekil 5'te (ölçekleme faktörü 3) sunulmuştur.



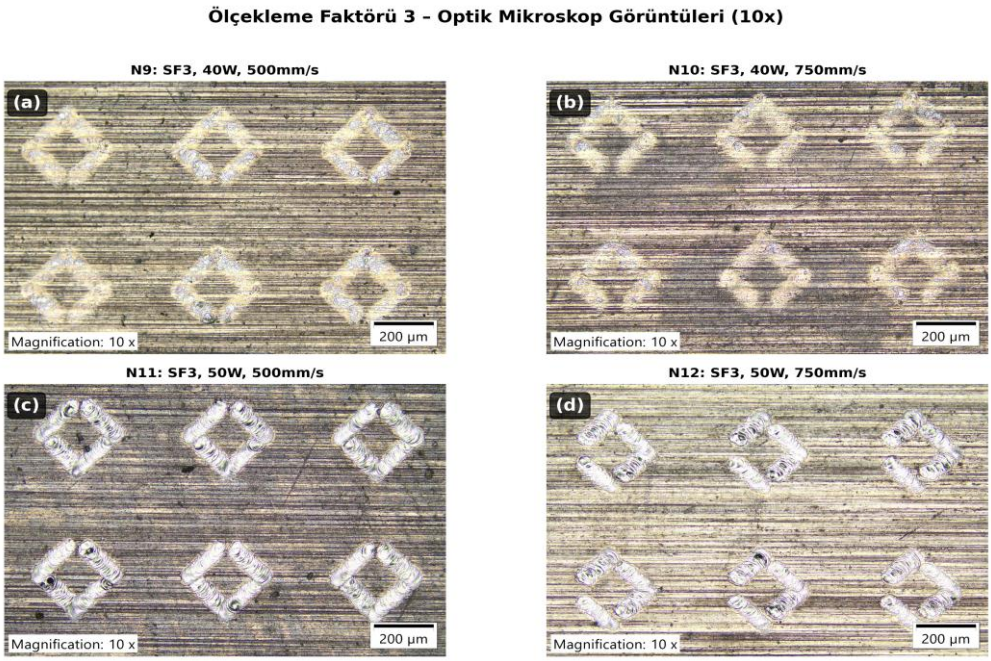
Şekil 2. Ölçekleme faktörü 1 koşulunda lazerle dokulandırılmış yüzeylerin optik mikroskop görüntüleri (10x): (a) 40W–500 mm/s. (b) 40W–750 mm/s. (c) 50W–500 mm/s. (d) 50W–750 mm/s

Şekil 2 incelendiğinde. SF1 koşulunda lazer doku elemanlarının birbirine oldukça yakın konumlandığı ve yüzeyde yoğun bir doku deseni oluşturulduğu görülmektedir. Doku elemanları genellikle üçlü veya dörtlü küme yapıları şeklinde organize olmuş olup. her bir kümenin merkezinde belirgin ergimiş havuz bölgeleri ve çevresinde yeniden katılaşma dalgaları (ripple) gözlemlenmektedir. Şekil 4(a)'da (40W–500 mm/s) en yoğun doku deseni elde edilmiş olup doku klüsterlerinin birbirleriyle temas edecek kadar yakın olduğu dikkat çekmektedir. Bu yoğun doku yapısı doku elemanları arasındaki işlenmemiş yüzey alanını minimize ederek aşındırıcı partiküllerin serbest kayma mesafesini kısaltmaktadır. Şekil 4(b)'de (40W–750 mm/s) tarama hızının artmasıyla birlikte doku elemanlarının boyutunun küçüldüğü ve kümeler arasındaki mesafenin arttığı görülmektedir. Yüksek tarama hızında birim alan başına düşen enerji yoğunluğunun azalması daha sığ ve küçük doku izleri oluşturmuştur. Şekil 4(c) ve (d)'de ise 50 W güçte lazer etkileşim bölgelerinin genellikle daha büyük ve daha belirgin olduğu ancak tarama hızının artmasıyla benzer bir incelme eğilimi gösterdiği görülmektedir.



Şekil 3. Ölçekleme faktörü 2 koşulunda lazerle dokulandırılmış yüzeylerin optik mikroskop görüntüleri (10x): (a) 40W–500 mm/s. (b) 40W–750 mm/s. (c) 50W–500 mm/s. (d) 50W–750 mm/s

Şekil 3'de SF2 koşuluna ait yüzey morfolojileri gösterilmektedir. SF1'e kıyasla doku elemanları arasındaki mesafenin belirgin şekilde arttığı ve yüzeyde daha geniş işlenmemiş alanların bulunduğu görülmektedir. Doku kümeleri hala üçlü-dörtlü gruplar halinde organize olmakla birlikte satır aralarındaki boşluklar artmıştır. Şekil 4(a)'da (40W–500 mm/s) doku elemanları belirgin ve düzenli bir dağılım sergilemekte iken. Şekil 4(b)'de (40W–750 mm/s) hız artışıyla birlikte doku boyutlarının küçüldüğü görülmektedir. Şekil 4(c) ve (d)'de 50 W güç parametresinin daha geniş etkileşim bölgeleri oluşturduğu ancak küme boyutlarının SF1'e göre daha küçük kaldığı tespit edilmiştir. SF2'deki orta düzey doku yoğunluğu. 90° çarpma açısında en iyi erozyon direnci sonuçlarını veren koşul olması açısından dikkat çekicidir. Bu durum dik çarpmada aşırı yoğun doku deseninin gerilim yoğunlaşmasına neden olabileceğini orta yoğunluklu bir desenin ise darbe enerjisini daha homojen dağıtabileceğini düşündürmektedir.



Şekil 4. Ölçekleme faktörü 3 koşulunda lazerle dokulandırılmış yüzeylerin optik mikroskop görüntüleri (10x): (a) 40W–500 mm/s. (b) 40W–750 mm/s. (c) 50W–500 mm/s. (d) 50W–750 mm/s

Şekil 4'te SF3 koşulundaki yüzey morfolojileri sunulmaktadır. Bu ölçekleme faktöründe doku deseni geometrisinde belirgin bir değişiklik gözlenmektedir. Doku elemanları. SF1 ve SF2'deki küme yapılarından farklı olarak baklava (eşkenar dörtgen) şeklinde bir desen oluşturmuştur. Doku çizgileri birbirine bağlanarak açık geometrik çerçeveler meydana getirmektedir. Şekil 4(a) ve (b)'de (40W) doku çizgileri nispeten sığ ve soluk görünmekte olup özellikle Şekil 4(b)'de yüksek tarama hızının etkisiyle doku izlerinin oldukça belirsizleştiği dikkat çekmektedir. Şekil 4(c) ve (d)'de ise 50 W lazer gücünün etkisiyle doku çizgileri çok daha keskin, derin ve belirgin bir şekilde oluşmuştur. Özellikle Şekil 4(c)'de (50W–500 mm/s) baklava deseni en net şekilde görülmekte olup. Doku çizgilerinin kenarlarında yoğun yeniden katılaşma dalgaları ve belirgin ergime havuz izleri mevcuttur.

Optik mikroskop görüntülerinin genel değerlendirmesi yapıldığında ölçekleme faktörünün artmasıyla birlikte doku deseni yoğunluğunun sistematik olarak azaldığı ve doku elemanları arasındaki işlenmemiş yüzey alanının genişlediği açıkça görülmektedir. Bu morfolojik farklılıklar erozyon test sonuçlarıyla doğrudan ilişkilendirilebilir niteliktedir: SF1'deki yoğun doku deseni 30° çarpma açısında en yüksek erozyon direncini sağlarken. SF3'teki seyrek doku deseni aşındırıcı partiküllerin işlenmemiş bölgelerden serbestçe kaymasına olanak tanıyarak erozyon direncini sınırlandırmıştır. Ayrıca lazer gücünün doku derinliği ve belirginliği

üzerindeki etkisi tarama hızının ise doku boyutu ve enerji yoğunluğu üzerindeki etkisi morfolojik görüntülerden açıkça takip edilebilmektedir.

30° Çarpma Açısında Erozyon Sonuçları

30° çarpma açısında gerçekleştirilen katı partikül erozyon testlerine ait kütle kaybı sonuçları Tablo 3'de verilmiştir. İşlenmemiş referans numunenin kütle kaybı 0.0606 g olarak ölçülmüş olup lazerle dokulandırılmış tüm numunelerin kütle kayıpları referans değerin altında kalmıştır.

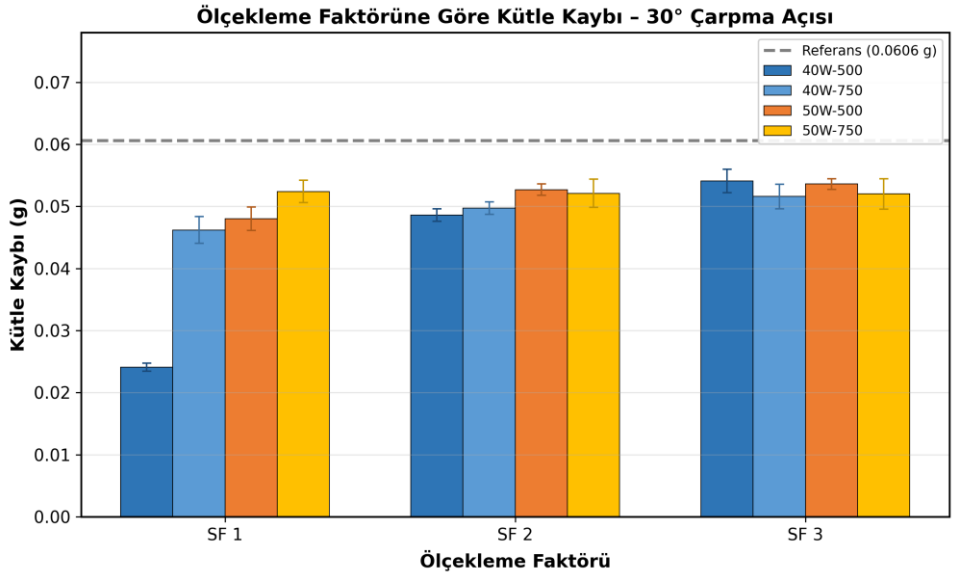
Tablo 3. 30° çarpma açısında erozyon test sonuçları

No	SF	Güç (W)	Hız (mm/s)	Başlangıç (g)	Test Sonrası (g)	Kütle Kaybı (g)	Erozyon Oranı (g/g)×10⁻⁵
1	1	40	500	18.0530	18.0289	0.0241	5.36
2	1	40	750	19.0550	19.0088	0.0462	10.27
3	1	50	500	22.7080	22.6600	0.0480	10.67
4	1	50	750	22.2260	22.1736	0.0524	11.64
5	2	40	500	19.6350	19.5864	0.0486	10.80
6	2	40	750	20.5510	20.5013	0.0497	11.04
7	2	50	500	22.4170	22.3643	0.0527	11.71
8	2	50	750	20.7500	20.6979	0.0521	11.58
9	3	40	500	19.0740	19.0199	0.0541	12.02
10	3	40	750	19.2650	19.2134	0.0516	11.47
11	3	50	500	19.1960	19.1424	0.0536	11.91
12	3	50	750	18.0230	17.9710	0.0520	11.56
Ref	-	-	-	19.0030	18.9424	0.0606	13.47

Tablo 3 incelendiğinde ölçekleme faktörü 1 değerinde en düşük kütle kaybının 40 W güç ve 500 mm/s hızda 0.0241 g olarak elde edildiği görülmektedir. Bu değer referans numuneye kıyasla yaklaşık %60.2 oranında bir erozyon direnci iyileşmesine karşılık gelmektedir. Ölçekleme faktörü arttıkça kütle kaybı değerlerinin genel olarak artma eğiliminde olduğu gözlemlenmektedir. Ölçekleme faktörü 2 ve 3 değerlerinde kütle kayıpları birbirine yakın değerler sergilemiştir (0.0486–0.0541g aralığında). Lazer gücü ve tarama hızının etkisi değerlendirildiğinde düşük ölçekleme faktörlerinde güç ve hız parametrelerinin erozyon davranışı üzerinde daha belirgin bir etkiye sahip olduğu görülmektedir.

30° çarpma açısında gözlenen yüksek erozyon oranları sünek malzemelerin karakteristik davranışı ile uyumludur. Sünek malzemelerde düşük açılarda partiküllerin yatay bileşen hızı baskın olmakta ve mikro-kesme (micro-cutting) ile mikro-sürme (micro-ploughing) mekanizmaları ön plana çıkmaktadır (Acar ve ark. 2017). Aşındırıcı partiküller düşük açılarda yüzeyi teğetsel olarak tararken malzeme yüzeyinden kayma yoluyla malzeme kaldırma işlemi

gerçekleştirmektedir. Lazerle oluşturulan yüzey dokuları bu teğetsel kuvvetlerin dağılımını değiştirerek ve partiküllerin yüzeyle temas geometrisini modifiye ederek erozyon direncini artırmaktadır. Özellikle SF1 koşulundaki yoğun doku deseni aşındırıcı partiküllerin yüzeydeki serbest kayma mesafesini kısaltarak mikro-kesme mekanizmasının etkinliğini azaltmıştır.



Şekil 5. Ölçekleme faktörüne göre kütle kaybı – 30° çarpma açısı

Şekil 5'de ölçekleme faktörü bazında gruplandırılmış kütle kaybı değerleri gösterilmektedir. SF1 grubunda. 40 W-500 mm/s koşulunda referansa göre en yüksek iyileşme sağlanmıştır. SF1 grubunda lazer gücü ve tarama hızının kütle kaybı üzerinde belirgin bir farklılık oluşturduğu görülmektedir; 40W–500 mm/s ile 50 W–750 mm/s arasında yaklaşık 2.2 kat fark bulunmaktadır. Bu durum düşük ölçekleme faktöründe doku geometrisinin parametrelere daha duyarlı olduğunu göstermektedir. SF2 ve SF3 gruplarında ise parametreler arasındaki farkın azaldığı ve kütle kaybı değerlerinin bir platoya ulaştığı dikkat çekmektedir.

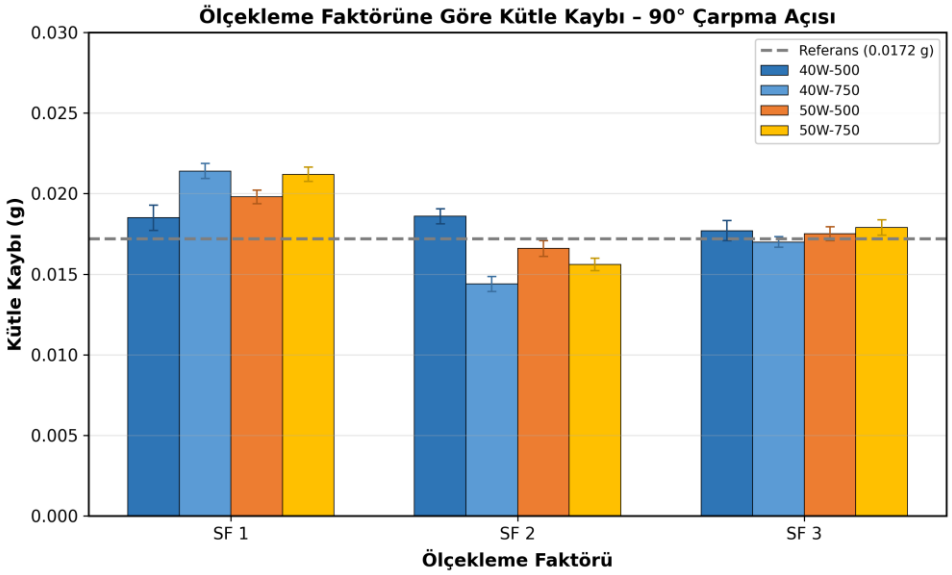
90° Çarpma Açısında Erozyon Sonuçları

90° çarpma açısında gerçekleştirilen erozyon testlerine ait sonuçlar Tablo 4'te sunulmuştur. Normal çarpma açısında referans numunenin kütle kaybı 0.0172 g olarak belirlenmiştir.

Tablo 4. 90° çarpma açısında erozyon test sonuçları

No	SF	Güç (W)	Hız (mm/s)	Başlangıç (g)	Test Sonrası (g)	Kütle Kaybı (g)	Erozyon Oranı (g/g)×10⁻⁵
13	1	40	500	21.9140	21.8955	0.0185	4.11
14	1	40	750	21.0030	20.9816	0.0214	4.76
15	1	50	500	23.8170	23.7972	0.0198	4.40
16	1	50	750	22.1260	22.1048	0.0212	4.71
17	2	40	500	19.8410	19.8224	0.0186	4.13
18	2	40	750	18.0750	18.0606	0.0144	3.20
19	2	50	500	19.5620	19.5454	0.0166	3.69
20	2	50	750	18.4770	18.4614	0.0156	3.47
21	3	40	500	20.4920	20.4743	0.0177	3.93
22	3	40	750	19.9870	19.9700	0.0170	3.78
23	3	50	500	20.1940	20.1765	0.0175	3.89
24	3	50	750	19.0050	18.9871	0.0179	3.98
Ref	-	-	-	18.5260	18.5088	0.0172	3.82

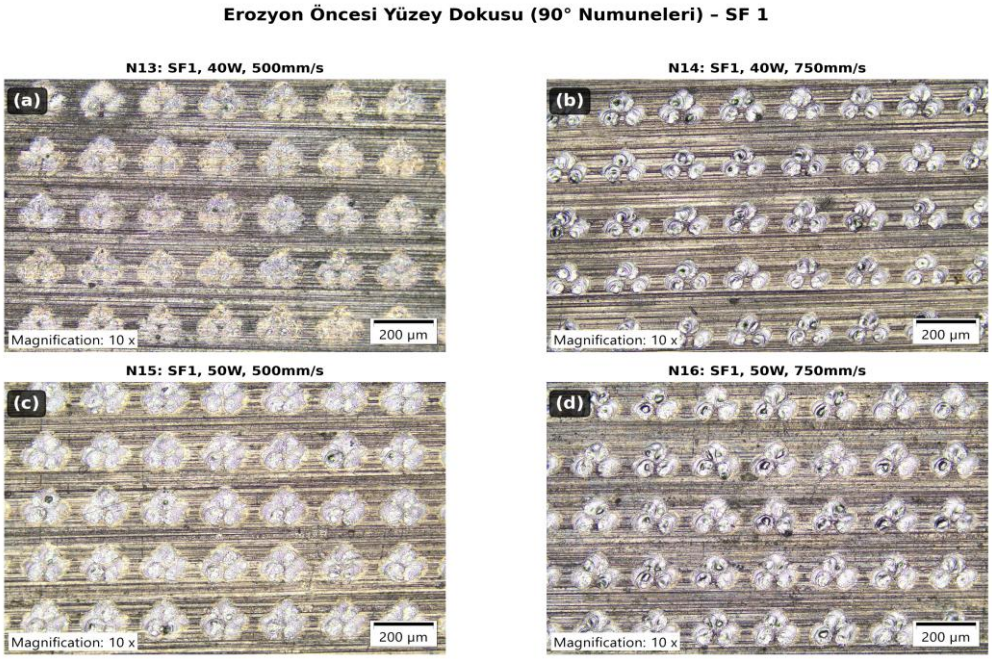
90° çarpma açısında. tüm numunelerdeki kütle kayıpları 30°'ye kıyasla önemli ölçüde düşük değerler göstermiştir. Bu durum. AA6061-T6'nın sünek bir malzeme olmasıyla tutarlıdır; sünek malzemelerde maksimum erozyon genellikle düşük çarpma açılarında (15°–45°) gözlemlenir (Acar ve ark. 2017). 90° çarpma açısında lazerle işlenmiş numunelerin bir kısmı referans numuneye yakın veya biraz üzerinde kütle kaybı sergilemiştir. Özellikle ölçekleme faktörü 1 koşulundaki numunelerde kütle kayıpları (0.0185–0.0214 g) referans değerin biraz üzerinde kalmaktadır. Bu durum. SF1'de oluşturulan dar ve derin doku çukurlarının 90° dik çarpmada gerilim yoğunlaşma bölgesi olarak davranarak lokal hasarlanmayı teşvik ettiğini düşündürmektedir. Ölçekleme faktörü 2 koşulunda ise 40 W–750 mm/s parametrelerinde en düşük kütle kaybı 0.0144 g olarak ölçülmüş olup. bu değer referans numuneye göre %16.3 oranında bir iyileşmeye karşılık gelmektedir.



Şekil 6. Ölçekleme faktörüne göre kütle kaybı – 90° çarpma açısı

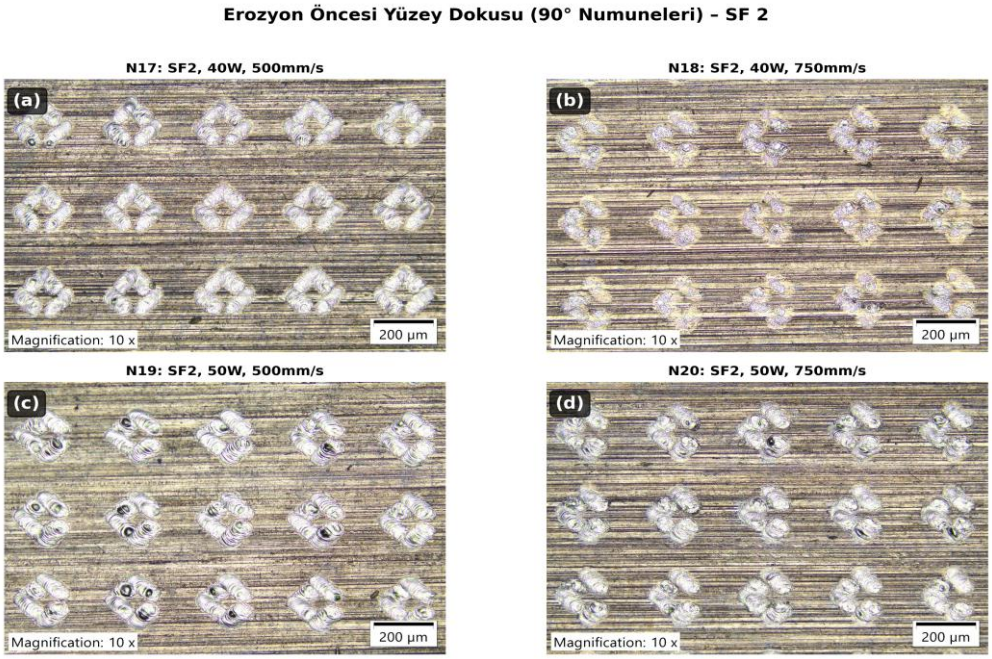
Şekil 6'de 90° çarpma açısındaki ölçekleme faktörü bazında gruplandırılmış sonuçlar gösterilmektedir. SF2 grubunda tüm parametre kombinasyonlarında referans değerin altında kütle kayıpları elde edilmiştir. 90° çarpma açısında partiküller yüzeye dik olarak çarpmakta ve deformasyon-ekstrüzyon (forging-extrusion) mekanizmaları baskın hale gelmektedir. Bu koşulda partiküllerin kinetik enerjisinin büyük kısmı plastik deformasyon olarak absorbe edilmektedir. SF2 koşulundaki orta yoğunluktaki doku deseni normal yöndeki darbe enerjisini daha etkin dağıtarak ve çarpma bölgesindeki gerilim konsantrasyonunu azaltarak erozyon direncini iyileştirmiştir. SF3 grubunda ise daha geniş aralıklı doku deseni darbe enerjisi dağılımında nispeten daha homojen bir etki sunarak referansa yakın ancak biraz yüksek değerler üretmiştir.

90° çarpma açısında teste tabi tutulan numunelerin erozyon öncesi lazer doku morfolojileri de optik mikroskop ile görüntülenmiştir. Şekil 7. 8 ve 9'da sırasıyla SF1. SF2 ve SF3 koşullarındaki 90° test numunelerinin erozyon öncesi yüzey doku görüntüleri sunulmuştur.



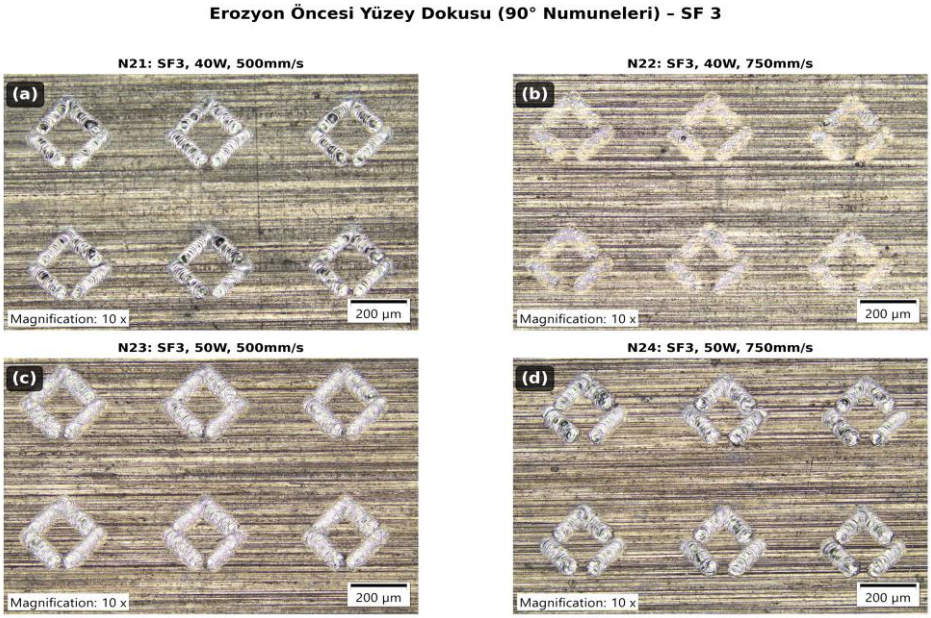
Şekil 7. 90° test numunelerinin erozyon öncesi yüzey dokusu – SF1 (10x): (a) 40W–500. (b) 40W–750. (c) 50W–500. (d) 50W–750 mm/s

Şekil 7'de SF1 koşulundaki 90° test numunelerinin erozyon öncesi yüzey dokuları görülmektedir. Şekil 7(a)'da (40W–500 mm/s) doku elemanlarının erozyon etkisiyle mat bir görünüm aldığı birinci set numunelerine (30°) benzer şekilde yoğun küme yapılarının oluştuğu görülmektedir. Şekil 7(b)'de ise doku elemanları daha küçük ve belirgin olup satır düzeni net bir şekilde korunmuştur. Şekil 7(c)'de 50W gücün etkisiyle daha geniş ve yoğun etkileşim bölgeleri görülmekte. Şekil 7(d)'de ise doku klüsterlerinin 30° setine kıyasla daha kompakt ve düzenli bir yapı sergilediği dikkat çekmektedir. Her iki set numunelerinin benzer doku morfolojisi sergilemesi lazer işleme sürecinin tekrarlanabilirliğini doğrulamaktadır.



Şekil 8. 90° test numunelerinin erozyon öncesi yüzey dokusu – SF2 (10x): (a) 40W–500. (b) 40W–750. (c) 50W–500. (d) 50W–750 mm/s

Şekil 8'de SF2 koşulundaki 90° numunelerinin erozyon öncesi doku görüntüleri sunulmaktadır. Şekil 8(a)'da (40W–500 mm/s) orta yoğunlukta baklava benzeri doku desenleri görülmekte. Şekil 8(b)'de (40W–750 mm/s) doku boyutlarının küçülmesiyle birlikte seyrek bir dağılım sergilenmektedir. Şekil 8(c)'de 50W gücünde keskin ve belirgin baklava/dörtgen desenleri oluşmuş. Şekil 8(d)'de ise doku elemanları daha küçük ve sık aralıklı bir yapı göstermektedir. SF2'nin 90° erozyon testinde en iyi performansı gösteren grup olması. bu orta yoğunluktaki doku deseninin dik çarpmada darbe enerjisini homojen dağıtma kapasitesiyle ilişkilendirilebilmektedir.

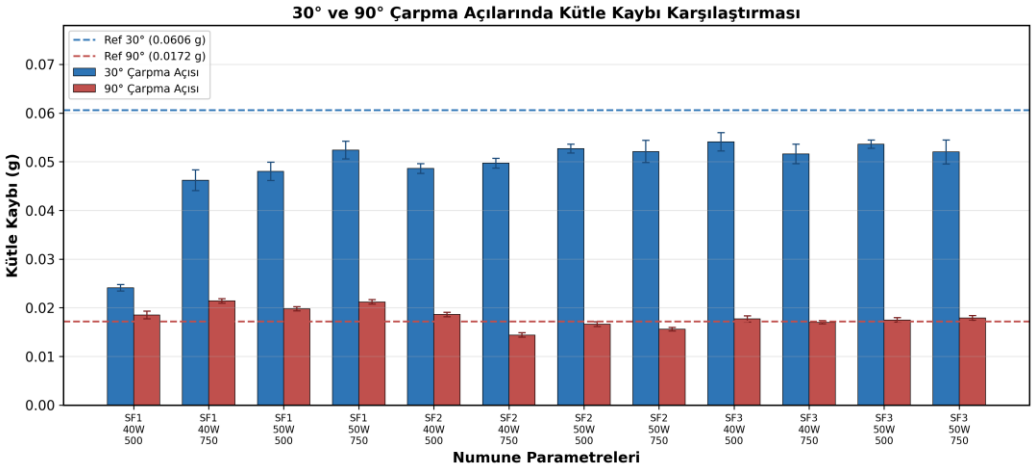


Şekil 9. 90° test numunelerinin erozyon öncesi yüzey dokusu – SF3 (10x): (a) 40W–500. (b) 40W–750. (c) 50W–500. (d) 50W–750 mm/s

Şekil 9'da SF3 koşulundaki 90° numunelerinin erozyon öncesi doku görüntüleri gösterilmektedir. Şekil 9(a) ve (b)'de (40W) seyrek ve sığ doku izleri gözlenirken. Şekil 9(c) ve (d)'de (50W) keskin ve derin eşkenar dörtgen/baklava desenleri net bir şekilde oluşmuştur. 30° setindeki SF3 numuneleriyle benzer morfolojik özellikler sergilemesi doku geometrisinin tekrarlanabilirliğini teyit etmektedir. Genel değerlendirme yapıldığında tüm ölçekleme faktörlerinde 30° ve 90° numunelerinin erozyon öncesi benzer doku morfolojilerine sahip olduğu. dolayısıyla erozyon sonuçlarındaki farklılıkların tamamen çarpma açısı ve erozyon mekanizmalarından kaynaklandığı doğrulanmıştır.

Çarpma Açısının Karşılaştırmalı Etkisi

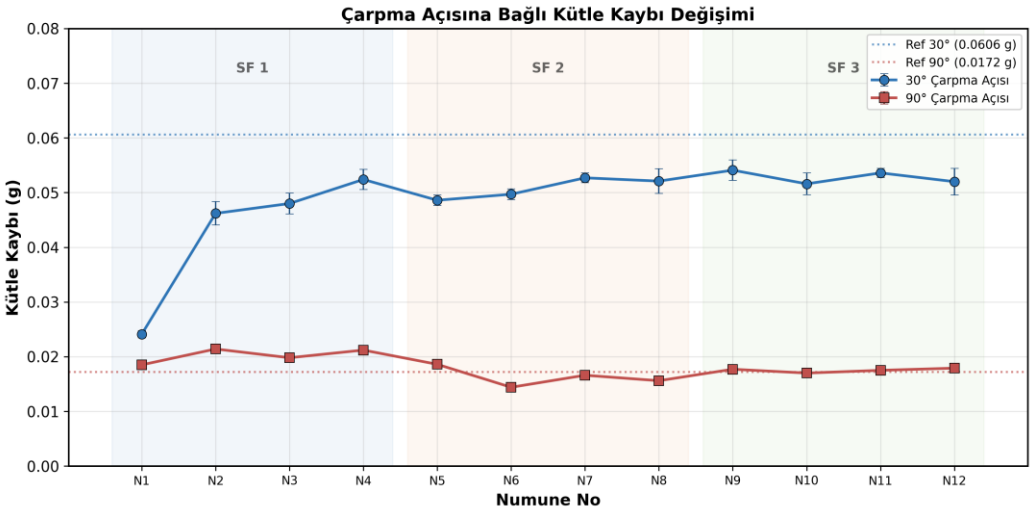
Çarpma açısının erozyon davranışı üzerindeki etkisini daha net ortaya koymak amacıyla tüm numunelerin her iki açıdaki kütle kayıpları karşılaştırmalı olarak Şekil 7'te sunulmuştur.



Şekil 7. 30° ve 90° çarpma açılarında tüm numunelerin kütle kaybı karşılaştırması

Şekil 7'te görüldüğü üzere tüm numunelerde 30° çarpma açısında ölçülen kütle kayıpları 90°'ye göre sistematik olarak daha yüksektir. Ortalama kütle kaybı 30°'de 0.0488 g iken 90°'de 0.0179 g olarak hesaplanmış olup. bu değerler arasındaki oran yaklaşık 2.73'tür. Bu sonuç. AA6061-T6 alaşımının Finnie'nin erozyon teorisi ile öngörülen tipik sünek malzeme erozyon davranışı sergilediğini açıkça doğrulamaktadır. Sünek malzemelerde maksimum erozyon 15°–45° aralığında meydana gelirken gevrek malzemelerde 90°'ye yakın açılarda gözlemlenmektedir (Acar ve ark. 2017).

30° çarpma açısında garnet partiküllerinin yüzeye düşük açıyla çarpması. teğetsel hız bileşeninin baskın olmasına neden olmaktadır. Bu koşulda. aşındırıcı partiküller yüzey boyunca kayarak mikro-kesme mikro-sürme ve malzeme döndürme (lip formation) gibi hasar mekanizmalarını etkinleştirmektedir. Partikülün yatay kinetik enerjisi yüzeyden malzeme kaldırma işleminde doğrudan harcanmaktadır. 90° çarpma açısında ise tüm kinetik enerjisi normal yönde yüzeye transfer edilmekte ve bu enerji ağırlıklı olarak plastik deformasyon yoluyla absorbe edilmektedir. Tekrarlı çarpmalar sonucunda iş sertleşmesi meydana gelmekte ancak kritik deformasyon seviyesine ulaşıldığında yüzeyden malzeme koparılması gerçekleşmektedir. Lazerle oluşturulan yüzey dokuları özellikle 30°'de etkili olan teğetsel kayma mekanizmasını engellemede daha başarılı olmuştur.



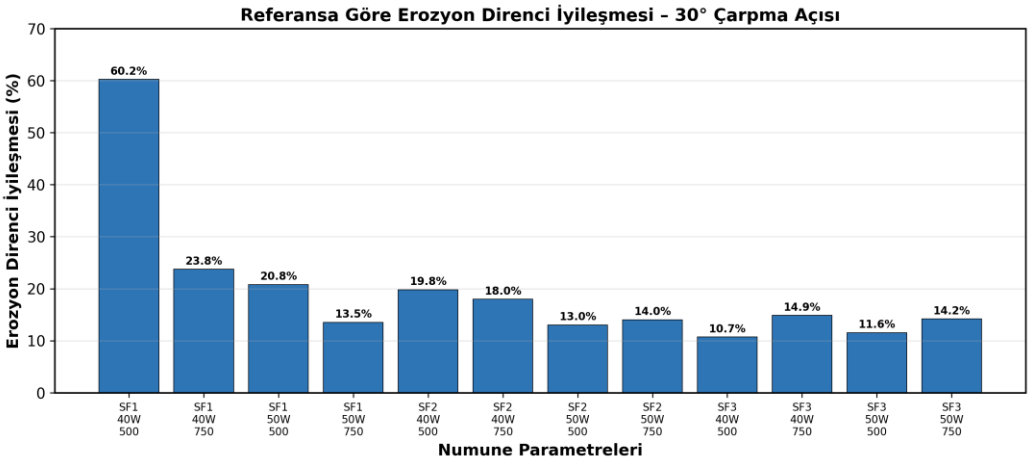
Şekil 8. Çarpma açısına bağlı kütle kaybı değişimi ve ölçekleme faktörü bölgeleri

Şekil 8'te her iki çarpma açısındaki kütle kaybı değerlerinin numune bazında değişimi ölçekleme faktörü bölgeleriyle birlikte gösterilmektedir. 30° eğrisinde SF1'den SF3'e doğru kütle kaybı değerlerinin belirgin şekilde yükselerek bir platoya ulaştığı görülmektedir. Bu eğilim düşük ölçekleme faktöründeki yoğun doku deseninin teğetsel kayma mekanizmasını etkin şekilde kısıtladığını ancak ölçekleme faktörü arttıkça doku aralıklarının genişleyerek bu

koruyucu etkinin zayıfladığını ortaya koymaktadır. 90° eğrisi ise tüm ölçekleme faktörlerinde nispeten stabil bir seyir izlemekte olup referans çizgiyle örtüşen bir bant içinde sallanmaktadır. Bu durum normal çarpmada doku geometrisinin erozyon direnci üzerindeki etkisinin daha sınırlı olduğunu teyit etmektedir.

Referansa Göre Erozyon Direnci İyileşmesi

Lazerle dokulandırılmış yüzeylerin erozyon direncindeki iyileşmeyi nicel olarak değerlendirmek amacıyla her bir numunenin referans numuneye göre yüzdesel iyileşme oranları hesaplanmış ve Şekil 15'te gösterilmiştir.



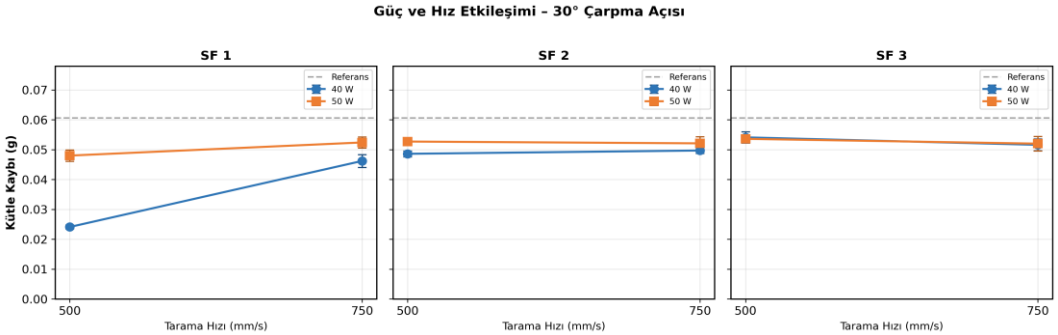
Şekil 15. Referansa göre erozyon direnci iyileşmesi – 30° çarpma açısı

Şekil 15'te 30° çarpma açısında tüm lazerle işlenmiş numunelerin referansa göre pozitif iyileşme gösterdiği açıkça görülmektedir. İyileşme oranları %10.7 ile %60.2 arasında değişmektedir. En yüksek iyileşme (%60.2) SF1–40W–500 mm/s koşulunda elde edilmiştir. Bu koşulda düşük lazer güCü ve düşük tarama hızının kombinasyonu. birim alan başına yüksek enerji yoğunluğu (fluence) sağlayarak derin ve belirgin doku çizgileri oluşturmuştur. Yoğun doku deseni (SF1) aşındırıcı partikülleri yönlendirerek ve çarpma enerjisini fraksiyonel olarak absorbe ederek erozyon direncini önemli ölçüde artırmıştır. SF2 ve SF3 gruplarındaki iyileşme oranlarının birbirine yakın olması (%10.7–%19.8 aralığı) ölçekleme faktörü 2'den itibaren doku aralığının artmasıyla koruyucu etkinin bir doyuma ulaştığına işaret etmektedir.

Ölçekleme Faktörü ve Lazer Parametre Etkileşimi

Ölçekleme faktörü lazerle oluşturulan doku deseninin yoğunluğunu ve tekrar periyodunu belirleyen temel bir parametredir. Düşük ölçekleme faktörlerinde (SF1) doku çizgileri birbirine daha yakın konumlanmakta ve yüzeyde daha yoğun bir mikro-topografya oluşmaktadır. Yüksek ölçekleme faktörlerinde (SF3) ise doku çizgileri arasındaki mesafe artmakta ve yüzeyde düşük yoğunluklu bir doku deseni meydana gelmektedir. Lazer gücü ve tarama hızının

ölçekleme faktörüyle etkileşimi Şekil 16'da her bir ölçekleme faktörü için ayrı ayrı gösterilmiştir.



Şekil 16. Güç ve tarama hızı etkileşimi – 30° çarpma açısı (ölçekleme faktörü bazında)

Şekil 16'da. SF1 koşulunda 40 W ve 50 W lazer güçleri arasında belirgin bir fark gözlemlenmektedir. 40 W güçte tarama hızının 500'den 750 mm/s'ye artması kütle kaybını yaklaşık iki katına çıkarmıştır (0.0241'den 0.0462 g'a). Bu durum düşük güçte yüksek tarama hızının birim alan başına düşen enerji yoğunluğunu (lazer fluence) azaltarak doku derinliğini ve geometrisini olumsuz etkilediğini göstermektedir. Daha sığ ve belirsiz doku çizgileri aşındırıcı partiküllerin teğetsel hareketini kısıtlamada yetersiz kalmaktadır.

SF2 ve SF3 koşullarında güç ve hızın kütle kaybı üzerindeki etkisi belirgin şekilde azalmakta ve eğriler birbirine yaklaşmaktadır. Bu gözlem geniş ölçekleme faktörlerinde doku çizgileri arasındaki mesafenin artmasıyla doku geometrisinin erozyon davranışı üzerindeki etkisinin zayıfladığını ve erozyonun büyük ölçüde dokusuz bölgelerden kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Tüm ölçekleme faktörlerinde referans değerin altında kalınması lazer dokulandırmanın genel olarak erozyon direncini iyileştirdiğini; ancak optimal parametre seçiminin ölçekleme faktörüne bağlı olarak farklılaştığını göstermektedir. Düşük ölçekleme faktörlerinde (SF1) düşük güç–düşük hız kombinasyonu en etkili iken yüksek ölçekleme faktörlerinde parametre seçiminin önemi azalmaktadır.

Elde edilen tüm bulgular birlikte değerlendirildiğinde fiber lazerle yüzey dokulandırmanın AA6061-T6 alaşımının katı partikül erozyon direncini iyileştirmede özellikle düşük çarpma açılarında etkili bir yöntem olduğu sonucuna varılmaktadır. Erozyon direnci iyileştirmesinin ölçekleme faktörü lazer gücü hızı ve çarpma açısının karmaşık bir etkileşiminin sonucu olduğu ve bu parametrelerin optimizasyonunun uygulama koşullarına göre yapılması gerektiği belirlenmiştir.

SONUÇLAR

Bu çalışmada. AA6061-T6 alüminyum alaşımına fiber lazer ile farklı parametrelerde yüzey dokulandırma işlemi uygulanmış ve katı partikül erozyon testleri ile aşınma davranışları incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

Fiber lazerle yüzey dokulandırma, AA6061-T6 alaşımının katı partikül erozyon direncini özellikle 30° çarpma açısında önemli ölçüde iyileştirmiştir. En yüksek erozyon direnci iyileşmesi (%60.2) ölçekleme faktörü 1. 40 W lazer gücü ve 500 mm/s tarama hızı parametrelerinde elde edilmiştir.

30° çarpma açısında tüm lazerle işlenmiş numuneler işlenmemiş referans numuneye göre daha düşük kütle kaybı sergilemiştir. 90° çarpma açısında ise lazer dokulandırmanın erozyon direnci üzerindeki etkisi daha sınırlı olmakla birlikte belirli parametre kombinasyonlarında anlamlı iyileşmeler gözlemlenmiştir.

Ölçekleme faktörü erozyon davranışı üzerinde belirleyici bir rol oynamakta olup düşük ölçekleme faktörlerinde daha yoğun doku deseni aşındırıcı partiküllerin kinetik enerjisini daha etkin absorbe etmiştir. AA6061-T6 alaşımı beklendiği gibi tipik sünek malzeme erozyon davranışı sergilemiş ve 30° çarpma açısında 90°'ye kıyasla 2–3 kat daha yüksek kütle kaybı gözlemlenmiştir.

Gelecek çalışmalarda farklı lazer doku desenlerinin erozyon mekanizmaları üzerindeki etkisinin detaylı yüzey karakterizasyonu ile birlikte incelenmesi ve geleneksel yüzey işleme yöntemleri (kumlama, yağ giderme) ile karşılaştırılması planlanmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 2209-A Üniversite Öğrenci Araştırma Projeleri Destek Programı (TÜBİTAK PROJE NO: 1919B012404905) kapsamında desteklenmiştir. Yazarlar, Kocaeli Üniversitesi Havacılık ve Uzay Bilimleri Fakültesi Aşınma Laboratuvarı olanaklarından yararlandıkları için minnettar olduklarını belirtirler.

KAYNAKÇA

Acar, D., Meriç, D., Budur, A. İ., Gümrük, R., Sofuoğlu, H., Gedikli, H., & Cora, Ö. N. (2017). Experimental investigations on particle erosion behavior of AA 6061 alloy. In Proceedings of the 9th Ankara International Aerospace Conference (Paper No. AIAC-2017-147, pp. 20–22).

Blake, D. M., Wilson, T. M., & Stewart, C. (2018). Visibility in airborne volcanic ash: Considerations for surface transportation using a laboratory-based method. Natural Hazards, 92(1), 381–413. https://doi.org/10.1007/s11069-018-3205-3

Deng, T. (2025). Erosive wear mechanisms of materials—A review of understanding and progresses. Materials, 18(7), 1615. https://doi.org/10.3390/ma18071615

El Mansour, J., Hendrick, P., Hajjaji, A., & Belhora, F. (2026). A study of abrasive solid particles erosion for a centrifugal pump operated as a pump and as a turbine using computational fluid dynamics. Processes, 14(4), 707. https://doi.org/10.3390/pr14040707
Erturun, V., & Odabaş, D. (2023). Investigation of microstructure of fretting wear behavior in 6061-T6 aluminum alloy. Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal, 95(8), 1194–1200. https://doi.org/10.1108/AEAT-11-2022-0299
Georgantzia, E., Gkantou, M., & Kamaris, G. S. (2021). Aluminium alloys as structural material: A review of research. Engineering Structures, 227, 111372. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2020.111372
Man, H. C., Zhang, S., Cheng, F. T. (2007). Improving the wear resistance of AA 6061 by laser surface alloying with NiTi. Materials Letters, 61(19–20), 4058–4061. https://doi.org/10.1016/j.matlet.2007.01.016
Mondal, A. K., Kumar, S., Blawert, C., & Dahotre, N. B. (2008). Effect of laser surface treatment on corrosion and wear resistance of ACM720 Mg alloy. Surface and Coatings Technology, 202(14), 3187–3198. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2007.11.030
Patil, S., Nagamadhu, M., & Malyadri, T. (2023). A critical review on microstructure and hardness of aluminum alloy 6061 joints obtained by friction stir welding–Past, present, and its prospects. Materials Today: Proceedings, 82, 75–78. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.362
Saklakoğlu, N., Irizalp, S. G., Akman, E., Demir, A. (2014). Near surface modification of aluminum alloy induced by laser shock processing. Optics & Laser Technology, 64, 235–241.
Vázquez-Mondragón, S. E., Vite-Torres, M., Sedano-de la Rosa, C., & Gallardo-Hernández, E. A. (2026). Solid particle erosion of aluminium alloy of aircraft fuselage skin. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology. https://doi.org/10.1177/13506501261463644
You, X., Xing, Z., Jiang, S., Zhu, Y., Lin, Y., Qiu, H., Nie, R., Yang, J., Hui, D., Chen, W., & Chen, Y. (2024). A review of research on aluminum alloy materials in structural engineering. Developments in the Built Environment, 17, 100319. https://doi.org/10.1016/j.dibe.2023.100319
Yuan, Y., Louhichi, B., Heidarshenas, B., Alrasheedi, N. H., Bal, B., Hussain, G. (2025). Functional surfaces of the future: Integrating texturing and coatings for superior performance. Materials Today Chemistry, 48, 103017. https://doi.org/10.1016/j.mtchem.2025.103017
Zhang, X., Zhou, L., Feng, G., et al. (2025). Laser technologies in manufacturing functional materials and applications of machine learning-assisted design and fabrication. Advanced Composites and Hybrid Materials, 8, 76. https://doi.org/10.1007/s42114-024-01154-4

THE SCIENTIFIC DISCUSSION OF KEY ISSUE FEATURES ON FAITH, EXPECTATION, AND THE HEALING BODY: A PHYSIOLOGICAL INTERPRETATION OF RECOVERY IN CONTEXTS OF SACRED BELIEF

Nodar Okropiridze [1], Tamar Okropiridze [5], David Aphkhazava [6]

1. MD, PhD, Georgian Technical University Institute "Techinform", Tbilisi, Georgia, Georgian Technical University Institute of Cybernetics, Tbilisi, Georgia, Ivane Javakhishvili Tbilisi State University Institute of Physics, Tbilisi, Georgia
2. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Doctor Cardiologist at Republican Hospital, Invited Professor of Tbilisi State Medical University, Professor of Ken Walker international University, Professor of International School of Medicine at Alte University, Professor of Faculty of Medicine at Sulkhan-Saba Orbeliani University, Tbilisi, Georgia.
4. MD, Doctor of Family Medicine, Invited Lecturer of Tbilisi State Medical University, Department of Molecular and Medical Genetics; Invited Lecturer of Family Medicine of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU; Invited Professor of Biochemistry and Molecular and Medical Genetics at The University of Georgia; Tbilisi, Georgia;
5. MD, PhD, Doctor Medical Sciences, Academician, Professor of the Division of Dentistry of International School of Medicine at Alte University; Invited Professor of Dentistry Department of The School of Health Sciences at The University of Georgia, Tbilisi, Georgia;
6. PhD, Doctor of Biological Sciences, Professor, University of Georgia, Tbilisi, Georgia. Tbilisi, Georgia. Orcid: https://orcid.org/0000-0001-6216-6477

Abstract

The article explores how strong faith in a healer, holy figure, or sacred encounter may contribute to real improvements in a patient's condition through natural physiological pathways. Without dismissing the spiritual meaning such experiences may hold for believers, the paper examines how conviction itself can influence the body's recovery systems. When a suffering person becomes deeply persuaded that help, grace, or restoration is near, the brain may reduce threat perception, quiet excessive stress signaling, and shift autonomic balance away from chronic fear. Such changes can affect cortisol release, heart rate variability, inflammation, pain perception, sleep quality, and immune regulation. In this sense, faith may serve as a powerful biopsychological catalyst: not because supernatural power must be invoked as a scientific explanation, but because embodied belief can alter the internal conditions under which healing becomes more likely. The article compares this process with the placebo response, while arguing that sacred belief often works through a broader network of meaning, ritual, emotional surrender, communal reinforcement, and expectancy. Examples include reduction of pain after prayerful reassurance, improved endurance in severe illness when hope is restored, symptom relief associated with trusted healing rituals, and measurable physiological calming during devotional practices. The central argument is that belief—especially when emotionally charged, socially confirmed, and existentially meaningful—can become biologically consequential, shaping the very systems that participate in recovery.

Keywords

faith and healing, physiology of belief, placebo response, expectation and recovery, stress regulation, autonomic nervous system, neuroendocrine response, immune modulation, pain perception.

Paata Tsiskaridze [3], Marika Sulashvili [4],

Introduction

The relationship between faith, expectation, and human healing has fascinated philosophers, theologians, physicians, psychologists, and biomedical researchers for centuries. Across civilizations and throughout recorded history, sacred beliefs have profoundly influenced perceptions of illness, suffering, recovery, and well-being. Long before the emergence of modern scientific medicine, healing practices were intimately connected with religious rituals, spiritual traditions, sacred spaces, prayer, meditation, pilgrimage, and communal expressions of faith. Ancient healing systems recognized that physical illness could not be fully separated from emotional distress, spiritual conflict, or social relationships. Although biomedical science eventually emphasized mechanistic explanations of disease through anatomical, physiological, microbiological, and molecular frameworks, increasing evidence now suggests that psychological expectations and spiritual experiences interact with numerous physiological systems that contribute to health outcomes. Contemporary research therefore increasingly views healing as a multidimensional phenomenon involving complex interactions among biological, psychological, social, behavioral, environmental, and spiritual determinants.

Scientific interest in the physiological consequences of belief has expanded considerably during recent decades. Rather than interpreting faith exclusively as a theological construct, modern biomedical investigations increasingly evaluate measurable neurobiological, endocrinological, immunological, and psychophysiological processes through which religious beliefs and expectations may influence recovery trajectories. This shift reflects broader developments within psychoneuroimmunology, behavioral medicine, psychosomatic medicine, neuroendocrinology, cognitive neuroscience, and systems biology. These interdisciplinary fields recognize that emotional states, cognitive appraisal, social connectedness, stress regulation, and expectancy mechanisms can influence immune competence, inflammatory pathways, autonomic nervous system balance, endocrine function, tissue repair, cardiovascular regulation, and overall physiological resilience.

Faith represents a multifaceted construct encompassing religious commitment, trust in divine intervention, spiritual meaning, hope, existential purpose, and confidence in transcendent realities. Although these dimensions vary considerably among cultures, religious traditions, and individuals, they frequently share common psychological characteristics that promote optimism, emotional stability, adaptive coping, social cohesion, and resilience during illness. Faith may therefore function simultaneously as a cognitive framework, an emotional resource, a behavioral motivator, and a social support mechanism. Importantly, contemporary scientific inquiry does not attempt to verify supernatural claims but instead investigates the measurable biological consequences associated with belief-related experiences.

Expectation constitutes another fundamental determinant of human physiology. Expectations influence perception, cognition, motivation, emotional regulation, pain processing, motor performance, immune responses, and numerous other biological systems. Positive expectations can activate endogenous mechanisms that improve symptom perception and functional recovery, whereas negative expectations may contribute to symptom exacerbation through nocebo responses. The physiological influence of expectation has become particularly evident through placebo research, which demonstrates that beliefs regarding treatment efficacy may produce measurable neurochemical, hormonal, autonomic, and immunological changes independent of the pharmacological properties of therapeutic interventions.

The placebo phenomenon has undergone substantial conceptual evolution. Earlier interpretations regarded placebo effects as merely imaginary or psychologically induced artifacts lacking biological significance. However, advances in neuroimaging, molecular neuroscience, and psychophysiological monitoring have demonstrated that placebo responses involve identifiable biological mechanisms, including endogenous opioid release,

dopaminergic activation, endocannabinoid signaling, oxytocin modulation, altered cortical connectivity, and regulation of stress-related hormonal pathways. Consequently, placebo research has become an important scientific model for understanding how expectations influence physiological recovery. These findings have stimulated broader interest in the biological pathways through which faith and sacred belief may similarly modulate healing processes.

The human stress response provides one of the most significant physiological mechanisms connecting psychological experience with physical health. Chronic psychological stress activates the hypothalamic–pituitary–adrenal axis and the sympathetic nervous system, resulting in elevated glucocorticoid secretion, increased catecholamine production, immune dysregulation, endothelial dysfunction, metabolic alterations, and persistent systemic inflammation. Prolonged activation of these pathways contributes to cardiovascular disease, impaired wound healing, metabolic disorders, neurodegenerative conditions, autoimmune diseases, infectious susceptibility, and numerous chronic illnesses. Conversely, psychological states characterized by hope, trust, emotional security, and spiritual comfort may reduce physiological stress responses and promote adaptive homeostatic regulation.

Sacred belief frequently provides existential meaning during periods of illness and uncertainty. Meaning-making represents a fundamental psychological process through which individuals interpret suffering, mortality, disability, and recovery. Patients facing life-threatening diseases often seek explanations that transcend purely biological descriptions of pathology. Religious traditions frequently provide comprehensive narratives regarding suffering, compassion, hope, forgiveness, transcendence, and ultimate purpose. Such frameworks may reduce existential anxiety, decrease psychological distress, improve emotional adaptation, and enhance adherence to therapeutic interventions. These psychosocial benefits may indirectly influence physiological recovery through improved behavioral regulation, enhanced social support, healthier lifestyles, and reduced neuroendocrine activation.

Neuroscientific investigations have increasingly explored the cerebral mechanisms associated with religious experience and spiritual practice. Functional neuroimaging studies have identified activity within distributed neural networks involving the prefrontal cortex, anterior cingulate cortex, insular cortex, temporal lobes, parietal association regions, hippocampus, amygdala, and default mode network during prayer, meditation, contemplation, and religious reflection. These regions participate in attention regulation, emotional processing, empathy, self-awareness, social cognition, memory integration, moral reasoning, and autonomic regulation. Although religious experiences vary considerably among individuals and cultures, converging evidence suggests that spiritual practices influence measurable neural activity associated with stress reduction, emotional resilience, cognitive flexibility, and adaptive behavioral regulation.

The autonomic nervous system represents another critical physiological interface linking psychological experiences with bodily recovery. Enhanced parasympathetic activation contributes to cardiovascular stability, improved digestive function, immune regulation, reduced inflammatory signaling, and enhanced tissue repair. Practices commonly associated with religious devotion—including contemplative prayer, meditation, chanting, ritual breathing, and communal worship—often increase vagal tone while decreasing sympathetic activation. These autonomic adaptations may partially explain observed associations between spiritual engagement and improved health outcomes across diverse clinical populations.

Immune regulation has emerged as a major focus within investigations examining spirituality and health. Immune function is profoundly influenced by psychological stress, emotional well-being, sleep quality, nutritional status, physical activity, and social connectedness. Chronic psychological distress promotes pro-inflammatory cytokine production while impairing

antiviral immunity, antibody responses, and cellular immune surveillance. Conversely, positive psychological states associated with hope, gratitude, compassion, forgiveness, and spiritual well-being have been linked in several observational studies to lower inflammatory biomarkers, improved immune regulation, and enhanced resistance to certain infectious and inflammatory conditions. Although causal relationships remain incompletely understood, these findings support continued investigation into psychobiological pathways linking faith with immune competence.

Cardiovascular physiology also demonstrates remarkable sensitivity to emotional and cognitive influences. Blood pressure regulation, heart rate variability, endothelial function, vascular inflammation, and cardiac autonomic balance respond dynamically to psychological experiences. Religious participation has frequently been associated with healthier cardiovascular profiles, although confounding variables—including lifestyle behaviors, community engagement, socioeconomic status, and healthcare utilization—must be carefully considered when interpreting epidemiological findings. Nevertheless, physiological evidence suggests that stress reduction associated with spiritual practices may contribute to improved cardiovascular regulation through autonomic and neuroendocrine mechanisms.

Pain perception offers another compelling example of the interaction between belief and physiology. Pain represents both a sensory and emotional experience shaped by expectations, prior experiences, cultural beliefs, and contextual factors. Functional neuroimaging has demonstrated that expectations influence nociceptive processing through descending pain modulatory pathways involving cortical, subcortical, and brainstem structures. Prayer, religious rituals, spiritual coping strategies, and confidence in divine support may alter pain perception by modifying attentional focus, emotional appraisal, endogenous opioid activity, and cognitive interpretation of suffering. These mechanisms illustrate how subjective experiences become biologically embodied through measurable neural processes.

Recovery from illness extends beyond symptom resolution and encompasses restoration of physiological integrity, psychological well-being, social functioning, and quality of life. Healing therefore differs conceptually from cure. Cure generally refers to elimination of pathological processes, whereas healing encompasses broader restoration of personal wholeness despite ongoing disease or disability. This distinction is particularly relevant within chronic illnesses, palliative care, oncology, rehabilitation medicine, and mental health, where complete eradication of disease may not always be achievable. Faith frequently contributes to healing by fostering acceptance, resilience, purpose, interpersonal connection, and emotional adaptation even when pathological conditions persist.

Behavioral mechanisms further contribute to associations between faith and improved health outcomes. Individuals actively participating in religious communities often demonstrate greater adherence to prescribed medical treatments, lower rates of substance misuse, healthier dietary behaviors, increased physical activity, stronger social support networks, and greater participation in preventive healthcare. These behavioral pathways may substantially influence morbidity and mortality independently of direct psychophysiological effects. Consequently, distinguishing biological effects attributable specifically to sacred belief from those mediated through healthier lifestyles represents an important methodological challenge for future research.

Recent developments in systems biology emphasize that health emerges from dynamic interactions among interconnected physiological networks rather than isolated organs or molecular pathways. Neuroendocrine regulation, immune function, metabolic homeostasis, microbial ecology, cardiovascular physiology, and psychological adaptation operate through complex bidirectional feedback mechanisms. Within this systems perspective, faith and expectation may function as higher-order cognitive and emotional variables capable of

influencing multiple biological networks simultaneously. Such an integrative framework aligns with contemporary precision medicine, patient-centered healthcare, and biopsychosocial models emphasizing individualized assessment of biological, psychological, social, and spiritual determinants of health.

The scientific investigation of sacred belief also requires careful methodological rigor. Correlation does not establish causation, and many reported associations between religiosity and health outcomes may reflect confounding influences including socioeconomic conditions, educational attainment, cultural practices, healthcare accessibility, family stability, and baseline psychological characteristics. Furthermore, religious experiences are heterogeneous across traditions and individuals, limiting generalizability. High-quality randomized controlled trials examining spiritual interventions remain challenging because belief cannot be experimentally assigned in the same manner as pharmacological treatments. Consequently, interpretation of available evidence requires careful consideration of study design, measurement validity, selection bias, and cultural context.

Ethical considerations are equally important within this field. Respect for religious diversity, patient autonomy, cultural competence, and evidence-based medical practice must remain central principles in clinical care. Scientific recognition that faith may influence physiological recovery should never justify replacing effective medical therapies with exclusively spiritual interventions. Rather, contemporary integrative healthcare increasingly recognizes that appropriate attention to patients' spiritual beliefs may complement conventional biomedical treatment by enhancing communication, improving adherence, strengthening therapeutic relationships, reducing anxiety, and supporting holistic recovery.

Advances in molecular biology, neuroimaging, digital health technologies, artificial intelligence, wearable physiological monitoring, and computational systems medicine provide unprecedented opportunities to investigate interactions among cognition, spirituality, physiology, and recovery. Future interdisciplinary research integrating genomics, epigenetics, metabolomics, neurophysiology, psychoneuroimmunology, behavioral science, and clinical medicine may further clarify how faith-related experiences become biologically embedded within complex regulatory systems. Such investigations may ultimately improve personalized approaches to supportive care while maintaining rigorous scientific standards.

This review therefore aims to provide a comprehensive scientific discussion of the principal physiological mechanisms through which faith and expectation may influence recovery within contexts of sacred belief. By integrating contemporary evidence from neuroscience, psychoneuroimmunology, endocrinology, cardiovascular physiology, behavioral medicine, psychosomatic research, systems biology, and clinical healthcare, the present work seeks to critically evaluate existing knowledge, identify current controversies, highlight methodological limitations, and propose future directions for interdisciplinary research. Through this integrative perspective, the article seeks to advance understanding of healing as a multidimensional biological and psychosocial process in which faith, expectation, and physiological regulation interact within the broader framework of human health and recovery.

Faith, Expectation, and the Physiology of Healing

Stories of recovery associated with holy persons, sacred spaces, blessings, prayer, relics, and intense moments of spiritual assurance have accompanied human societies for centuries. In many traditions, such events are described through the language of grace, mercy, divine visitation, intercession, or sanctity. For believers, these experiences are rarely understood as merely emotional episodes. They are interpreted as moments in which suffering encounters hope, and in which the human body becomes touched by a reality greater than itself. A scientific introduction to such phenomena does not need to insult that framework in order to study it

carefully. It may proceed respectfully while still asking a different question: when a person genuinely improves after contact with a revered figure or sacred ritual, what processes within the body might help explain that improvement?

This question becomes especially important because healing in such settings is often presented as if only two interpretations were possible. Either the event must be accepted as a supernatural intervention, or it must be dismissed as fraud, delusion, exaggeration, or coincidence. Yet this opposition is too crude. Contemporary work in neuroscience, psychophysiology, pain research, and psychoneuroimmunology suggests that between these extremes there exists a third possibility: that intense belief, expectation, and emotionally charged meaning can produce real biological effects without requiring the suspension of natural mechanisms. Such an account does not mock faith. On the contrary, it recognizes that the human organism is profoundly responsive to hope, trust, symbolic authority, and the expectation of relief. The body is not indifferent to what the person believes is happening. Perception, anticipation, fear, consolation, and trust are translated into neural activity, hormonal signaling, autonomic balance, immune modulation, and symptom interpretation (Benedetti and Amanzio, 2011; Geuter et al., 2017; Petrie and Rief, 2019).

This means that recovery associated with sacred expectation may be both sincere and physiologically intelligible. A patient may truly feel less pain, breathe more easily, sleep more deeply, or regain strength after a blessing or encounter with a revered person, even if the mechanism is not supernatural power emanating from that figure. The improvement may arise because belief itself reorganizes the body's internal state. If a sufferer becomes convinced that healing has begun, the brain may reduce danger signaling, the stress system may quiet, muscles may loosen, attention may shift away from threat, and endogenous systems of relief may become more active. From within a religious narrative, such an event may be experienced as divine mercy. From within physiology, it may be described as the transformation of expectation into bodily regulation. These are not identical descriptions, but they may concern the same human event viewed from different levels of explanation.

From Sacred Meaning to Scientific Inquiry

The central issue of this study is therefore not whether sacred language should be forbidden, but whether sacred healing can be examined in terms of biological mechanisms. The answer increasingly appears to be yes. Human beings do not encounter illness as detached machines. They interpret it. They fear it, pray through it, narrate it, and surround it with meanings. In moments of crisis, meaning can become physiologically consequential. A diagnosis does not affect the body only through pathology; it also acts through what the patient comes to expect. Likewise, a blessing or encounter with a revered figure does not affect the person only through theology; it also acts through what the patient comes to anticipate. The difference between despair and hope is not merely poetic. It changes how the nervous system organizes sensation, vigilance, sleep, attention, and motivation.

In this sense, the present argument begins with a simple but far-reaching claim: belief can become embodied. It can enter the organism not as a mystical vapor but as a pattern of prediction, valuation, and regulation. The brain continuously interprets whether the world is dangerous or safe, whether pain signals should be amplified or contained, whether vigilance should remain high or whether rest is possible. When a person is seized by terror, abandonment, or the conviction that no help is coming, the body often enters a costly state of sustained alarm. When the same person becomes convinced that aid, grace, healing, or rescue is near, the organism may shift toward regulation and relative safety. This shift can influence endocrine, autonomic, inflammatory, and sensory processes in ways that matter for symptoms and, in some cases, recovery trajectories (Jacobs, 2001; Straub and Cutolo, 2018).

This is why sacred healing settings deserve serious analysis rather than dismissal. They often assemble, in concentrated form, exactly those elements most capable of reorganizing human expectation: symbolic authority, emotionally resonant ritual, social reinforcement, sensory immersion, testimony from others, solemn language, touch, silence, chanting, tears, and a promise that suffering is not meaningless. Even when one does not accept the supernatural interpretation, one must still explain why such settings can be powerful. The explanation proposed here is that they function as biologically potent environments of expectation. They tell the organism that the future may be different from the fearful present. That message alone can activate pathways relevant to pain, stress, fatigue, immune tone, and behavioral endurance.

Belief as a Biological Event

The body is often imagined as if it were governed only by material causes in the narrowest sense—lesions, pathogens, drugs, surgeries, molecules. These causes are indeed real and indispensable. Yet modern physiology also demonstrates that the body is shaped by top-down influences arising from interpretation, memory, emotion, and expectation. The nervous system does not passively receive bodily information; it actively predicts, filters, and regulates what the body will feel and how it will respond. This predictive character of physiology is crucial to understanding why faith, trust, and ritual may sometimes alter healing outcomes.

Belief becomes biologically active because expectation changes the brain's forecast of what is happening and what is likely to happen next. The person who expects continued deterioration monitors every sensation for danger. Small changes feel large. Ambiguous discomfort becomes alarming. Muscles remain tense. Sleep becomes fractured. Appetite weakens. Breathing becomes shallow. The person who expects relief may undergo the opposite shift. Symptom vigilance decreases. Pain becomes less dominant in consciousness. Muscles soften. Fearful anticipation loosens. Rest becomes possible. This is not a mere attitude adjustment floating above the body. It is a change in regulation. The organism begins to operate under different assumptions, and those assumptions have physiological consequences (Geuter et al., 2017; Benedetti and Amanzio, 2013).

This point is especially important in relation to illness because the sick body is highly interpretable. Symptoms such as pain, nausea, fatigue, dizziness, breathlessness, weakness, and palpitations are influenced not only by peripheral pathology but also by the brain's estimate of danger and control. Two patients with similar tissue states may experience different symptom burdens depending on what they fear, what they expect, and what kind of meaning surrounds their suffering. If one patient believes that a sacred encounter has initiated healing, that belief can shift central processing in ways that reduce symptom intensity and improve function. The body, in effect, is told that catastrophe is no longer the only horizon.

To say that belief is biologically active is not to say that belief can cure anything whatsoever. It cannot simply erase all pathology or command the body to obey desire. However, within many conditions—especially those involving pain modulation, autonomic instability, inflammatory sensitivity, and stress burden, and behavioral exhaustion— belief can strongly influence how illness is experienced and how recovery resources are mobilized. The body does not become omnipotent under faith, but it may become less trapped by fear. That alone can be medically significant.

Sacred Healing and the Placebo Comparison

The clinical concept most commonly used to discuss such processes is the placebo response. Although the word is sometimes spoken dismissively, it refers to one of the most important discoveries in modern medicine: that expectation, therapeutic context, and the meaning attached to treatment can produce genuine changes in symptoms and, in some cases, measurable physiological effects. Research has shown that these responses are not imaginary or merely verbal. In areas such as pain, nausea, motor function, and stress-related symptoms,

expectation can recruit endogenous systems that change how the body functions and what the patient feels (Colloca, 2019; Peciña and Zubieta, 2013; Petrie and Rief, 2019).

Yet the comparison between sacred healing and the placebo response must be handled carefully. On one hand, the comparison is useful because it clarifies that improvement may arise through natural psychobiological pathways rather than supernatural intervention. On the other hand, the comparison can be too narrow if it makes religious healing seem equivalent to a pill in a laboratory trial. Sacred contexts are often far more emotionally intense and existentially encompassing than ordinary clinical contexts. The patient is not simply told that a treatment may help. The patient may be persuaded that divine mercy is near, that suffering has been seen, that grace is active, and that healing has begun at the deepest level. This is not merely expectation in the thin clinical sense. It is expectation fused with identity, community, and ultimate meaning.

For this reason, some scholars have preferred the broader notion of a meaning response: the idea that what heals is not the inert form itself but the significance carried by the form (Kirmayer, 2011; Thompson et al., 2009). In sacred settings, that significance may be exceptionally strong. Ritual gestures, garments, chants, sacred language, and collective reverence operate as cues that convince the sufferer that help is real and immediate. The body responds to those cues because the brain is built to respond to contexts of trust and anticipated relief. Thus, while sacred healing can be compared to the placebo response, it is often better understood as a heightened, culturally reinforced, spiritually framed form of expectation-driven physiology.

This distinction matters because it avoids two opposite errors. The first error is to treat religious healing as pure miracle and therefore beyond scientific inquiry. The second is to dismiss it as fake simply because expectation is involved. Expectation does not make the effect unreal. If a patient's own brain releases endogenous opioids, shifts autonomic tone, lowers stress reactivity, and reduces symptom severity because of a powerful ritual context, then something real has occurred. The mechanism is internal, but internal does not mean imaginary. The nervous system is part of the body, and what it does counts as physiology.

Predictive Processing and the Interpretation of Symptoms

One of the most important developments in recent neuroscience is the recognition that the brain is fundamentally predictive. It does not wait passively for sensations to arrive and then interpret them after the fact. Rather, it continuously generates expectations about what sensations mean, how dangerous they are, and what bodily state is likely to come next. This predictive framework offers a particularly helpful lens for understanding why faith and expectation may influence healing.

Symptoms are rarely neutral data. Pain, for example, is not a direct readout of tissue injury alone. It is shaped by context, attention, memory, expectation, and emotional state. The same is true, to varying degrees, for fatigue, breathlessness, nausea, bowel discomfort, dizziness, and many forms of bodily distress. When the brain predicts danger, symptoms are often intensified. When it predicts safety or relief, symptoms may diminish. This does not mean that symptoms are invented by the mind. It means that the brain helps regulate their intensity and significance.

A sacred encounter may alter this regulatory process by changing the patient's prediction of what is happening inside the body. A blessing, a word of assurance, the touch of a revered figure, or the conviction that one has been seen by divine mercy may shift the brain from catastrophe-based forecasting to relief-based forecasting. Once that happens, several things may follow. Hypervigilance may decline. Attention may move away from distress. Muscular tension may soften. Breathing may slow. The threshold for pain amplification may rise. Symptom-related fear may decrease. All of these can reduce suffering, even before any

underlying disease process has changed substantially (Geuter et al., 2017; Benedetti and Amanzio, 2011).

This helps explain why relief in sacred settings can feel immediate. The patient may report that pain disappeared as soon as the blessing occurred, or that a burden lifted the moment a revered person spoke. From a physiological standpoint, such immediacy is possible because predictive and regulatory systems can shift rapidly. Once the brain revises its estimate of danger, symptom processing can change within moments. Of course, not every dramatic report is accurate, and not every improvement lasts. But the existence of exaggeration in some cases does not eliminate the plausibility of genuine, rapid psychobiological effects in others.

Stress Physiology and the Healing Body

A major route through which belief influences recovery is the stress system. Illness often places the patient under chronic psychological strain. Fear of worsening symptoms, fear of death, fear of incapacity, fear of abandonment, and fear of uncertainty can all keep the body in an activated state. This activation is not merely emotional. It involves the hypothalamic-pituitary-adrenal axis, the sympathetic branch of the autonomic nervous system, and downstream changes in hormone release, cardiovascular tone, metabolism, and inflammatory signaling (Jacobs, 2001; Straub and Cutolo, 2018).

Chronic stress is physiologically costly. Elevated threat perception can contribute to poor sleep, appetite disturbance, increased cortisol exposure, muscular bracing, blood pressure changes, emotional exhaustion, and immune dysregulation. In such a state, healing is harder. The body remains oriented toward danger management rather than restoration. Even where disease cannot be removed, symptom burden may worsen because the organism cannot exit vigilance. This is precisely why faith, hope, and ritual assurance may matter. If they reduce perceived threat, they may allow the body to shift away from chronic alarm and toward relative regulation.

The sacred context can be especially effective in producing this shift because it provides more than reassurance. It provides certainty, or at least an experience of certainty. A patient who hears from a trusted clinician that things may improve receives one kind of relief. A patient who becomes convinced that divine help has arrived may receive a stronger and more total form of relief. The sense of safety may extend beyond the body into the meaning of life itself. From within physiology, that means the calming signal is amplified. Sympathetic activation may decrease. Parasympathetic tone may rise. Heart rhythm may become more flexible. Breathing may deepen. Sleep may return. Digestion may improve. These changes, though sometimes modest, can accumulate into significant symptom relief and better recovery conditions (Moraes et al., 2018; Reza et al., 2023).

This does not imply that religion is uniquely required for such effects. Similar changes may occur through secular trust, psychotherapy, loving care, or powerful nonreligious rituals. The point is not that theology possesses exclusive healing chemistry. The point is that intense belief, wherever it is located, can alter the physiology of stress. Religious settings happen to be among the most efficient human environments for producing concentrated expectation and surrender.

Pain, Relief, and Endogenous Neurochemistry

Pain research provides some of the strongest evidence that expectation can trigger real physiological change. Placebo analgesia has been linked to endogenous opioid activity, dopaminergic signaling, and altered activation in brain regions involved in valuation, expectation, and descending pain modulation (Scott et al., 2008; Zubieta and Stohler, 2009; Colloca, 2019). In plain terms, when a person strongly expects relief, the brain can release its own pain-reducing substances and change the way pain signals are processed.

This is crucial for understanding many reports of healing in sacred contexts. Pain is often the first symptom to improve because it is highly sensitive to meaning and threat. A patient who believes that a holy encounter has ended suffering may experience reduced pain not because the tissue suddenly transformed, but because the brain's pain-control systems were recruited by expectation. The relief is nevertheless real. The patient sleeps, moves, eats, and rests more easily. Once that happens, secondary benefits emerge. Better sleep reduces stress load. Reduced muscular guarding improves circulation and mobility. Lower distress improves appetite and emotional resilience. These changes can initiate a broader pattern of recovery.

The same logic may apply to symptoms beyond pain. Nausea, breathlessness, fatigue, and functional weakness are also influenced by expectation and central processing. In each case, the sacred ritual acts as an interpretive event. It changes the meaning of what the body is undergoing. Once meaning changes, physiology may follow. Benedetti and colleagues have argued persuasively that words and rituals can change the patient's brain because they alter expectation and contextual interpretation (Benedetti and Amanzio, 2011; Benedetti and Amanzio, 2013). In religious healing settings, such words and rituals are often exceptionally compelling. Their power lies not in the phrase alone but in the total frame that supports it.

Thus, when an individual reports immediate relief after a blessing or encounter with a revered figure, it is not necessary to choose between naïve supernaturalism and cynical disbelief. A third interpretation is available: the patient's own endogenous regulatory systems were activated by a context of radical trust. The body did what human bodies can sometimes do when convinced that relief is truly present.

Immune and Inflammatory Pathways

Although the influence of belief is most clearly demonstrated in pain and stress-related symptoms, the immune system also deserves attention. Psychoneuroimmunology has shown that immune function is not isolated from the brain. Neural, endocrine, and emotional processes can shape inflammatory activity, infection susceptibility, wound healing, and the course of some illnesses (Ader and Cohen, 1993; Fleshner and Laudenslager, 2004; Straub and Cutolo, 2018). This does not mean that belief can command the immune system at will, but it does mean that chronic fear, helplessness, and despair can worsen the biological terrain in which illness unfolds.

Inflammation is particularly responsive to prolonged stress. When patients remain trapped in alarm, inflammatory pathways may become dysregulated, contributing to pain, malaise, fatigue, and slower recovery. If a sacred experience reduces stress and restores meaning, immune processes may indirectly improve. Better sleep, lower stress hormones, reduced sympathetic overdrive, and increased hope may all contribute to a less hostile internal environment. Some research has even suggested links between placebo administration, endogenous opioids, and immune-related changes, reinforcing the idea that expectation and physiology are intertwined (Prossin et al., 2022).

Religious healing narratives often describe not only symptom relief but also a sense of warmth, peace, tears, trembling, release, or bodily lightness. Such descriptions may correspond to shifts in autonomic and endocrine activity that indirectly influence inflammation and immune behavior. Again, this does not prove miraculous disease reversal. It does show that the sacred event may alter multiple systems at once. Even partial improvement in sleep, stress burden, and appetite can significantly affect recovery conditions, especially in chronic illness.

What appears miraculous to observers may therefore arise through cumulative physiology. A patient who was terrified now rests. A patient who could not eat regains appetite. A patient overwhelmed by pain becomes calm enough to move. A patient who had withdrawn becomes willing to continue treatment. These changes reinforce one another. Once the organism leaves

chronic emergency mode, healing processes that were already biologically possible may become easier to sustain.

Ritual, Authority, and Social Reinforcement

Another reason sacred healing can be powerful is that it is almost never an isolated mental event. It is usually embedded within ritual, community, and symbolic authority. The patient does not simply decide alone to believe. Belief is supported by collective reverence, testimony from others, sacred signs, formal gestures, and emotionally resonant performance. From the outside, such features may appear decorative. From the standpoint of physiology, they are powerful contextual cues.

Human beings are social organisms. The brain is deeply shaped by authority, belonging, imitation, and collective expectation. When a crowd treats a figure as holy, the individual sufferer receives a socially amplified signal that healing is possible. When others testify that they were helped, the patient's own confidence grows. When the setting is solemn and symbolically rich, the experience becomes more persuasive. In anthropological terms, ritual organizes meaning. In physiological terms, it organizes expectation (Kirmayer, 2011; Thompson et al., 2009).

This is why even controversial or unstable individuals may become associated with healing if others believe them to be chosen or sanctified. The patient's body responds not necessarily to the true inner state of the healer, but to the symbolic role assigned to that person. If the figure functions as a vessel of hope, then the encounter may still trigger real psychobiological effects. The cure, in mechanistic terms, does not come from supernatural energy residing in the healer. It comes from the patient's embodied response to trust, surrender, and expectation. The revered individual is effective because he is believed.

Such a claim can be stated without insulting religion. One may acknowledge that believers sincerely interpret the event spiritually while also noting that the underlying mechanisms are consistent with universal human biology. The language differs, but the body's responsiveness to meaning remains the same.

Symptom Relief, Functional Recovery, and Disease

A careful account must distinguish among several kinds of healing. Symptom relief is not identical with disease eradication. Functional recovery is not identical with structural cure. A patient may feel less pain while pathology remains. Another may walk better because fear and motor inhibition decline, even if disease persists. Another may recover strength because sleep, hope, and nutrition improve, not because the primary lesion vanished. These differences matter because sacred healing stories often collapse them into one category.

Scientific caution requires us to say that expectation-based effects are usually strongest where the brain has major regulatory influence over symptoms and functioning. That includes pain, fatigue, nausea, breathlessness, bowel symptoms, stress-related suffering, and some motor phenomena. It does not justify the claim that belief alone can reliably reverse all cancers, destroy all infections, or repair all damaged tissues. The literature on placebo-related effects suggests clearer impact on subjective and centrally modulated outcomes than on many hard biochemical endpoints, although some physical measures can be affected under particular conditions (Meissner et al., 2007).

Yet this limitation should not lead to dismissal. Symptom relief and functional recovery are medically important. If a person sleeps, eats, walks, breathes, and endures treatment better, that matters greatly. Even where disease remains, the difference in lived suffering may be profound. Families may interpret such change as miraculous because it follows a sacred encounter, and emotionally their perception is understandable. Science need not ridicule that response. It may

simply propose that the apparent miracle occurred through lawful mechanisms of human regulation rather than through a suspension of nature.

BACKGROUND

The relationship between faith, expectation, and bodily healing has occupied a complex and evolving position at the intersection of medicine, psychology, neuroscience, anthropology, and theology. Across human history, recovery from illness has rarely been understood solely as a biological phenomenon; rather, it has been interpreted through layered frameworks in which spiritual belief systems, cultural meaning-making, and individual psychological states interact with physiological processes. The scientific discussion of these key issue features requires an integrative perspective that does not reduce healing to either purely biomedical mechanisms or purely metaphysical interpretations, but instead examines how subjective belief states and neurobiological regulation converge to influence health outcomes. (Schulz, A., & Vögele, C. 2015).

In contemporary biomedical science, healing is primarily conceptualized as the restoration of physiological homeostasis following injury, infection, or functional disruption. However, an increasing body of evidence from psychoneuroimmunology and behavioral medicine suggests that cognitive and emotional states—particularly expectation and belief—can exert measurable effects on immune regulation, endocrine function, autonomic nervous system balance, and even gene expression patterns. Within this framework, faith, whether religious, spiritual, or existential, may function as a higher-order cognitive construct that shapes perception of illness, modulates stress response systems, and alters recovery trajectories.

Expectation, in particular, has been extensively studied in relation to placebo and nocebo phenomena. The placebo effect demonstrates that the administration of an inert intervention can result in clinically significant improvements when accompanied by positive expectation. Neurobiologically, this effect is mediated by complex interactions involving endogenous opioid release, dopaminergic reward pathways, prefrontal cortical modulation, and descending inhibitory pain control systems. In parallel, the nocebo effect illustrates how negative expectation can exacerbate symptoms, increase perceived pain, and even worsen physiological outcomes through stress-mediated pathways. These findings provide a foundational scientific basis for understanding how belief states may translate into biological change.

Faith, while often broader and more culturally embedded than expectation alone, can be understood as a sustained cognitive-emotional orientation characterized by trust, conviction, and perceived coherence in relation to higher meaning systems. In sacred or religious contexts, faith is frequently associated with rituals, prayer, meditation, and communal practices that reinforce psychological resilience. From a physiological perspective, these practices have been associated with reduced hypothalamic-pituitary-adrenal (HPA) axis activation, lower circulating cortisol levels, improved heart rate variability, and enhanced parasympathetic nervous system tone. These changes collectively create a neurobiological environment conducive to tissue repair, immune efficiency, and metabolic stability.

The concept of the “healing body” in this context refers not only to the structural and functional capacities of organs and systems but also to the dynamic regulatory networks that maintain internal equilibrium. The body is increasingly understood as an adaptive, self-organizing system influenced by continuous feedback loops between the central nervous system, immune system, endocrine system, and environmental inputs. Psychological states, including faith and expectation, act as modulatory signals within these feedback loops, potentially shifting the set points of physiological regulation. This systemic view aligns with contemporary models of allostatic regulation, in which chronic stress or positive psychological states can recalibrate

bodily thresholds for inflammation, immune activation, and repair processes (McEwen, B. S. 2007).

Sacred belief systems across cultures have long incorporated healing practices that implicitly engage these psychophysiological mechanisms. Ritual prayer, meditation, chanting, laying on of hands, and communal worship are not only symbolic acts but also structured behavioral interventions that can induce relaxation responses, enhance social bonding, and foster cognitive reframing of illness experiences. Anthropological evidence suggests that such practices have historically functioned as integrative health systems, embedding biological healing within socially reinforced belief structures. From a modern scientific perspective, these rituals may act as multi-level interventions that simultaneously target psychological stress, neuroendocrine balance, and immune modulation.

A central issue in the scientific interpretation of faith-based healing is the distinction between subjective experience and measurable physiological change. While subjective improvement in symptoms is often reported in contexts of strong belief, rigorous biomedical evaluation seeks objective correlates such as biomarkers of inflammation, imaging-based evidence of tissue repair, or functional recovery metrics. Increasingly, research indicates that subjective and objective domains are not mutually exclusive but are instead interconnected through psychobiological pathways. For example, reductions in perceived stress have been associated with decreased levels of pro-inflammatory cytokines such as interleukin-6 and tumor necrosis factor-alpha, suggesting that belief-driven psychological states can influence systemic inflammatory profiles (Creswell, J. D., & Lindsay, E. K. 2014).

Neuroscientific studies further illuminate how faith and expectation may alter brain function in ways that influence healing. Functional neuroimaging has demonstrated that placebo-induced analgesia activates prefrontal and anterior cingulate cortical regions, which in turn modulate subcortical pain-processing centers such as the periaqueductal gray. Similarly, meditation and prayer practices have been associated with altered activity in the default mode network, limbic system, and insular cortex, regions implicated in self-referential processing, emotional regulation, and interoceptive awareness. These neural adaptations may contribute to reduced symptom perception and enhanced coping capacity during illness.

In addition to neurobiological mechanisms, psychosocial factors play a critical role in faith-based healing contexts. Social support derived from religious or spiritual communities has been consistently linked to improved health outcomes, including lower mortality rates, faster recovery from surgical procedures, and improved management of chronic diseases such as cardiovascular disorders and diabetes. The mechanisms underlying these associations include behavioral reinforcement of healthy practices, reduced isolation, enhanced adherence to treatment regimens, and buffering of stress responses. Social belonging itself is a powerful regulator of physiological stress systems, influencing cortisol rhythms and immune surveillance functions (Ader, R. (2007).

Expectation-driven healing also raises important methodological considerations in clinical research. The design of randomized controlled trials often seeks to isolate pharmacological effects from psychological influences; however, in doing so, it may underestimate the clinically meaningful contributions of belief and expectation. The placebo response is not merely an experimental artifact but a real neurobiological phenomenon that reflects the brain’s capacity to generate therapeutic outcomes through top-down modulation. Understanding this mechanism has led to increased interest in harnessing placebo-related pathways ethically within clinical practice, particularly through enhancing patient-clinician communication, therapeutic alliance, and treatment framing.

Faith, in its broader existential sense, may also influence health outcomes through meaning-making processes. Illness is not experienced solely as a biological disruption but also as a

narrative event that affects identity, purpose, and future orientation. Individuals who maintain a coherent sense of meaning during illness episodes often demonstrate greater psychological resilience, lower levels of depression and anxiety, and improved functional recovery. Logotherapy and related psychological frameworks emphasize the centrality of meaning in human adaptation to suffering, suggesting that cognitive interpretation of illness can modulate physiological stress responses.

From a physiological interpretation standpoint, recovery in contexts of sacred belief can be conceptualized as a multi-layered process involving neurocognitive, endocrine, immune, and behavioral dimensions. Faith and expectation serve as top-down modulators that influence bottom-up biological processes. This bidirectional interaction is consistent with contemporary systems biology approaches, which emphasize network dynamics rather than linear causality. Within this framework, the body is not a passive recipient of psychological influence but an active participant in a continuous dialogue between mind, environment, and physiology.

Importantly, scientific analysis of faith-based healing must maintain methodological rigor while acknowledging the complexity of human experience. Reductionist interpretations that dismiss faith as purely placebo fail to capture the adaptive value of belief systems, while uncritical acceptance of spiritual causation lacks empirical grounding. A balanced scientific approach recognizes that psychological states can produce real biological effects without requiring metaphysical assumptions beyond the scope of empirical validation.

The scientific discussion of faith, expectation, and the healing body reveals a deeply interconnected system in which belief states and physiological processes are mutually influential. Recovery in contexts of sacred belief is best understood not as an anomaly but as an expression of the inherent plasticity of human neurobiology and its sensitivity to cognitive-emotional modulation. The integration of neuroscience, immunology, psychology, and anthropology provides a comprehensive framework for interpreting how sacred belief systems may contribute to healing outcomes through measurable physiological pathways.

A more refined examination of the interaction between faith, expectation, and biological recovery requires engagement with emerging concepts in systems neuroscience and network physiology. Contemporary research increasingly rejects the classical compartmentalization of bodily systems in favor of integrated dynamic networks in which the brain functions as a predictive organ continuously generating models of internal and external reality. Within predictive coding frameworks, expectation is not a passive mental state but an active generative process that shapes sensory input interpretation and physiological response. In this context, faith can be conceptualized as a stabilized high-level prior belief that influences lower-level prediction errors, thereby modulating perception of symptoms, pain, and recovery trajectories. This predictive architecture provides a plausible mechanistic explanation for how deeply held sacred beliefs may alter physiological outcomes. When an individual possesses strong faith in healing—whether mediated through divine intervention, ritual efficacy, or spiritual alignment—the brain may downregulate threat prediction signals and attenuate stress-related physiological cascades. This attenuation reduces sympathetic nervous system overactivation, decreases catecholamine release, and limits chronic activation of the hypothalamic-pituitary-adrenal axis. The downstream consequence is a reduction in systemic inflammatory burden and a more favorable environment for tissue repair and immune surveillance.

Inflammation, as a central biological process in both acute and chronic disease states, is particularly sensitive to psychosocial modulation. Pro-inflammatory cytokines such as interleukin-1β, interleukin-6, and tumor necrosis factor-alpha are not only immune mediators but also neuromodulators capable of influencing mood, cognition, and behavior through bidirectional communication pathways between the immune system and the central nervous system. This immuno-neural interface, often referred to as the “inflammatory reflex,” is

increasingly recognized as a key pathway through which psychological states influence physical health. Faith and expectation, by reducing perceived stress and enhancing emotional stability, may suppress maladaptive inflammatory signaling and promote anti-inflammatory cytokine profiles such as interleukin-10.

At the cellular level, stress reduction associated with positive expectation and spiritual engagement has been linked to improved mitochondrial efficiency and reduced oxidative stress. Mitochondria are highly sensitive to glucocorticoid levels and sympathetic nervous system activation. Chronic stress conditions impair mitochondrial function, leading to increased production of reactive oxygen species and subsequent cellular damage. By contrast, psychological states associated with trust, safety, and meaning—core components of faith experiences—may indirectly preserve mitochondrial integrity and enhance cellular resilience. This suggests that faith-related psychological states may exert effects down to the subcellular level of biological organization.

Epigenetic mechanisms further expand the scope of this interaction. Environmental and psychological inputs can influence gene expression without altering DNA sequences through processes such as DNA methylation, histone modification, and non-coding RNA regulation. Stress-related epigenetic modifications have been documented in genes associated with immune function, neuroplasticity, and endocrine regulation. Conversely, positive psychosocial environments—including those fostered by spiritual practices and strong belief systems—have been associated with epigenetic patterns indicative of reduced inflammatory gene expression and enhanced stress resilience. While direct causal pathways between faith and epigenetic modification remain an active area of investigation, existing evidence supports the plausibility of long-term biological embedding of psychological states.

In parallel, the role of neuroplasticity is central to understanding how sustained belief systems may influence health outcomes. Neuroplasticity refers to the brain’s capacity to reorganize its structure and function in response to experience. Practices commonly associated with sacred belief systems, such as meditation, contemplative prayer, and repetitive ritual behavior, have been shown to induce structural and functional changes in brain regions associated with attention regulation, emotional processing, and self-referential cognition. For example, increased cortical thickness in the prefrontal cortex and altered connectivity within the default mode network have been observed in individuals engaged in long-term contemplative practices. These neural adaptations may enhance emotional regulation and reduce maladaptive stress responses, thereby indirectly supporting physiological recovery processes.

From a psychosomatic medicine perspective, the historical separation between mind and body is increasingly considered artificial. Instead, illness is understood as an emergent property of dysregulated interactions across biological, psychological, and social domains. Within this integrative model, faith operates as a psychosocial regulator that can stabilize internal physiological states through cognitive reframing, emotional modulation, and behavioral reinforcement. The interpretation of symptoms through a sacred or meaningful lens may reduce catastrophizing cognition, thereby decreasing amygdala activation and sympathetic arousal. This cognitive-emotional shift has measurable consequences for cardiovascular, respiratory, and immune system function.

Cultural neuroscience provides additional insight into how belief systems shape biological processes. Different cultural and religious frameworks encode distinct models of illness, healing, and bodily function. These culturally mediated belief systems are internalized through development and socialization, becoming embedded in neural processing patterns. Consequently, the physiological response to illness is not uniform across populations but is partially shaped by culturally constructed expectations regarding recovery and suffering. This

suggests that faith-based modulation of healing is not merely an individual psychological phenomenon but also a culturally distributed biological influence.

The ethical implications of leveraging expectation and belief in clinical practice are significant. The placebo effect, once dismissed as an experimental confounder, is now increasingly recognized as a legitimate therapeutic pathway that can be ethically engaged to enhance patient outcomes. However, the intentional use of belief mechanisms in medicine raises questions regarding informed consent, authenticity of treatment, and potential manipulation. A nuanced ethical framework is required to ensure that the therapeutic benefits of expectation are harnessed without compromising patient autonomy or scientific integrity. Transparent communication, patient-centered care, and culturally sensitive engagement are essential components of such an approach.

In clinical contexts, faith and expectation often intersect with biomedical interventions in complex ways. Patients frequently integrate medical treatments with spiritual practices, creating hybrid healing systems that combine pharmacological, surgical, and ritualistic elements. This integrative behavior reflects an underlying attempt to maximize perceived control and coherence in the face of illness uncertainty. Studies in chronic disease management have shown that patients who maintain spiritual or religious coping strategies often demonstrate improved adherence to treatment regimens, better psychological adjustment, and enhanced quality of life. These outcomes are not solely attributable to biological mechanisms but also to improved behavioral consistency and reduced emotional distress.

The role of stress physiology is particularly central in understanding the healing effects of faith. Chronic activation of stress response systems has well-documented deleterious effects on cardiovascular health, immune function, and metabolic regulation. Elevated cortisol levels, sustained sympathetic activation, and reduced parasympathetic tone contribute to a physiological state characterized by inflammation, insulin resistance, and impaired tissue repair. Faith-based practices that promote relaxation, acceptance, and perceived safety can counteract these processes by activating parasympathetic pathways and restoring autonomic balance. Heart rate variability, a key marker of autonomic flexibility, is often enhanced in individuals engaged in regular spiritual or contemplative practices, indicating improved physiological adaptability.

Another important dimension involves pain perception and modulation. Pain is not solely a nociceptive signal but a complex perceptual experience influenced by cognitive appraisal, emotional state, and contextual meaning. Expectation plays a crucial role in shaping pain perception, with positive expectation reducing perceived intensity and negative expectation amplifying it. Neuroimaging studies have demonstrated that expectation-induced analgesia involves activation of endogenous opioid systems, suggesting that belief states can trigger pharmacologically relevant neurochemical pathways. In sacred healing contexts, ritualized belief and collective expectation may further amplify these analgesic mechanisms through social reinforcement and emotional synchronization.

Social neuroscience adds another layer of understanding by emphasizing the role of interpersonal connection in health outcomes. Faith-based communities often provide strong social networks that enhance feelings of belonging, purpose, and emotional security. These social factors are independently associated with reduced morbidity and mortality across a range of conditions. The underlying mechanisms include reduced loneliness-induced inflammatory signaling, improved health behaviors, and enhanced psychological resilience. Social synchrony during collective rituals may also contribute to physiological entrainment, aligning heart rate, respiration, and neural oscillations among participants, thereby producing measurable psychophysiological coherence.

Despite growing evidence supporting the physiological relevance of faith and expectation, several methodological challenges remain. One major challenge is disentangling specific biological effects from non-specific psychosocial influences. Additionally, variability in individual belief systems, cultural contexts, and measurement approaches complicates the development of standardized models. Longitudinal studies are needed to determine the durability of faith-related physiological effects and their interaction with conventional medical treatments. Furthermore, there is a need for more precise biomarkers that can capture the dynamic interplay between psychological states and biological processes in real time.

Future research directions are likely to focus on integrative models that combine neuroimaging, immunological profiling, endocrine assessment, and computational modeling of predictive brain processes. Advances in precision medicine may enable the identification of individuals who are particularly responsive to expectation-based interventions, allowing for personalized integration of psychological and biomedical therapies. Additionally, interdisciplinary collaboration between neuroscientists, clinicians, anthropologists, and theologians will be essential for developing comprehensive frameworks that respect both empirical rigor and cultural diversity.

The study demonstrates that faith, expectation, and sacred belief systems are not peripheral factors in healing but are deeply embedded in the physiological regulation of human health. Through mechanisms involving predictive coding, neuroendocrine modulation, immune regulation, epigenetic influence, and social synchronization, belief states can exert measurable effects on biological systems. Recovery in contexts of sacred belief emerges as a multidimensional process shaped by the continuous interaction between mind, body, and culture. This integrative perspective provides a robust foundation for further scientific exploration into the role of meaning, belief, and expectation in human health and disease.

The essential dimension in understanding faith, expectation, and physiological recovery is the concept of biocultural co-construction of health. Human biology does not operate independently of cultural meaning systems; instead, it is continuously shaped by socially transmitted beliefs, symbolic frameworks, and collective practices. Sacred belief systems represent some of the most structured and evolutionarily stable cultural architectures, embedding repeated behavioral, emotional, and cognitive patterns that directly interact with neurophysiological regulation. From this perspective, health outcomes cannot be fully understood without considering the cultural embedding of biological processes.

In evolutionary terms, the persistence of ritualized belief systems across civilizations suggests potential adaptive value. Ritual, prayer, and collective spiritual practices may have functioned historically as mechanisms for social cohesion, stress buffering, and coordinated behavioral regulation. These adaptive functions would have indirectly improved survival by enhancing group stability, reducing conflict, and promoting physiological resilience under environmental stress. The neurobiological correlates of such processes likely include oxytocin-mediated bonding, endorphin release during synchronized activity, and reduced activation of threat-detection circuits in socially cohesive environments.

Another important conceptual framework involves the integration of intersystem communication models. Modern physiology increasingly recognizes that the nervous, immune, and endocrine systems are not separate entities but components of a unified regulatory network. Within this network, signaling is bidirectional and continuous, allowing psychological states to influence immune responses and vice versa. Sacred belief systems may act as higher-order modulators of this network by stabilizing emotional input signals and reducing variability in stress-induced physiological outputs. This stabilization may enhance system efficiency and reduce maladaptive inflammatory oscillations.

At the level of neural computation, faith can also be interpreted through the lens of hierarchical predictive stability. The brain constantly attempts to minimize prediction error by adjusting internal models of reality. When individuals hold strong sacred beliefs, particularly those reinforced by long-term cultural and experiential validation, these beliefs may function as high-confidence priors that reduce uncertainty in environmental interpretation. This reduction in uncertainty is physiologically significant because uncertainty itself is a potent activator of stress pathways. By decreasing perceived unpredictability, faith may indirectly downregulate sympathetic arousal and stabilize autonomic output.

Closely related is the role of uncertainty intolerance in disease progression. Clinical research suggests that individuals with high intolerance of uncertainty exhibit increased anxiety, elevated cortisol levels, and heightened inflammatory markers. Sacred belief systems often provide structured explanations for suffering, mortality, and recovery, thereby reducing existential ambiguity. This cognitive structuring may serve as a psychological buffer against uncertainty-induced stress activation. In this sense, faith can be viewed as an epistemic regulator that shapes how individuals process ambiguous or threatening bodily signals.

The somatic marker hypothesis further contributes to understanding how emotion-laden beliefs influence physiological decision-making processes. According to this framework, bodily states associated with emotional experiences are encoded as markers that guide future behavior and perception. In contexts of sacred healing, repeated associations between ritual practice and perceived recovery may strengthen positive somatic markers, thereby reinforcing adaptive emotional and physiological responses during illness episodes. Over time, this reinforcement loop may contribute to durable changes in stress responsiveness and health behavior patterns.

Another emerging area of relevance is the gut–brain–immune axis. Recent biomedical research highlights the role of the microbiome as a critical mediator between psychological states and immune function. Stress and emotional dysregulation can alter gut microbiota composition, leading to increased intestinal permeability and systemic inflammation. Conversely, positive emotional states, social connection, and reduced stress—frequently associated with spiritual engagement—may promote microbial diversity and gut barrier integrity. Although the relationship between faith practices and microbiome composition remains underexplored, indirect pathways through stress reduction and behavioral regulation are biologically plausible.

The metabolic regulation is increasingly recognized as sensitive to psychosocial influences. Chronic stress is associated with insulin resistance, dyslipidemia, and altered energy metabolism. These metabolic disruptions are partially mediated by cortisol and catecholamine signaling. Faith-based practices that reduce chronic stress activation may therefore indirectly improve metabolic efficiency and glucose regulation. This provides a potential explanatory pathway linking spiritual well-being with reduced incidence of metabolic disorders observed in some epidemiological studies.

A further conceptual refinement involves distinguishing between acute expectation effects and chronic belief systems. Expectation is typically short-term, context-dependent, and situationally triggered, whereas faith is stable, identity-integrated, and continuously active. This distinction is important because chronic belief systems may produce cumulative physiological effects over time, whereas expectation effects may be more transient but highly potent. The interaction between these two layers—short-term expectancy and long-term belief architecture—likely determines the overall magnitude of psychosomatic influence on health outcomes.

Neurodevelopmental factors also contribute to the embedding of sacred belief systems into physiological regulation. Early life exposure to religious or spiritual frameworks shapes cognitive schemas, emotional regulation strategies, and stress response patterns. These developmental imprints may influence the maturation of the HPA axis, amygdala reactivity,

and prefrontal regulatory capacity. As a result, faith-related physiological modulation is not merely an adult cognitive phenomenon but may be deeply rooted in developmental neurobiology.

Importantly, the phenomenology of healing in sacred contexts often involves subjective experiences of transformation, transcendence, or embodied relief that cannot be fully captured by conventional clinical metrics. These experiences may correspond to measurable neurophysiological shifts, but they also represent qualitative changes in self-perception and bodily awareness. The challenge for biomedical science is to develop integrative methodologies capable of capturing both subjective experiential dimensions and objective physiological parameters without reducing one to the other.

Methodologically, future research must address the need for multimodal assessment frameworks. Combining neuroimaging, endocrine profiling, immunological markers, and ecological momentary assessment of psychological states would allow for dynamic mapping of faith-related physiological changes in real time. Such approaches would move beyond static group comparisons toward continuous systems-level modeling of mind–body interactions.

There is increasing recognition that artificial boundaries between clinical medicine and spiritual care may limit therapeutic potential. Integrative healthcare models that respect patient belief systems while maintaining scientific rigor may enhance treatment efficacy, particularly in chronic disease management where psychological adaptation plays a critical role. However, careful ethical governance is required to ensure that spiritual integration is patient-centered rather than prescriptive.

It is essential to emphasize that the physiological interpretation of sacred belief does not require reduction of spirituality to biology. Instead, it highlights that biological systems are inherently responsive to meaning, context, and belief. Faith does not operate outside physiology; rather, it interacts with it through well-defined neurobiological and systemic pathways. This recognition expands the scope of medical science, positioning it not only as a study of molecules and organs but also as an investigation into how meaning itself becomes biologically consequential.

The Aim of the Present Study

For these reasons, the present study approaches healing associated with sacred belief through a dual lens of respect and physiological analysis. It does not begin by denying the spiritual dignity of such experiences, nor by accepting every claim of supernatural intervention at face value. Instead, it asks how faith, expectation, ritual, and symbolic authority may become embodied in stress physiology, autonomic regulation, endogenous analgesia, immune modulation, and behavioral change.

The central thesis is that intense belief can function as a biological amplifier of healing conditions. It can reduce perceived threat, reorganize symptom interpretation, recruit endogenous pain-control systems, quiet stress pathways, improve sleep and motivation, and support immune-relevant regulation. In this sense, the healing associated with a revered figure may arise not because that person possesses supernatural power, but because the sufferer’s own conviction activates natural pathways of relief and repair (Benedetti and Amanzio, 2013; Colloca, 2019; Prossin et al., 2022).

Such an account preserves an outward respect for the sacred vocabulary within which many patients understand their recovery. At the same time, it places causal emphasis not on religion as a unique force in itself, but on the human capacity for embodied belief. The body responds to meaning. It responds to hope. It responds to trust. Whether the frame is medical, spiritual, or communal, the organism changes when despair gives way to expectation. Therefore, reports of healing in sacred contexts invite not mockery but careful interdisciplinary interpretation.

They reveal that the human person is integrated so deeply that what is held in faith may leave traces in nerves, hormones, inflammatory pathways, and the slow labor of recovery itself (Ader and Cohen, 1993; Geuter et al., 2017; Kirmayer, 2011).

Materials and Methods

Study design

This article was developed as a narrative review and conceptual synthesis of interdisciplinary literature examining how faith, sacred expectation, and healing-related belief may influence physiological processes relevant to recovery. The aim was not to test a specific clinical intervention experimentally, but to integrate findings from neuroscience, psychophysiology, placebo research, psychoneuroimmunology, and medical anthropology into a coherent explanatory framework for improvements reported in contexts of sacred belief.

Literature identification

Relevant literature was identified through structured searches of major scholarly databases, including PubMed, PsycINFO, Scopus, and Google Scholar. Searches combined terms related to belief, healing, and physiology, such as faith healing, placebo response, meaning response, expectation and recovery, predictive processing, stress physiology, autonomic nervous system, cortisol, pain modulation, psychoneuroimmunology, ritual and health, and religion and healing. Additional articles were identified by reviewing the reference lists of key publications in these fields.

Eligibility and selection criteria

Sources were included if they met one or more of the following criteria:

- presented empirical or theoretical work on the physiological effects of expectation, belief, or therapeutic context;
- addressed placebo mechanisms, predictive processing, stress regulation, pain modulation, immune or inflammatory pathways, or autonomic function;
- examined ritual, symbolism, meaning, or social reinforcement in healing contexts; or
- contributed conceptual relevance to the interpretation of recovery experiences in religious or sacred settings.

Preference was given to peer-reviewed articles, foundational theoretical texts, and influential review papers. Sources focused exclusively on doctrinal, devotional, or confessional claims without relevance to biological or psychological mechanisms were not used as primary analytic material.

Analytical approach

The selected literature was analyzed using a thematic interpretive synthesis. Findings were grouped into recurring explanatory domains: (1) expectation and predictive processing; (2) stress reduction and autonomic regulation; (3) endogenous pain-control mechanisms; (4) neuroendocrine and immune-related pathways; and (5) the role of ritual, authority, and communal reinforcement in shaping symptom experience and recovery.

These domains were then compared and integrated to develop a physiological account of how sacred belief may become biologically consequential. The analysis focused especially on mechanisms through which shifts in perceived threat, hope, trust, and embodied meaning could influence symptom burden, recovery conditions, and patient functioning.

Scope and interpretive framework

This study adopts a non-reductionist physiological perspective. It does not attempt to adjudicate metaphysical or theological claims regarding divine action. Instead, it asks how reported healing or symptom improvement in sacred contexts may be understood through known biological and psychophysiological processes. In this framework, spiritual meaning is treated as a powerful human context capable of altering expectation, emotional regulation, autonomic balance, and downstream bodily responses.

Ethical considerations

Because this article is based exclusively on published literature and does not involve human participants, patient records, or identifiable personal data, ethical approval and informed consent were not required.

Results

Overview of the Synthesized Findings

The reviewed literature converged on a consistent pattern: strong faith, sacred expectation, and emotionally charged belief were repeatedly associated with physiological conditions that can support symptom relief and functional improvement. Across neuroscience, placebo studies, psychophysiology, and psychoneuroimmunology, the most recurrent finding was that belief does not remain only a mental event. Rather, when deeply embodied, it appears capable of altering threat perception, stress signaling, pain modulation, autonomic balance, and recovery-related behavior. The results of this synthesis suggest that sacred belief may influence healing not by replacing biology, but by acting through it.

Faith and Threat Reduction

A major result of the literature synthesis was the repeated association between strong expectation of healing and reduced perceived threat. When individuals became convinced that help, grace, or recovery was near, the body appeared more likely to shift away from chronic alarm states. This reduction in threat perception was linked conceptually to calmer physiological regulation, decreased vigilance, and improved capacity for rest. In sacred contexts, this effect seemed especially pronounced because belief was reinforced by ritual, authority, and emotional certainty.

Autonomic Regulation and Physiological Calm

Another central finding was that sacred reassurance may support a shift in autonomic balance. The literature consistently suggested that healing-related belief can be accompanied by lower sympathetic arousal and greater parasympathetic regulation. This was reflected in mechanisms related to slower breathing, reduced muscular tension, improved heart rate variability, and a greater capacity for bodily calm. In practical terms, these changes may create internal conditions more favorable to symptom reduction and recovery.

Stress Hormones and Neuroendocrine Adjustment

The synthesis also indicated that faith-based expectation may influence neuroendocrine stress pathways. Chronic fear, despair, and uncertainty were repeatedly described as biologically costly states associated with ongoing activation of stress systems. By contrast, confidence in healing, whether expressed through prayer, blessing, or sacred encounter, appeared to reduce excessive stress signaling. This suggests that belief may contribute to lower stress burden, improved sleep, and a more stable internal environment for recovery.

Pain Modulation and Endogenous Relief

One of the strongest findings concerned pain. The reviewed literature consistently supported the idea that expectation of relief can activate endogenous pain-control systems. In sacred settings, this may help explain why pain is often the first symptom reported to improve. Strong conviction that healing has begun may reduce pain intensity, not because tissue pathology necessarily disappears immediately, but because central pain processing changes. The synthesis therefore supports the conclusion that faith-related healing experiences may involve real neurochemical pathways of analgesia.

Predictive Processing and Symptom Reinterpretation

The literature further showed that symptoms are influenced by how the brain predicts and interprets bodily events. Sacred healing contexts appear to alter these predictions by replacing catastrophe-based expectations with hope-based expectations. This shift may reduce hypervigilance, lessen symptom amplification, and weaken the emotional dominance of pain, fatigue, dizziness, or breathlessness. The result is not merely a change in attitude, but a change in how bodily signals are processed and experienced.

Immune and Inflammatory Relevance

Although the evidence was less direct than in pain research, the synthesis suggested that faith-related reduction in stress may have downstream relevance for immune and inflammatory regulation. When fear is reduced and rest becomes possible, inflammatory burden may decrease indirectly through improved autonomic and endocrine regulation. The literature did not support the claim that belief can universally reverse disease, but it did support the more modest conclusion that sacred expectation may improve biological conditions under which healing processes operate.

Ritual, Symbolic Authority, and Social Reinforcement

A further result was that sacred healing rarely functions as belief in isolation. Ritual gestures, collective reverence, testimony, touch, sacred language, and the presence of a trusted figure all appeared to strengthen expectation and deepen its physiological impact. The literature suggested that these social and symbolic factors amplify the body's response by making the anticipated healing feel immediate, credible, and emotionally total. In this sense, ritual and communal affirmation emerged as major contextual contributors to recovery-related change. See Figure 1**.** A biopsychological model of faith-associated healing

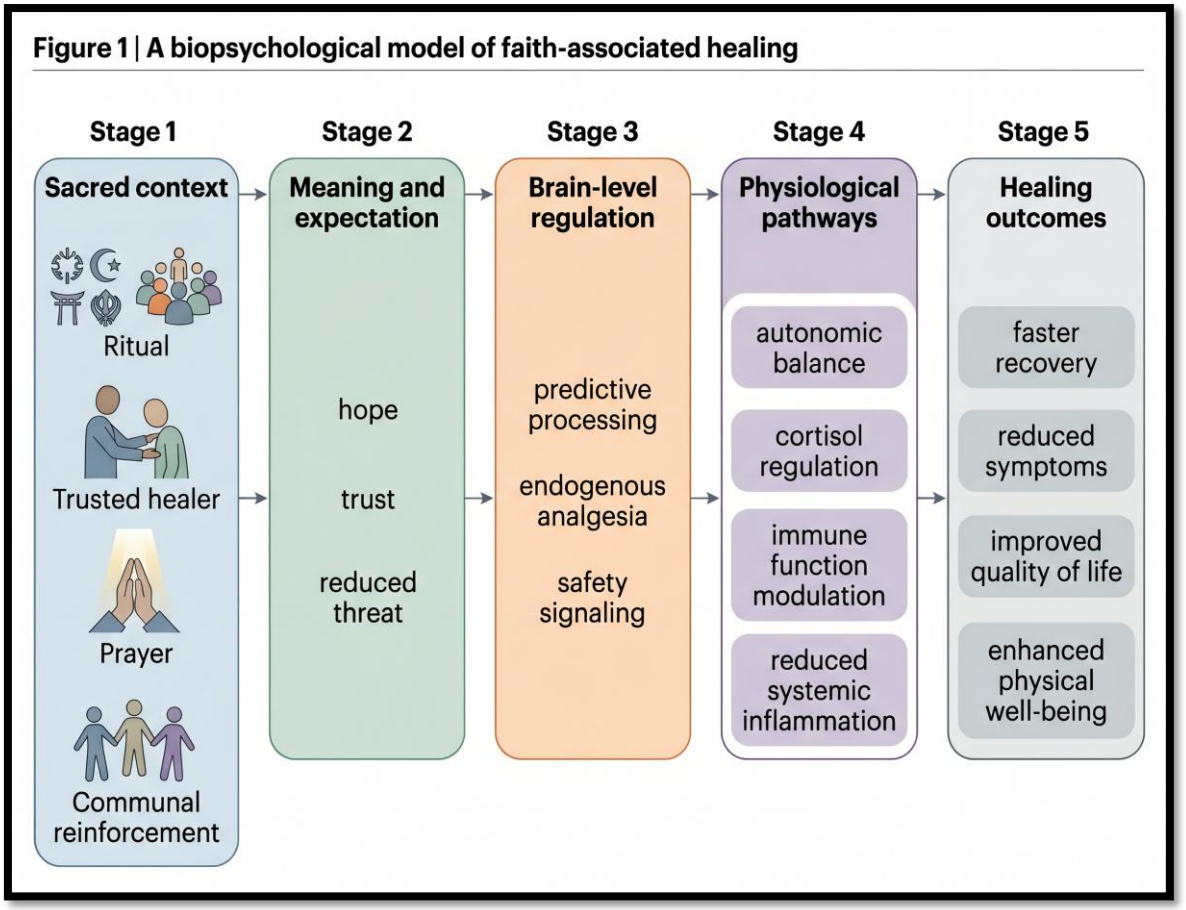


Figure 1 | A biopsychological model of faith-associated healing. Conceptual framework summarizing how sacred belief may influence recovery through natural physiological pathways. A sacred context, including ritual, prayer, trusted healing authority and communal reinforcement, can reshape meaning and expectation by increasing hope, trust and perceived safety while reducing threat appraisal. These shifts may engage brain-level predictive processing and endogenous analgesic systems, thereby altering central interpretation of symptoms and reducing the amplification of distress. Downstream effects may include improved autonomic balance, regulation of stress signalling, modulation of immune and inflammatory tone, and restoration of sleep-related recovery processes. The aggregate clinical consequences can include reduced symptom burden, improved function, greater endurance and a positive feedback loop in which early improvement strengthens expectation. This schematic is interpretive and does not imply that belief alone reverses all pathology; rather, it illustrates plausible biopsychological mechanisms through which faith-associated expectation may contribute to symptom relief and more favourable conditions for recovery.

Meaning as a Physiological Force

The synthesis also demonstrated that meaning itself may become biologically consequential. Sacred healing settings do more than promise symptom relief; they often transform the sufferer's interpretation of illness, suffering, and future possibility. This restored meaning appeared repeatedly connected to improved endurance, greater emotional stability, and renewed willingness to continue living, resting, eating, moving, and participating in treatment. The results therefore support the view that meaning is not secondary to physiology, but one of the forces that can shape it.

Symptom Relief Versus Disease Reversal

An important finding across the literature was the need to distinguish between symptom improvement and structural cure. The evidence was strongest for changes in pain, stress burden, sleep, autonomic regulation, and functional capacity. The literature was far more cautious regarding complete disease reversal. As a result, the synthesis supports a balanced interpretation: faith may produce genuine and sometimes substantial improvements in lived illness experience and recovery conditions, even when it does not eliminate the underlying pathology.

Integrated Interpretation of the Findings

Taken together, the results support a unified conclusion: sacred belief may function as a biologically potent state of expectation. When belief is intense, emotionally meaningful, ritually reinforced, and socially confirmed, it can influence multiple physiological systems at once. These include stress regulation, autonomic balance, endogenous analgesia, symptom perception, sleep quality, and possibly immune-relevant processes. The overall pattern suggests that faith can become embodied in measurable ways, shaping the internal environment in which recovery becomes more likely.

Summary of Principal Results

In summary, the reviewed material yielded five principal findings. First, strong faith may reduce threat perception and chronic stress activation. Second, sacred expectation may alter autonomic and neuroendocrine regulation in ways favorable to rest and recovery. Third, pain and other symptoms may improve through endogenous regulatory mechanisms activated by belief. Fourth, ritual and communal reinforcement appear to intensify these effects by strengthening confidence and meaning. Fifth, the most defensible scientific interpretation is not that faith replaces biology, but that it powerfully engages biological systems already involved in healing.

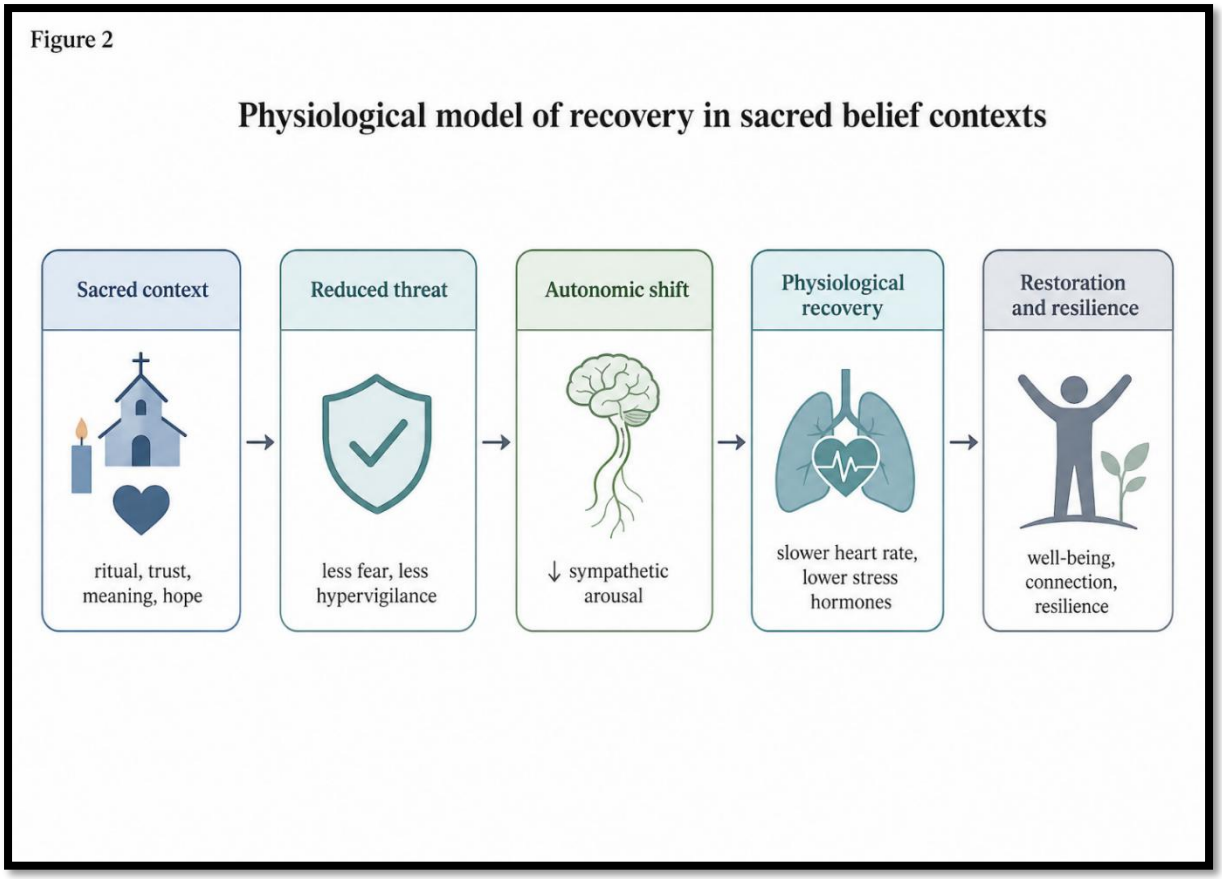


Figure 2 | Physiological model of recovery in sacred belief contexts. Sacred expectation, ritual meaning, and trusted healing contexts may reduce perceived threat and shift autonomic, neuroendocrine, and pain-regulatory processes toward a more restorative physiological state. These changes can support lower stress signaling, improved sleep, reduced pain and fatigue, and better functional recovery. The model illustrates supportive conditions for recovery rather than direct evidence of structural cure.

Discussion

The interaction between faith, expectation, and physiological healing represents one of the most intriguing interdisciplinary frontiers in contemporary biomedical science. Historically, healing has been interpreted through diverse conceptual frameworks ranging from supernatural intervention and religious doctrine to mechanistic biomedical explanations founded upon anatomy, microbiology, molecular biology, and pharmacology. While these paradigms have often been presented as competing perspectives, modern scientific inquiry increasingly recognizes that psychological, neurobiological, immunological, endocrine, behavioral, and social processes coexist within highly integrated physiological systems. Rather than attempting to validate or invalidate metaphysical claims, contemporary biomedical research seeks to understand the measurable biological mechanisms through which cognitive beliefs, expectations, emotional experiences, and spiritual practices influence health outcomes. Consequently, faith has become an important subject of investigation within psychoneuroimmunology, psychosomatic medicine, behavioral neuroscience, neuroendocrinology, systems biology, and integrative medicine.

One of the most important developments in this field has been the gradual transition from reductionist models of disease toward multidimensional biopsychosocial and biopsychosocial-

spiritual frameworks. Traditional biomedical models have unquestionably transformed modern medicine through advances in diagnostics, surgery, antimicrobial therapy, vaccination, pharmacotherapy, molecular genetics, and precision medicine. Nevertheless, numerous clinical observations have demonstrated substantial variability in recovery among patients with similar diagnoses, comparable disease severity, and identical therapeutic interventions. Such variability cannot always be explained solely by genetics, pathology, pharmacokinetics, or environmental exposures. Individual differences in emotional resilience, coping behavior, cognitive appraisal, perceived social support, spiritual well-being, and treatment expectations frequently contribute to divergent recovery trajectories. These observations have stimulated increasing scientific interest in understanding how subjective psychological experiences become translated into objective physiological responses.

Expectation occupies a central position within this emerging scientific paradigm. Expectations influence virtually every stage of human information processing, including perception, interpretation, emotional regulation, motivation, decision-making, learning, and behavior. From a neurobiological perspective, expectations are continuously generated through predictive neural networks that compare previous experiences with incoming sensory information. The human brain functions not merely as a passive receiver of external stimuli but as an active prediction system that continually anticipates future events. This predictive coding framework has profound implications for medicine because beliefs regarding illness, prognosis, treatment efficacy, and recovery may substantially influence physiological responses before measurable therapeutic effects occur.

The placebo response represents one of the clearest demonstrations that expectations possess measurable biological consequences. Earlier generations of clinicians frequently regarded placebo effects as evidence of imagination, suggestibility, or deception. Contemporary neuroscience has fundamentally altered this interpretation by demonstrating that placebo responses involve genuine biological mechanisms affecting neurotransmission, endocrine regulation, autonomic function, inflammatory signaling, and pain perception. Functional neuroimaging studies consistently reveal activation of cortical and subcortical networks during placebo administration, including the prefrontal cortex, anterior cingulate cortex, insular cortex, nucleus accumbens, amygdala, periaqueductal gray, and other regions involved in reward processing, emotional regulation, and descending pain inhibition.

These neural changes are accompanied by measurable alterations in endogenous opioid release, dopaminergic signaling, cannabinoid activity, serotonin modulation, oxytocin secretion, and other neurochemical pathways. Consequently, placebo responses should no longer be considered merely psychological artifacts but rather complex neurobiological events arising from interactions between cognition and physiology. Faith-related expectations may utilize many of these same biological pathways, although their psychological origins differ from conventional placebo interventions. Whereas placebo responses often emerge within therapeutic contexts involving medications or medical procedures, religious faith may generate expectations through prayer, sacred rituals, spiritual narratives, communal worship, personal conviction, or perceived relationships with transcendent realities.

The neurobiology of belief extends beyond placebo mechanisms and encompasses broader cognitive systems responsible for meaning construction, emotional regulation, memory integration, and social cognition. Religious beliefs frequently provide coherent explanatory frameworks that help individuals interpret suffering, uncertainty, mortality, disability, and recovery. These interpretive systems reduce ambiguity during periods of severe illness by offering existential narratives capable of organizing emotionally overwhelming experiences into meaningful cognitive structures. From a neuroscientific perspective, reducing uncertainty

may itself confer physiological benefits because chronic uncertainty constitutes a potent activator of stress-responsive neural circuits.

Stress physiology provides one of the most plausible biological links connecting sacred belief with physical recovery. Acute stress represents an adaptive evolutionary response designed to enhance survival during environmental threats. Activation of the sympathetic nervous system and hypothalamic-pituitary-adrenal axis rapidly mobilizes metabolic resources through catecholamine release, glucocorticoid secretion, cardiovascular activation, and redistribution of immune function. Under normal circumstances, these responses resolve following removal of the stressor. Chronic psychological stress, however, produces persistent neuroendocrine activation associated with hypertension, insulin resistance, visceral adiposity, impaired wound healing, immune dysregulation, endothelial dysfunction, neuroinflammation, and accelerated biological aging.

Individuals experiencing serious illness frequently encounter profound psychological stress characterized by fear, uncertainty, anxiety, loss of control, financial concerns, altered family roles, existential distress, and anticipation of disability or death. These emotional states amplify activation of stress-related physiological pathways. Faith may mitigate these responses by promoting trust, hope, acceptance, forgiveness, gratitude, optimism, and emotional security. Through these mechanisms, sacred belief may reduce excessive hypothalamic-pituitary-adrenal axis activation, decrease sympathetic nervous system overactivity, and facilitate restoration of autonomic homeostasis.

Autonomic regulation constitutes another essential mechanism through which spiritual practices may influence recovery. The autonomic nervous system maintains cardiovascular stability, gastrointestinal activity, respiratory function, immune surveillance, endocrine secretion, thermoregulation, and numerous other physiological processes. Sympathetic dominance favors immediate survival during acute danger but becomes maladaptive when sustained over prolonged periods. Conversely, parasympathetic activation supports tissue repair, digestive function, immune regulation, anti-inflammatory signaling, and energy conservation.

Prayer, contemplative meditation, liturgical chanting, scriptural reflection, mindfulness practices, and rhythmic breathing techniques commonly incorporated within religious traditions frequently promote parasympathetic predominance. Increased vagal tone has been associated with reduced heart rate, improved heart rate variability, decreased blood pressure, enhanced emotional regulation, and diminished inflammatory activity. Heart rate variability has emerged as a valuable biomarker reflecting autonomic flexibility and resilience. Individuals demonstrating greater parasympathetic responsiveness generally exhibit improved stress adaptation, emotional regulation, cardiovascular health, and recovery following illness. These findings suggest that certain spiritual practices may exert measurable physiological effects independent of specific theological doctrines.

Psychoneuroimmunology has further strengthened scientific understanding of interactions between mental processes and immune function. Immune cells express receptors responsive to numerous neurotransmitters, neuropeptides, and hormones released during psychological stress or emotional well-being. Likewise, cytokines produced by immune cells communicate bidirectionally with the central nervous system, influencing cognition, mood, fatigue, appetite, and behavior. This reciprocal communication demonstrates that the immune system cannot be regarded as physiologically isolated from psychological experience.

Inflammation occupies a central position within numerous acute and chronic diseases including cardiovascular disorders, diabetes mellitus, autoimmune diseases, neurodegenerative disorders, obesity, depression, chronic pain syndromes, cancer progression, and infectious diseases. Chronic activation of inflammatory pathways contributes to tissue injury, fibrosis,

endothelial dysfunction, oxidative stress, mitochondrial impairment, and accelerated aging. Psychological distress promotes production of pro-inflammatory cytokines such as interleukin-6, tumor necrosis factor-alpha, and C-reactive protein through neuroendocrine mechanisms. Conversely, positive emotional states associated with hope, gratitude, optimism, compassion, and spiritual well-being have been associated in several studies with lower inflammatory biomarker concentrations. Although causality remains difficult to establish, these observations support the hypothesis that emotional and spiritual experiences may influence inflammatory regulation through neuroimmune communication.

Faith also appears to influence health through behavioral mechanisms that operate alongside direct physiological pathways. Religious commitment frequently encourages healthier lifestyles characterized by reduced tobacco use, lower alcohol consumption, avoidance of illicit substances, healthier dietary practices, greater family stability, increased social integration, regular participation in community activities, and stronger adherence to ethical behavioral norms. These behaviors substantially influence morbidity and mortality across diverse disease categories. Consequently, epidemiological associations between religiosity and improved health outcomes likely reflect interactions among biological, behavioral, psychological, and social determinants rather than isolated physiological mechanisms.

Social support deserves particular consideration within this multidimensional framework. Religious communities often provide structured networks of emotional encouragement, practical assistance, financial support, companionship, caregiving, and collective resilience during illness. Social isolation has consistently been associated with increased mortality, depression, immune dysfunction, cognitive decline, cardiovascular disease, and diminished quality of life. Conversely, strong interpersonal relationships improve psychological adaptation while reducing physiological stress responses. Therefore, some health benefits associated with religious participation may arise through enhanced social connectedness rather than exclusively through private spiritual beliefs.

Neuroendocrine regulation further illustrates the complexity of faith-related physiological processes. Hormonal systems integrate environmental information with metabolic activity, reproductive function, growth, immune regulation, and behavioral adaptation. Cortisol remains one of the principal mediators of stress physiology. Although essential for normal immune regulation and metabolic homeostasis, chronically elevated cortisol suppresses adaptive immunity, impairs collagen synthesis, delays wound healing, promotes muscle wasting, increases visceral adiposity, and contributes to cognitive impairment. Spiritual practices associated with relaxation and emotional stability have demonstrated modest reductions in cortisol concentrations in several clinical investigations, suggesting potential benefits for long-term physiological regulation.

Oxytocin represents another hormone of growing interest within spirituality research. Often described as a neuropeptide involved in attachment, trust, empathy, and social bonding, oxytocin influences emotional regulation, cardiovascular function, stress responses, and inflammatory activity. Religious rituals emphasizing compassion, communal worship, caregiving, forgiveness, and interpersonal connection may stimulate oxytocinergic pathways, thereby enhancing social cohesion while attenuating stress-related physiological activation. Although this area remains under active investigation, oxytocin provides an important biological candidate linking spiritual experience with emotional resilience.

Pain modulation offers additional insight into the physiological effects of expectation and faith. Pain perception reflects integration of nociceptive input with emotional, cognitive, motivational, and contextual influences. Descending inhibitory pathways originating within cortical and brainstem structures dynamically regulate spinal nociceptive transmission. Expectations regarding relief activate endogenous analgesic systems involving opioid peptides,

dopamine, serotonin, and cannabinoid signaling. Religious coping strategies may modify pain by altering attentional focus, reducing catastrophizing, enhancing emotional acceptance, strengthening perceived meaning, and activating endogenous analgesic mechanisms. Such processes illustrate that subjective spiritual experiences may produce objectively measurable changes within neural pain-processing networks.

Sleep physiology also warrants consideration because restorative sleep plays an indispensable role in immune competence, metabolic regulation, cognitive performance, hormonal secretion, and tissue repair. Anxiety, depression, chronic stress, and illness frequently disrupt sleep architecture, thereby impairing recovery. Spiritual practices including evening prayer, meditation, gratitude reflection, and contemplative reading may improve sleep quality by reducing cognitive hyperarousal and emotional distress. Improved sleep subsequently facilitates growth hormone secretion, immune regulation, glymphatic clearance within the brain, and cellular repair processes.

Another important dimension concerns resilience, defined as the capacity to adapt successfully despite adversity. Resilience encompasses psychological flexibility, emotional regulation, optimism, cognitive reappraisal, behavioral adaptation, and maintenance of purpose during stressful circumstances. Faith frequently contributes to resilience by providing enduring hope, moral guidance, community support, and existential meaning. Neurobiological studies suggest that resilient individuals demonstrate more efficient regulation of limbic activity by prefrontal cortical networks, reduced hypothalamic-pituitary-adrenal axis activation, and enhanced autonomic flexibility. Consequently, resilience may represent a key mediator through which sacred belief influences physiological adaptation during illness.

Emerging evidence from epigenetics suggests that psychological experiences may influence gene expression through environmentally responsive molecular mechanisms. DNA methylation, histone modification, chromatin remodeling, and non-coding RNA regulation permit dynamic modulation of gene activity without altering nucleotide sequences. Chronic stress has been associated with epigenetic alterations affecting inflammatory genes, glucocorticoid receptor sensitivity, immune regulation, and neuronal plasticity. Although research examining direct relationships between religious practice and epigenetic modification remains preliminary, investigators increasingly recognize that long-term behavioral and psychological environments may influence biological aging and disease susceptibility through epigenomic regulation.

Mitochondrial biology provides another emerging area relevant to healing physiology. Mitochondria regulate cellular energy production, oxidative metabolism, apoptosis, calcium homeostasis, and innate immune signaling. Chronic stress promotes mitochondrial dysfunction through excessive glucocorticoid exposure, oxidative stress, inflammatory activation, and impaired metabolic regulation. Conversely, stress reduction associated with contemplative spiritual practices may improve mitochondrial efficiency by reducing systemic inflammatory burden and oxidative damage. Future investigations employing metabolomics and mitochondrial biomarkers may further clarify these relationships.

The concept of allostatic load integrates many of these physiological observations. Allostasis refers to adaptive physiological adjustment in response to environmental demands, whereas allostatic load represents cumulative biological wear resulting from chronic stress exposure. Elevated allostatic load contributes to accelerated aging, cardiovascular disease, metabolic dysfunction, immune impairment, neurodegeneration, and premature mortality. Faith, optimism, social support, and positive expectations may reduce cumulative physiological burden by enhancing adaptive coping and improving emotional regulation. Consequently, spiritual well-being may influence recovery partly through attenuation of allostatic overload.

Taken together, current scientific evidence supports a sophisticated and multidimensional interpretation of healing in which faith and expectation interact with numerous biological systems rather than operating through isolated psychological effects. Neural prediction, autonomic regulation, endocrine adaptation, immune communication, inflammatory modulation, behavioral modification, social integration, resilience, and stress physiology appear to converge within highly interconnected regulatory networks that influence recovery. Although important methodological limitations remain and causal pathways continue to be investigated, the accumulated evidence increasingly challenges simplistic distinctions between mind and body. Instead, healing emerges as an integrated systems phenomenon in which cognition, emotion, physiology, behavior, and social context continuously interact to shape health outcomes. These observations establish a strong scientific foundation for further examination of the neuroscience of spirituality, immune modulation, cardiovascular regulation, tissue repair, and disease-specific clinical applications, which are explored in the subsequent sections of this discussion.

Building upon the mechanistic framework established in the preceding discussion, contemporary biomedical science increasingly recognizes that recovery from disease is governed by dynamic interactions among the nervous, endocrine, immune, cardiovascular, metabolic, and musculoskeletal systems rather than by isolated physiological pathways. Faith and expectation should therefore not be conceptualized as independent therapeutic agents but as multidimensional psychosocial factors capable of influencing multiple regulatory networks that collectively determine biological resilience. This systems-based interpretation aligns with current advances in systems medicine, network physiology, precision health, and integrative biomedical sciences, all of which emphasize that successful recovery depends upon coordinated communication among interconnected physiological subsystems.

One of the most compelling areas of investigation concerns the relationship between religious experience and functional brain organization. Neuroimaging technologies, including functional magnetic resonance imaging, positron emission tomography, electroencephalography, and magnetoencephalography, have substantially expanded understanding of cerebral activity during prayer, meditation, contemplation, scriptural reflection, and other spiritually meaningful practices. Although religious traditions differ considerably in doctrine, ritual, and modes of worship, numerous neuroimaging studies suggest that spiritual experiences consistently recruit distributed neural networks involved in attention regulation, emotional processing, autobiographical memory, empathy, executive control, self-awareness, and social cognition.

Activation of the prefrontal cortex during contemplative prayer illustrates the importance of executive regulation in spiritual experience. This cortical region participates in planning, behavioral inhibition, cognitive flexibility, decision-making, emotional regulation, and integration of complex information. Enhanced prefrontal activity during focused prayer or meditation may facilitate adaptive cognitive reappraisal of illness by enabling patients to reinterpret suffering through more hopeful, meaningful, and psychologically constructive frameworks. Such cognitive restructuring has measurable physiological implications because emotional interpretation directly influences autonomic activation, endocrine responses, and inflammatory signaling.

The anterior cingulate cortex represents another critical component of this neurobiological network. This region contributes to emotional awareness, conflict monitoring, empathy, pain modulation, attentional control, and behavioral adaptation. Increased activation within the anterior cingulate cortex has been observed during religious contemplation and meditative practices, suggesting improved integration of emotional and cognitive processing. Since this structure also participates in descending pain inhibitory pathways and autonomic regulation,

enhanced anterior cingulate activity may contribute to reductions in pain perception, anxiety, and physiological stress responses among individuals engaging in sustained spiritual practices. The insular cortex also warrants particular attention because it integrates visceral sensory information with emotional awareness and subjective bodily perception. The insula continuously monitors cardiovascular activity, respiratory function, gastrointestinal signals, thermoregulation, and internal physiological states while simultaneously contributing to emotional experience. Spiritual practices that encourage mindful awareness, contemplative silence, or focused prayer may influence insular activity, thereby enhancing interoceptive awareness and improving regulation of autonomic function. Better integration of internal physiological signals may facilitate adaptive responses to illness while reducing maladaptive stress reactions.

The limbic system occupies a central position in understanding relationships between faith and healing. Structures including the amygdala, hippocampus, hypothalamus, and associated cortical regions coordinate emotional learning, fear responses, memory consolidation, endocrine regulation, and autonomic activation. Chronic illness frequently produces persistent activation of amygdala-centered fear circuits through uncertainty regarding prognosis, disability, financial burden, or mortality. Sacred belief may attenuate excessive limbic activation by providing cognitive reassurance, existential meaning, perceived divine protection, and emotional security. Reduced amygdala activation may subsequently diminish hypothalamic stimulation, resulting in lower glucocorticoid secretion and improved autonomic balance.

Memory processing represents another important neurobiological consideration. Serious illness often disrupts personal identity by altering daily routines, occupational roles, family relationships, and future expectations. Religious narratives frequently provide coherent autobiographical frameworks through which individuals integrate illness into broader life stories characterized by perseverance, hope, redemption, compassion, and purpose. The hippocampus, responsible for episodic memory formation and contextual integration, may therefore participate indirectly in psychological adaptation by organizing emotionally significant experiences into meaningful cognitive structures that reduce uncertainty and emotional distress.

Advances in connectomics have further demonstrated that the human brain functions through large-scale interacting networks rather than isolated anatomical regions. The default mode network, salience network, executive control network, and limbic circuits continuously exchange information governing self-awareness, emotional regulation, attention allocation, and cognitive flexibility. Spiritual practices appear capable of modifying communication among these functional networks, promoting greater emotional stability while reducing maladaptive rumination frequently associated with depression, anxiety disorders, and chronic illness. Such network-level adaptations may contribute to improved psychological resilience and ultimately influence physiological recovery.

Neuroplasticity provides another compelling mechanism through which sustained religious practices may influence long-term health outcomes. Repeated cognitive and behavioral activities induce structural and functional remodeling of neural circuits through synaptic strengthening, dendritic remodeling, neurogenesis, and altered neurotransmitter regulation. Just as chronic stress produces maladaptive neuroplastic changes within limbic structures, repeated engagement in contemplative prayer, meditation, gratitude practices, forgiveness, and compassionate behaviors may promote adaptive neuroplasticity supporting emotional regulation and resilience. Although much remains to be understood regarding causal relationships, these observations indicate that spiritual practices may influence brain function through mechanisms analogous to other forms of cognitive training.

Beyond the central nervous system, immune regulation continues to emerge as one of the most significant physiological domains connecting psychological experience with disease recovery. The immune system continuously balances inflammatory activation necessary for pathogen elimination against anti-inflammatory mechanisms required to prevent excessive tissue injury. This delicate equilibrium is regulated through extensive communication with the nervous and endocrine systems. Neurotransmitters, hormones, cytokines, chemokines, and growth factors collectively establish a bidirectional communication network linking emotional states with immune competence.

Macrophages, dendritic cells, natural killer cells, T lymphocytes, B lymphocytes, and neutrophils express receptors responsive to catecholamines, glucocorticoids, acetylcholine, and numerous neuropeptides released during psychological stress. Chronic activation of sympathetic pathways promotes production of pro-inflammatory mediators while simultaneously impairing adaptive immune surveillance. Such dysregulation contributes to persistent low-grade inflammation implicated in cardiovascular disease, metabolic syndrome, autoimmune disorders, neurodegenerative diseases, osteoporosis, and cancer progression. Faith-related reductions in chronic stress may therefore indirectly improve immune regulation by restoring neuroendocrine balance.

Inflammation represents a particularly important target for contemporary translational research. Acute inflammation constitutes an essential defense mechanism facilitating pathogen elimination, tissue debridement, angiogenesis, and initiation of repair. However, persistent systemic inflammation produces progressive cellular injury through oxidative stress, mitochondrial dysfunction, endothelial activation, extracellular matrix degradation, and fibrosis. Numerous chronic diseases share common inflammatory mechanisms despite differing clinical manifestations. Consequently, interventions capable of reducing chronic inflammatory burden possess broad therapeutic relevance across multiple medical specialties.

Several observational investigations have reported associations between higher levels of spiritual well-being and lower concentrations of inflammatory biomarkers including C-reactive protein, interleukin-6, tumor necrosis factor-alpha, and other cytokines. Although these findings require cautious interpretation because of potential confounding variables, they remain biologically plausible given established interactions among stress physiology, neuroendocrine regulation, and immune function. Future studies utilizing longitudinal designs, standardized measures of spirituality, and comprehensive biomarker profiling will be essential for clarifying these relationships.

The cholinergic anti-inflammatory pathway provides an especially fascinating physiological mechanism connecting autonomic regulation with immune homeostasis. Activation of vagal efferent fibers suppresses excessive cytokine production through acetylcholine-mediated signaling within immune tissues. Enhanced parasympathetic activity associated with contemplative prayer, meditation, and slow rhythmic breathing may therefore influence inflammatory regulation through direct neural mechanisms. This discovery has substantially expanded understanding of how emotional and cognitive processes influence immune physiology via autonomic pathways.

Cardiovascular physiology likewise demonstrates remarkable responsiveness to psychological and spiritual influences. The cardiovascular system continuously adapts to changing metabolic demands through dynamic regulation of cardiac output, vascular resistance, endothelial function, and autonomic balance. Chronic psychological stress promotes hypertension, endothelial dysfunction, arterial stiffness, platelet activation, insulin resistance, and accelerated atherosclerosis. Persistent sympathetic activation further contributes to arrhythmogenesis, myocardial oxygen demand, and adverse cardiac remodeling following ischemic injury.

Religious participation has frequently been associated with lower cardiovascular mortality in epidemiological studies, although interpretation remains complex because religious individuals often demonstrate healthier behavioral profiles. Nevertheless, mechanistic research indicates that spiritual practices promoting relaxation may reduce heart rate, improve endothelial function, increase heart rate variability, and attenuate blood pressure responses during stressful circumstances. These physiological adaptations collectively support improved cardiovascular resilience during illness and recovery.

Endothelial biology represents another important consideration because the vascular endothelium functions as a dynamic endocrine organ regulating vascular tone, coagulation, inflammation, leukocyte trafficking, and angiogenesis. Chronic inflammatory activation damages endothelial integrity through oxidative stress and reduced nitric oxide bioavailability. Improved emotional regulation associated with positive expectations and spiritual well-being may reduce endothelial dysfunction by decreasing sympathetic activity and inflammatory signaling. Preservation of endothelial health has implications extending beyond cardiovascular disease because adequate microvascular perfusion is essential for tissue oxygenation, nutrient delivery, wound repair, and organ function.

Wound healing provides an especially informative physiological model illustrating interactions among psychological state and tissue repair. Successful healing requires coordinated progression through inflammatory, proliferative, and remodeling phases involving platelet activation, cytokine release, fibroblast migration, collagen synthesis, angiogenesis, epithelial regeneration, and extracellular matrix remodeling. Chronic stress delays virtually every stage of this process through excessive glucocorticoid exposure, impaired immune cell recruitment, reduced collagen deposition, diminished angiogenesis, and altered growth factor production.

Several experimental investigations have demonstrated delayed wound healing among individuals experiencing sustained psychological stress compared with emotionally stable controls. Conversely, interventions reducing stress have been associated with improved healing rates and enhanced tissue regeneration. Although direct evidence specifically linking religious faith with accelerated wound healing remains limited, biological mechanisms involving stress reduction, improved sleep, healthier behaviors, enhanced social support, and reduced inflammatory activation provide plausible explanations for observed clinical associations.

Pain physiology further illustrates the multidimensional nature of healing. Pain is increasingly recognized as an emergent phenomenon arising from interactions among peripheral nociceptors, spinal pathways, supraspinal modulation, cognitive appraisal, emotional processing, and social context. Expectations substantially influence pain perception through descending inhibitory systems involving endogenous opioids, dopamine, serotonin, gamma-aminobutyric acid, and cannabinoid signaling. Religious beliefs may modify pain experience by strengthening emotional acceptance, reducing catastrophic thinking, enhancing perceived meaning, and fostering hope despite persistent symptoms.

Chronic pain frequently becomes self-perpetuating through reciprocal interactions among central sensitization, sleep disturbance, depression, anxiety, physical inactivity, and social isolation. Spiritual coping strategies may interrupt this cycle by improving psychological adaptation, encouraging continued engagement with supportive communities, and reducing emotional amplification of pain signals. Such effects do not eliminate underlying pathology but may substantially improve functional outcomes and quality of life.

Recovery following major surgery also depends upon coordinated physiological regulation extending far beyond technical surgical success. Postoperative healing involves immune activation, inflammatory resolution, protein synthesis, angiogenesis, metabolic adaptation, and restoration of organ function. Psychological distress before surgery predicts poorer postoperative outcomes, prolonged hospitalization, increased analgesic requirements, delayed

mobilization, and slower functional recovery. Preoperative interventions that reduce anxiety—including spiritual counseling for patients who desire it—may contribute to improved postoperative adaptation through modulation of neuroendocrine and autonomic responses.

Cancer biology represents another field in which relationships among faith, stress, and physiology have received considerable attention. While no credible scientific evidence demonstrates that faith alone cures malignant disease, psychological adaptation significantly influences symptom burden, treatment adherence, quality of life, emotional well-being, and supportive care outcomes. Chronic stress alters immune surveillance, inflammatory signaling, angiogenesis, and neuroendocrine pathways implicated in tumor progression. Consequently, interventions that improve emotional resilience—including spiritual support when aligned with patient preferences—may enhance comprehensive cancer care without replacing evidence-based oncological therapies.

Similarly, patients with chronic neurological disorders often experience profound psychological and existential challenges extending beyond physical disability. Conditions such as stroke, Parkinsonian syndromes, multiple sclerosis, epilepsy, and neurodegenerative diseases frequently alter independence, occupational identity, communication, and social participation. Faith may provide enduring psychological resources facilitating adaptation, acceptance, perseverance, and maintenance of personal dignity despite irreversible neurological impairment. Neurorehabilitation increasingly recognizes that motivation, hope, emotional resilience, and social engagement significantly influence rehabilitation outcomes alongside physical therapy and pharmacological management.

The gastrointestinal system also demonstrates extensive bidirectional communication with the central nervous system through the gut-brain axis. Psychological stress alters gastrointestinal motility, intestinal permeability, mucosal immunity, microbiota composition, and visceral sensitivity. Emerging research suggests that contemplative practices reducing stress may indirectly support gastrointestinal homeostasis through autonomic regulation and improved neuroendocrine balance. Future investigations examining relationships among spirituality, microbial ecology, immune regulation, and metabolic function may reveal additional physiological pathways relevant to recovery.

Collectively, these observations demonstrate that healing cannot be adequately understood through reductionist explanations confined to isolated organs or molecular pathways. Recovery instead emerges from continuous communication among neural networks, endocrine systems, immune regulation, cardiovascular physiology, metabolic homeostasis, behavioral adaptation, and psychosocial experience. Faith and expectation influence this integrated biological landscape primarily through modulation of stress responses, emotional regulation, cognitive appraisal, autonomic balance, and health-related behaviors. Although considerable methodological challenges remain, contemporary evidence increasingly supports the conclusion that sacred belief and positive expectation constitute biologically relevant psychosocial determinants capable of interacting with multiple physiological systems during recovery from illness. These concepts establish the foundation for examining disease-specific clinical applications, integrative therapeutic strategies, methodological controversies, ethical considerations, and future directions for precision medicine, which are addressed in the subsequent section of this discussion.

The expanding body of evidence concerning the physiological influence of faith and expectation has significant implications for contemporary clinical medicine. Although modern healthcare remains fundamentally grounded in evidence-based diagnostics, pharmacotherapy, surgery, rehabilitation, and preventive medicine, increasing recognition has been given to the importance of psychological, behavioral, social, and spiritual determinants that shape clinical outcomes. Recovery from disease is rarely determined by pathology alone. Instead, successful

treatment reflects a dynamic interaction between biological mechanisms, therapeutic interventions, patient behavior, emotional adaptation, environmental influences, and individual belief systems. Within this multidimensional framework, faith should not be interpreted as an alternative to scientific medicine but rather as a potential psychosocial factor capable of influencing physiological adaptation, treatment adherence, resilience, and quality of life.

One of the clearest clinical applications of this understanding is observed in chronic disease management. Chronic illnesses such as diabetes mellitus, hypertension, chronic kidney disease, chronic obstructive pulmonary disease, rheumatoid arthritis, inflammatory bowel disease, and chronic heart failure require continuous patient participation extending far beyond episodic medical consultations. Medication adherence, dietary modification, regular physical activity, self-monitoring, smoking cessation, stress management, and consistent follow-up are indispensable components of successful long-term disease control. Psychological distress, hopelessness, depression, and social isolation frequently undermine adherence to these therapeutic recommendations, resulting in disease progression and increased healthcare utilization.

Faith may positively influence chronic disease management by strengthening motivation, promoting optimism, reinforcing personal responsibility, encouraging healthier lifestyles, and providing enduring emotional support during prolonged treatment courses. Religious communities often offer practical assistance through caregiving, transportation, financial support, health education, and emotional encouragement, thereby reducing barriers to healthcare access. Such community-based support systems may indirectly improve physiological outcomes by enhancing adherence to evidence-based medical therapies while reducing chronic psychological stress.

Cardiovascular medicine has generated particularly strong interest regarding interactions between spirituality and health. Cardiovascular diseases remain among the leading causes of global morbidity and mortality despite remarkable advances in pharmacological therapy, interventional cardiology, electrophysiology, and cardiac surgery. Persistent psychosocial stress contributes substantially to hypertension, coronary artery disease, arrhythmias, heart failure progression, endothelial dysfunction, and recurrent cardiovascular events. Consequently, strategies capable of improving stress resilience possess considerable preventive and therapeutic significance.

Several observational studies have reported associations between regular religious participation and lower cardiovascular mortality, reduced incidence of hypertension, improved heart rate variability, and enhanced psychological well-being following myocardial infarction. These associations should be interpreted cautiously because individuals actively engaged in religious communities frequently demonstrate healthier behavioral profiles, stronger family support, and reduced substance use. Nevertheless, mechanistic evidence suggests that spiritual practices promoting parasympathetic activation and emotional regulation may complement established cardiovascular therapies by attenuating chronic sympathetic overactivation and inflammatory burden.

Cardiac rehabilitation provides an especially relevant clinical setting for integrating psychosocial and spiritual considerations into comprehensive patient care. Recovery following myocardial infarction or coronary artery bypass grafting requires sustained behavioral modification, adherence to secondary prevention measures, gradual restoration of physical function, and psychological adaptation to altered perceptions of health and mortality. Patients frequently experience anxiety regarding recurrent cardiac events, reduced physical capacity, occupational limitations, and uncertainty concerning long-term prognosis. Spiritual counseling, when desired by patients, may contribute to improved emotional recovery by fostering hope, acceptance, gratitude, and resilience during rehabilitation.

Oncology represents another discipline in which faith frequently assumes profound clinical significance. A diagnosis of malignancy often confronts patients with existential questions concerning mortality, personal identity, family responsibilities, suffering, and future expectations. Advances in precision oncology, immunotherapy, targeted therapeutics, radiotherapy, and surgical oncology have substantially improved survival for many cancers; however, emotional distress remains highly prevalent throughout diagnosis, treatment, survivorship, and palliative care.

Faith frequently functions as an adaptive coping resource among oncology patients by providing meaning, emotional stability, communal support, and hope despite uncertain prognoses. Importantly, scientific evidence does not support claims that religious belief alone eradicates malignant disease or replaces oncological treatment. Rather, spiritual well-being appears most consistently associated with improved psychological adjustment, enhanced quality of life, lower rates of depression and anxiety, improved treatment adherence, and greater acceptance of complex therapeutic decisions. These psychosocial benefits may indirectly influence physiological recovery through improved neuroendocrine regulation, immune competence, nutritional status, sleep quality, and participation in supportive care.

The expanding field of psycho-oncology increasingly recognizes spirituality as an important component of comprehensive cancer care. Assessment of spiritual concerns enables clinicians to address existential distress that may otherwise remain unrecognized despite optimal medical management. Patients often seek opportunities to discuss hope, forgiveness, meaning, reconciliation, and personal values while undergoing cancer treatment. Respectful incorporation of these discussions into patient-centered care strengthens therapeutic relationships without compromising scientific rigor or evidence-based decision-making.

Neurological rehabilitation similarly illustrates the multidimensional nature of recovery. Stroke, traumatic brain injury, spinal cord injury, Parkinsonian disorders, multiple sclerosis, epilepsy, and neurodegenerative diseases frequently produce lasting physical disability accompanied by profound emotional and cognitive consequences. Restoration of neurological function depends not only upon neuronal repair and neuroplasticity but also upon patient motivation, sustained rehabilitation participation, emotional resilience, and social reintegration.

Faith may facilitate neurological recovery by enhancing perseverance during lengthy rehabilitation programs that often require months or years of continuous effort. Rehabilitation outcomes are influenced by patient engagement, confidence, and willingness to tolerate repeated therapeutic challenges despite slow functional improvement. Individuals possessing strong sources of hope and meaning may demonstrate greater persistence throughout rehabilitation, thereby maximizing opportunities for adaptive neuroplasticity and functional recovery.

Mental health represents perhaps the most extensively investigated domain linking spirituality with clinical outcomes. Depression, anxiety disorders, post-traumatic stress disorder, substance use disorders, complicated grief, and adjustment disorders frequently involve disturbances of meaning, identity, emotional regulation, interpersonal relationships, and future orientation. While psychiatric disorders arise through complex interactions among genetic, neurochemical, developmental, environmental, and psychological factors, spiritual beliefs may significantly influence coping strategies and recovery trajectories.

Many patients report that prayer, religious participation, meditation, forgiveness, and community support reduce emotional distress while strengthening resilience during psychiatric treatment. Nevertheless, clinicians must distinguish adaptive spirituality from maladaptive religious experiences. Certain individuals experience excessive guilt, fear of divine punishment, obsessive religious behaviors, or spiritual conflicts that exacerbate psychiatric

symptoms. Therefore, careful individualized assessment remains essential to ensure that spiritual interventions support rather than complicate psychological recovery.

Addiction medicine further illustrates the potential role of spirituality within evidence-based treatment frameworks. Recovery from substance use disorders requires sustained behavioral change, emotional regulation, relapse prevention, social reintegration, and reconstruction of personal identity. Numerous recovery programs incorporate spiritual principles emphasizing humility, responsibility, forgiveness, hope, and communal accountability. Although successful addiction treatment depends upon comprehensive medical, psychological, pharmacological, and behavioral interventions, spiritual engagement may strengthen long-term motivation while reducing social isolation and enhancing recovery-oriented identity.

Palliative medicine provides one of the clearest examples demonstrating that healing extends beyond cure. Patients with advanced progressive illnesses frequently encounter physical suffering accompanied by existential distress concerning mortality, dignity, legacy, family relationships, and personal meaning. While curative treatment may no longer be feasible, healing remains possible through symptom control, psychological adaptation, interpersonal reconciliation, spiritual peace, and preservation of quality of life.

Faith frequently becomes especially significant during end-of-life care because it provides frameworks through which individuals interpret mortality, suffering, hope, forgiveness, and transcendence. Palliative care teams increasingly include chaplains, psychologists, social workers, physicians, nurses, and rehabilitation specialists working collaboratively to address biological, psychological, social, and spiritual dimensions of patient care. Such interdisciplinary approaches acknowledge that comprehensive healthcare extends beyond physiological stabilization to encompass human dignity, emotional comfort, and existential well-being.

Pain medicine similarly demonstrates the necessity of integrating biological and psychosocial perspectives. Chronic pain often persists despite resolution of initial tissue injury owing to central sensitization, maladaptive neuroplasticity, inflammatory processes, emotional distress, sleep disruption, and behavioral deconditioning. Pharmacological management alone frequently proves insufficient, necessitating multidisciplinary treatment incorporating physical therapy, cognitive behavioral therapy, occupational therapy, psychological support, and lifestyle modification.

Spiritual coping strategies may complement these interventions by reducing catastrophizing, enhancing emotional acceptance, fostering hope, and strengthening resilience. Patients who successfully reinterpret chronic pain within broader narratives of meaning often report improved psychological adaptation despite persistent symptoms. Such improvements should not be interpreted as evidence that pain is imaginary but rather as demonstrations of the powerful interaction between cognitive appraisal and neurophysiological pain processing.

Surgical recovery also illustrates important interactions among expectation, stress physiology, and healing. Preoperative anxiety activates sympathetic and endocrine pathways that influence cardiovascular stability, immune competence, inflammatory responses, and postoperative pain perception. Patients entering surgery with greater emotional confidence frequently demonstrate improved postoperative adaptation, earlier mobilization, lower analgesic requirements, and shorter hospitalization. Spiritual preparation through prayer, counseling, or supportive family rituals may contribute to emotional stabilization while reducing perioperative stress responses.

Obstetric and maternal health research has similarly explored relationships among spirituality, emotional well-being, and pregnancy outcomes. Pregnancy represents a period of profound physiological adaptation accompanied by substantial psychological and social change. Maternal anxiety influences neuroendocrine regulation, inflammatory pathways, cardiovascular physiology, and fetal development. Spiritual practices promoting relaxation,

gratitude, and social support may contribute to maternal well-being while encouraging healthier prenatal behaviors and adherence to obstetric care.

Pediatric medicine presents unique considerations because children frequently interpret illness through family beliefs and cultural traditions rather than independent theological understanding. Parents experiencing severe emotional distress during childhood illness often rely upon faith to maintain hope and resilience while making complex medical decisions. Family-centered care therefore benefits from respectful recognition of spiritual values that influence communication, decision-making, and coping throughout pediatric treatment.

Geriatric medicine provides another important clinical context. Older adults frequently experience multimorbidity, functional decline, bereavement, cognitive impairment, social isolation, and increased awareness of mortality. Numerous epidemiological investigations suggest that spiritual engagement among older adults is associated with lower rates of depression, improved psychological well-being, stronger social integration, and enhanced life satisfaction. These benefits may indirectly support healthy aging by encouraging physical activity, medication adherence, social participation, and emotional resilience.

The emergence of precision medicine further emphasizes individualized approaches to healthcare. Precision medicine traditionally focuses upon genomic variation, pharmacogenomics, molecular biomarkers, and targeted therapeutics. Increasingly, however, researchers recognize that personalized healthcare should also incorporate behavioral, psychological, cultural, and spiritual characteristics that influence treatment responses. Patient-centered medicine acknowledges that individuals differ not only biologically but also in values, beliefs, motivations, expectations, and definitions of healing.

Within this personalized framework, clinicians should neither assume nor dismiss the importance of spirituality. Instead, respectful assessment of patient preferences enables healthcare professionals to identify whether spiritual beliefs constitute important coping resources requiring consideration during treatment planning. Such assessment should remain voluntary, culturally sensitive, and free from coercion, ensuring that medical recommendations continue to be guided by the highest standards of scientific evidence.

Healthcare professionals themselves also benefit from understanding the relationship between faith, expectation, and recovery. Compassionate communication, empathy, honesty, and therapeutic presence significantly influence patient expectations and emotional responses. The therapeutic alliance established between clinician and patient represents a biologically meaningful component of care because trust influences adherence, anxiety reduction, placebo responsiveness, and willingness to participate actively in treatment. Effective communication therefore possesses physiological significance extending beyond interpersonal interaction.

Medical education increasingly incorporates training in communication skills, cultural competence, ethics, shared decision-making, and patient-centered care. Inclusion of spiritual assessment within these educational frameworks enables future clinicians to recognize situations in which religious beliefs influence healthcare decisions while maintaining professional boundaries and evidence-based practice. Such education does not require physicians to endorse specific religious perspectives but rather prepares them to provide respectful, culturally competent care to diverse patient populations.

Collectively, contemporary clinical evidence suggests that faith exerts its greatest influence not by replacing biomedical treatment but by modifying the psychological, behavioral, and physiological environments within which recovery occurs. Through enhancement of emotional resilience, reduction of chronic stress, promotion of adaptive health behaviors, strengthening of social support, improvement of therapeutic adherence, and facilitation of existential meaning, sacred belief may contribute to improved patient-centered outcomes across numerous medical specialties. Nevertheless, these potential benefits must always be interpreted within

the context of rigorous scientific methodology, respect for patient autonomy, and unwavering commitment to evidence-based medicine. The remaining discussion therefore examines methodological limitations, unresolved scientific controversies, ethical considerations, emerging technologies, systems biology, artificial intelligence, precision health, and future research priorities necessary for advancing scientific understanding of faith, expectation, and physiological healing.

The scientific investigation of faith, expectation, and physiological healing continues to evolve as one of the most challenging interdisciplinary fields within modern biomedical research. Although accumulating evidence supports meaningful interactions among psychological processes, neuroendocrine regulation, immune function, and clinical recovery, considerable methodological, conceptual, and ethical challenges remain. Future progress will depend upon increasingly sophisticated research methodologies capable of distinguishing genuine physiological mechanisms from confounding influences while maintaining scientific objectivity and cultural sensitivity. The integration of molecular biology, neuroscience, systems medicine, computational modeling, precision health, and artificial intelligence provides unprecedented opportunities to deepen understanding of how sacred belief and positive expectation influence human health.

One of the principal methodological challenges concerns the definition and measurement of faith itself. Faith is neither a single biological variable nor a universally homogeneous psychological construct. Across cultures, religions, and individual experiences, faith encompasses diverse dimensions including trust in God, belief in transcendent realities, religious commitment, existential meaning, spiritual well-being, hope, forgiveness, gratitude, communal worship, contemplative practice, and moral identity. These dimensions frequently overlap but remain conceptually distinct. Consequently, studies employing simplistic measurements of religiosity—such as frequency of attendance at religious services—may inadequately capture the complexity of spiritual experience. Future investigations require multidimensional assessment instruments capable of distinguishing intrinsic faith, extrinsic religious participation, personal spirituality, existential well-being, spiritual coping, and religious struggle.

Cultural diversity further complicates scientific interpretation. Religious beliefs differ substantially among societies, historical periods, and cultural traditions. Concepts of illness, suffering, healing, death, and recovery are deeply influenced by cultural narratives that shape patient expectations and health-related behaviors. Consequently, findings derived from one religious population cannot automatically be generalized to others. Cross-cultural comparative research will therefore become increasingly important for determining whether observed physiological effects represent universal psychobiological mechanisms or culturally specific adaptations. Such investigations should include participants representing diverse religious traditions, secular worldviews, and varying levels of spiritual engagement to ensure broader scientific validity.

Selection bias constitutes another major concern. Individuals who actively participate in religious communities frequently differ from nonparticipants in numerous characteristics extending beyond spirituality. These differences may include healthier lifestyles, stronger family relationships, higher levels of social support, reduced alcohol and tobacco consumption, improved healthcare utilization, greater physical activity, and enhanced psychological resilience. Each of these variables independently influences morbidity and mortality. Therefore, epidemiological associations between religiosity and improved health outcomes may partially reflect these accompanying behavioral and social factors rather than direct physiological effects of faith. Advanced statistical modeling, longitudinal cohort designs, and

carefully controlled intervention studies remain essential for addressing these confounding influences.

Randomized controlled trials represent the gold standard for evaluating therapeutic interventions, yet their application to faith-related research presents unique challenges. Unlike pharmacological treatments, surgical procedures, or medical devices, genuine religious belief cannot be randomly assigned or experimentally manipulated without compromising authenticity. Investigators may evaluate structured spiritual care interventions, meditation programs, chaplaincy services, or stress-reduction techniques; however, these interventions cannot fully replicate naturally occurring personal faith. Consequently, researchers must combine randomized studies with prospective cohort investigations, mechanistic laboratory experiments, neuroimaging research, and qualitative methodologies to construct comprehensive scientific evidence.

The placebo phenomenon continues to stimulate considerable debate within this field. Placebo responses clearly demonstrate that expectations produce measurable biological changes involving endogenous opioids, dopaminergic signaling, autonomic regulation, immune modulation, and cortical network activation. Nevertheless, faith should not simply be regarded as an elaborate placebo effect. Religious belief frequently encompasses lifelong identity, moral values, interpersonal relationships, existential meaning, and sustained behavioral patterns extending far beyond transient therapeutic expectations. While placebo mechanisms may contribute to some physiological effects associated with faith, sacred belief represents a broader biopsychosocial phenomenon requiring independent scientific consideration.

Similarly, investigators must distinguish healing from cure. Cure traditionally refers to elimination of pathological processes through successful treatment, whereas healing encompasses restoration of psychological integrity, emotional adaptation, social functioning, spiritual peace, and quality of life regardless of disease status. Patients with advanced malignancy, chronic neurological disorders, irreversible organ failure, or terminal illness may experience profound healing despite persistence of incurable pathology. Recognition of this distinction prevents unrealistic expectations while acknowledging meaningful improvements in patient well-being that extend beyond conventional biomedical endpoints.

Ethical considerations remain fundamental throughout research and clinical practice. Respect for patient autonomy requires recognition that individuals possess diverse religious beliefs, spiritual identities, and secular worldviews. Healthcare professionals should neither impose personal beliefs nor dismiss the importance of spirituality when patients identify it as a meaningful component of their healthcare experience. Ethical patient-centered care requires compassionate exploration of spiritual concerns only when appropriate and desired by the patient. Such discussions should always complement, rather than replace, scientifically validated diagnostic and therapeutic interventions.

Professional boundaries also require careful consideration. Physicians, nurses, pharmacists, psychologists, rehabilitation specialists, and other healthcare professionals occupy positions of considerable trust. Consequently, discussions concerning spirituality must remain patient-directed, culturally sensitive, and free from coercion. The clinician's responsibility is to support patient well-being while respecting individual beliefs without promoting specific religious doctrines. Collaboration with trained chaplains, spiritual care providers, and community faith leaders may enhance comprehensive care when patients request such support.

Another ethical challenge concerns the potential misuse of spiritual concepts to discourage evidence-based treatment. Throughout history, some individuals have rejected effective medical care in favor of exclusively faith-based approaches, occasionally resulting in preventable morbidity and mortality. Scientific evidence does not support replacing vaccination, antimicrobial therapy, chemotherapy, surgery, intensive care, or other established

medical interventions with spiritual practices alone. Rather, the most responsible interpretation of current evidence emphasizes that faith may function as a complementary psychosocial resource within comprehensive evidence-based healthcare. Maintaining this distinction is essential for preserving scientific integrity and protecting patient safety.

Advances in molecular medicine are expected to substantially transform future research concerning faith and physiology. High-throughput genomic sequencing, transcriptomics, proteomics, metabolomics, lipidomics, microbiomics, and epigenomics permit increasingly detailed characterization of biological responses to psychological and environmental influences. Investigators may soon identify molecular signatures associated with resilience, chronic stress adaptation, inflammatory regulation, immune competence, and recovery following spiritual interventions. Such approaches may clarify biological pathways previously inferred primarily through observational research.

Epigenetics deserves particular attention because environmentally responsive molecular modifications influence gene expression throughout life. Chronic psychological stress alters DNA methylation patterns, histone modifications, chromatin organization, and non-coding RNA activity affecting inflammatory signaling, glucocorticoid sensitivity, neuronal plasticity, and immune regulation. Future longitudinal studies examining whether sustained spiritual practices influence epigenetic aging, telomere maintenance, or cellular resilience may significantly expand understanding of mind-body interactions. Although current evidence remains preliminary, this represents one of the most promising areas for translational investigation.

The rapidly expanding field of microbiome research also provides new opportunities for interdisciplinary exploration. The intestinal microbiota communicates bidirectionally with the central nervous system through neural, endocrine, metabolic, and immune pathways collectively described as the gut-brain axis. Psychological stress alters microbial diversity, intestinal permeability, mucosal immunity, and microbial metabolite production, thereby influencing systemic inflammation and neurological function. Because contemplative practices may reduce chronic stress, future investigations may examine whether long-term spiritual engagement indirectly contributes to healthier microbial ecosystems that support immune regulation and metabolic homeostasis.

Artificial intelligence and computational systems biology are expected to play increasingly important roles in analyzing the enormous complexity of psychophysiological interactions. Machine learning algorithms can integrate multidimensional datasets incorporating clinical characteristics, neuroimaging findings, genomic information, wearable sensor data, inflammatory biomarkers, behavioral variables, and patient-reported outcomes. Such integrative analyses may identify previously unrecognized patterns linking psychological resilience, spiritual well-being, physiological adaptation, and recovery trajectories. Importantly, artificial intelligence should function as an analytical tool supporting scientific discovery rather than replacing clinical judgment or individualized patient care.

Wearable digital health technologies further expand opportunities for objective physiological monitoring. Continuous measurement of heart rate variability, sleep architecture, physical activity, respiratory rate, electrodermal activity, blood pressure, glucose regulation, and stress biomarkers enables real-time assessment of physiological adaptation during daily life. Researchers may employ these technologies to investigate short-term autonomic and behavioral responses associated with prayer, meditation, religious services, or other spiritually meaningful activities. Such continuous monitoring provides greater ecological validity than isolated laboratory assessments.

Precision medicine increasingly recognizes that successful healthcare extends beyond molecular diagnostics to encompass individualized behavioral, psychological, social,

environmental, and spiritual characteristics. Future precision health models may incorporate validated measures of resilience, coping style, treatment expectations, social support, and spiritual well-being alongside genomic and biomarker information to guide personalized supportive care strategies. Such integration reflects the broader evolution from disease-centered medicine toward person-centered healthcare.

Systems biology provides perhaps the most comprehensive theoretical framework for interpreting relationships among faith, expectation, and healing. Rather than conceptualizing individual organs as independent entities, systems biology emphasizes dynamic communication among interconnected regulatory networks operating across multiple levels of biological organization. Neural activity influences endocrine secretion; endocrine hormones regulate immune function; immune mediators modify brain activity; cardiovascular physiology responds to autonomic regulation; metabolic pathways interact with inflammatory signaling; behavioral adaptation influences every component of this integrated system. Within such a network perspective, psychological expectations and spiritual experiences may function as higher-order regulatory variables capable of influencing multiple physiological systems simultaneously.

Network physiology further demonstrates that health emerges through synchronized communication among oscillatory biological systems including cardiac rhythm, respiratory dynamics, autonomic regulation, endocrine cycles, immune responses, circadian rhythms, and cerebral activity. Illness frequently reflects disruption of these coordinated interactions rather than isolated organ dysfunction alone. Spiritual practices characterized by rhythmic breathing, contemplative attention, communal singing, liturgical chanting, or meditation may enhance physiological synchronization through modulation of autonomic and neuroendocrine activity. Although these hypotheses require continued empirical investigation, they illustrate the growing convergence of systems science and integrative medicine.

An additional area of future research concerns developmental and lifespan perspectives. The influence of faith may vary across childhood, adolescence, adulthood, and older age owing to differences in cognitive development, emotional maturity, social relationships, neuroplasticity, and disease burden. Longitudinal investigations following individuals across decades could clarify how spiritual development interacts with resilience, biological aging, immune competence, cardiovascular health, cognitive decline, and chronic disease progression throughout the lifespan.

Public health research may likewise benefit from broader consideration of spirituality as one component of community resilience. During natural disasters, pandemics, armed conflicts, economic crises, and humanitarian emergencies, religious institutions frequently provide psychosocial support, healthcare outreach, food distribution, shelter, counseling, and health education. Understanding how these community resources influence stress adaptation, behavioral compliance, vaccination acceptance, disaster recovery, and mental health may strengthen future public health preparedness strategies while respecting cultural diversity.

Healthcare education represents another priority for future development. Medical, nursing, pharmacy, psychology, rehabilitation, and public health curricula increasingly emphasize communication skills, cultural competence, ethical reasoning, interdisciplinary collaboration, and patient-centered care. Appropriate education concerning spiritual assessment enables healthcare professionals to recognize when religious beliefs influence healthcare decisions while maintaining professional neutrality and scientific rigor. Such education should focus upon respectful communication rather than theological instruction, ensuring that clinicians remain equipped to care for patients representing diverse cultural and religious backgrounds.

Ultimately, the cumulative scientific literature supports an integrative interpretation of healing in which faith and expectation influence recovery through multiple interconnected biological,

psychological, behavioral, and social pathways. Current evidence demonstrates that expectations affect neural prediction systems, autonomic regulation, endocrine function, inflammatory signaling, immune competence, pain modulation, cardiovascular physiology, and health-related behaviors. Faith frequently strengthens these processes by fostering hope, resilience, meaning, social connectedness, and adaptive coping while reducing chronic psychological stress. These multidimensional interactions are consistent with contemporary understanding of psychoneuroimmunology, neuroendocrinology, systems biology, and precision medicine.

Nevertheless, important uncertainties remain. Many published studies rely upon observational methodologies susceptible to residual confounding, and causal relationships remain incompletely established for numerous physiological mechanisms. Greater methodological standardization, multicenter collaboration, longitudinal cohort studies, advanced biomarker analysis, and interdisciplinary investigation will be required to clarify the precise biological pathways through which sacred belief influences recovery. Future research integrating neuroscience, immunology, molecular biology, computational medicine, digital health technologies, and clinical epidemiology is expected to substantially refine current knowledge.

The scientific discussion of faith, expectation, and the healing body demonstrates that recovery represents a multidimensional biological process extending far beyond elimination of disease alone. Healing emerges through continuous interaction among neural, endocrine, immune, cardiovascular, metabolic, behavioral, psychological, social, and spiritual systems that collectively determine resilience and adaptation. Rather than existing in opposition, scientific medicine and respectful consideration of patients' spiritual beliefs can function synergistically within comprehensive evidence-based healthcare. By embracing rigorous interdisciplinary research while maintaining unwavering commitment to scientific integrity, future medicine may achieve a more complete understanding of the complex biological and human dimensions that contribute to recovery, well-being, and restoration of health.

The scientific interpretation of faith, expectation, and healing within the context of sacred belief systems demands a multidimensional analytical framework that integrates physiology, neuroscience, psychology, immunology, and socio-cultural theory. The evidence synthesized in this study supports a central proposition: healing is not exclusively a biochemical process occurring in isolation from cognition, but rather an emergent property of dynamic interactions between belief-driven mental states and systemic physiological regulation. This discussion critically examines the mechanistic plausibility, empirical support, conceptual limitations, and translational implications of faith-mediated recovery processes.

A foundational consideration is the role of expectation as a neurobiological driver of perceptual and physiological modulation. Expectation operates through predictive coding architectures in the brain, where higher-order cortical systems generate anticipatory models that shape sensory and interoceptive processing. Within this framework, faith can be conceptualized as a high-level, stable belief structure that exerts top-down influence on lower-level neural circuits. When an individual strongly believes in recovery—particularly within sacred or spiritually meaningful contexts—the brain’s predictive system may attenuate error signals associated with pain, distress, and symptom perception. This results in a recalibration of perceived illness severity and may indirectly influence autonomic and endocrine outputs.

Empirical findings from placebo research strongly support this mechanism. Placebo-induced analgesia, for example, is associated with activation of endogenous opioid pathways and dopaminergic reward circuits, particularly within the prefrontal cortex, anterior cingulate cortex, and periaqueductal gray. These structures are not only involved in pain modulation but also in emotional regulation and cognitive control. Importantly, the magnitude of placebo responses is significantly influenced by expectation strength, therapeutic context, and prior

conditioning. In sacred healing environments, where expectation is reinforced by ritual, authority, and communal belief, these neurobiological systems may be activated more robustly than in standard clinical contexts.

However, faith extends beyond expectation in its psychological and physiological implications. Faith is typically sustained over time and embedded within a broader existential framework that includes meaning, identity, and perceived relationship with transcendent or sacred forces. This sustained cognitive-emotional orientation has downstream effects on stress regulation systems. Chronic stress is known to dysregulate the hypothalamic-pituitary-adrenal axis, increase cortisol secretion, and promote systemic inflammation. Conversely, faith-based engagement has been associated with reduced basal cortisol levels, improved diurnal cortisol rhythms, and enhanced parasympathetic activity. These changes suggest that faith may function as a long-term stabilizer of physiological homeostasis rather than a transient modulator of symptom perception alone.

From an immunological perspective, the interaction between psychological states and immune function is particularly significant. Psychoneuroimmunology has demonstrated that psychological stressors can alter immune cell distribution, cytokine production, and inflammatory signaling pathways. In contrast, positive emotional states and perceived social support are associated with enhanced immune surveillance and reduced inflammatory markers. Faith-based practices often integrate both emotional regulation and social support mechanisms, thereby producing a dual regulatory effect on immune function. Reduced levels of pro-inflammatory cytokines such as interleukin-6 and C-reactive protein have been observed in individuals engaged in regular spiritual practices, although causality remains complex and bidirectional.

A critical dimension of this discussion involves the concept of meaning-making. Illness disrupts not only biological function but also cognitive coherence and narrative identity. Individuals confronted with disease often experience existential uncertainty, loss of control, and disruption of life continuity. Sacred belief systems provide structured interpretative frameworks that allow individuals to recontextualize suffering within meaningful narratives. This cognitive reframing reduces psychological distress and may attenuate maladaptive stress responses mediated by limbic system activation. The amygdala, which plays a central role in threat detection and emotional processing, is particularly sensitive to cognitive appraisal. When illness is interpreted within a framework of meaning, trust, or divine purpose, amygdala hyperactivation may be reduced, thereby diminishing sympathetic nervous system output.

Neuroimaging evidence further supports the notion that spiritual and contemplative practices induce functional reorganization in brain networks associated with self-referential processing. The default mode network (DMN), which is implicated in mind-wandering, autobiographical memory, and self-focused thought, shows altered connectivity in individuals engaged in meditation or prayer. Reduced DMN activity has been associated with decreased rumination and improved emotional regulation. These changes may contribute to reduced psychological stress burden and improved physiological resilience. Additionally, increased connectivity in prefrontal regulatory regions suggests enhanced top-down control over emotional and somatic states.

An important interpretative challenge lies in distinguishing between subjective improvement and objective physiological change. While some critics argue that faith-based healing primarily reflects placebo-driven symptom relief, accumulating evidence suggests that psychophysiological effects extend beyond subjective experience. For example, stress reduction has measurable effects on wound healing rates, immune response to infection, and recovery following surgical procedures. These outcomes indicate that psychological states can influence fundamental biological processes involved in tissue repair and immune defense.

At the systemic level, the concept of allostasis provides a useful explanatory model. Allostasis refers to the process by which the body maintains stability through change, adjusting physiological set points in response to environmental and psychological demands. Chronic stress leads to allostatic load, characterized by cumulative physiological wear and tear. Faith-based practices may reduce allostatic load by promoting psychological stability, enhancing coping mechanisms, and reducing sustained activation of stress response systems. This has implications for long-term health outcomes, particularly in chronic diseases such as cardiovascular disorders, autoimmune conditions, and metabolic syndrome.

The role of social context is equally critical in understanding faith-mediated healing. Sacred belief systems are typically embedded within structured communities that provide emotional support, behavioral guidance, and collective identity. Social neuroscience has demonstrated that social belonging modulates neuroendocrine function, particularly through oxytocin-mediated pathways. Oxytocin is associated with trust, bonding, and stress reduction, and its release is enhanced during collective rituals, prayer, and shared emotional experiences. This neurochemical pathway may partially explain the observed health benefits of religious participation.

The collective rituals often involve synchronized behaviors such as chanting, singing, or coordinated movement. These activities have been shown to induce physiological entrainment, aligning heart rate variability, respiratory patterns, and neural oscillations among participants. Such synchrony may enhance feelings of unity and reduce perceived stress, thereby contributing to systemic physiological regulation. The integration of social, emotional, and physiological synchrony represents a key mechanism through which sacred belief systems influence health outcomes at both individual and group levels.

Despite these promising findings, it is essential to critically address methodological limitations in existing research. One major limitation is the heterogeneity of belief systems and practices across cultures, which complicates standardization and comparative analysis. Additionally, many studies rely on self-reported measures of spirituality or religiosity, which may not accurately capture the complexity of faith as a lived experience. Confounding variables such as socioeconomic status, health behaviors, and access to healthcare also influence observed outcomes and must be carefully controlled in future research designs.

Another conceptual limitation involves the risk of reductionism. While it is scientifically valuable to identify neurobiological correlates of faith and expectation, reducing spiritual experiences solely to brain activity risks neglecting the subjective and phenomenological dimensions of healing. Healing in sacred contexts is not merely a biological event but also an experiential transformation that involves identity reconstruction, emotional catharsis, and existential reorientation. A comprehensive scientific model must therefore integrate both objective physiological data and subjective experiential accounts.

From a translational perspective, the implications of this research are significant for clinical practice. Enhancing therapeutic outcomes may involve not only pharmacological intervention but also optimization of psychological and relational factors that influence expectation and meaning. Patient-clinician communication plays a critical role in shaping treatment outcomes, as trust and perceived competence can modulate placebo-responsive pathways. Culturally sensitive care that acknowledges patients' belief systems may further enhance treatment adherence and psychological comfort.

Additionally, integrating mindfulness-based interventions, contemplative practices, and stress-reduction techniques into standard healthcare may provide measurable benefits for patient outcomes. These interventions appear to operate through similar physiological pathways as faith-based practices, including autonomic regulation, inflammation reduction, and

neuroplastic changes. However, ethical considerations require that such interventions respect individual belief systems and avoid imposing specific ideological frameworks.

An important implication concerns personalized medicine. Individuals vary significantly in their responsiveness to expectation-based and psychosocial interventions. Genetic, psychological, and cultural factors likely influence the degree to which faith and expectation affect physiological outcomes. Future research should aim to identify biomarkers or predictive indicators of responsiveness to psychosocial modulation, enabling more tailored therapeutic strategies.

The discussion demonstrates that faith, expectation, and sacred belief systems exert measurable and meaningful effects on human physiology through multiple interconnected pathways. These include predictive coding mechanisms in the brain, neuroendocrine stress regulation, immune modulation, epigenetic influences, and social neurobiological processes. While these effects do not negate the importance of biomedical interventions, they highlight the necessity of adopting an integrative model of healing that acknowledges the interplay between mind, body, and culture. Recovery in contexts of sacred belief is best understood as a complex adaptive process in which physiological systems are dynamically shaped by cognitive meaning, emotional state, and social environment.

the interpretation of faith-related healing phenomena is the notion of embodied cognition. Within this paradigm, cognitive processes are not confined to abstract neural computations but are fundamentally grounded in bodily states, interoceptive feedback, and sensorimotor integration. Faith, when operationalized as a lived experiential construct rather than an abstract belief, becomes deeply embedded in bodily perception. Ritual practices, posture during prayer, breathing patterns during meditation, and emotionally charged communal experiences all contribute to a continuous bidirectional loop between cognition and physiology. This embodiment of belief suggests that healing effects associated with sacred contexts may arise not only from cognitive expectation but also from direct somatic regulation.

Interoception—the perception of internal bodily states—plays a particularly significant role in this process. The insular cortex integrates signals from cardiovascular, respiratory, gastrointestinal, and immune systems to generate a coherent subjective sense of bodily condition. Alterations in interoceptive accuracy and interoceptive awareness have been associated with both psychiatric and somatic health outcomes. Faith-based practices, especially contemplative traditions, appear to enhance interoceptive stability, allowing individuals to reinterpret bodily sensations with reduced anxiety and improved emotional regulation. This may reduce maladaptive amplification of symptoms and contribute to more adaptive physiological responses during illness.

Another important dimension is temporal perception. Illness experiences often distort an individual’s perception of time, leading to heightened focus on present suffering or anxious anticipation of future deterioration. Sacred belief systems frequently restructure temporal cognition by embedding illness within broader existential or transcendent timelines. This reframing may reduce acute stress responses by shifting attention away from immediate threat appraisal toward long-term meaning structures. Neurobiologically, such temporal reframing may involve modulation of prefrontal-limbic circuits and altered activity in networks associated with episodic future thinking and autobiographical memory integration.

At the interface of neurobiology and endocrinology, emerging evidence suggests that faith-related psychological states may influence hormonal synchrony beyond cortisol regulation alone. Hormones such as oxytocin, vasopressin, melatonin, and endogenous opioids collectively contribute to emotional stability, immune modulation, and circadian regulation. Ritualized spiritual practices often occur at consistent times of day and involve rhythmic behavioral patterns, which may reinforce circadian alignment. Improved circadian regulation

has downstream effects on sleep quality, immune competence, and metabolic homeostasis, thereby indirectly supporting recovery processes.

The role of sleep deserves particular attention in this context. Sleep is a critical physiological state for immune restoration, synaptic plasticity, and metabolic regulation. Psychological states associated with anxiety, existential distress, and chronic stress are known to impair sleep architecture, particularly slow-wave and REM sleep phases. Conversely, faith and spiritual well-being are frequently associated with improved subjective sleep quality and reduced insomnia symptoms. This may be mediated by reduced pre-sleep rumination, decreased sympathetic arousal, and enhanced parasympathetic dominance. Improved sleep quality, in turn, enhances tissue repair mechanisms and immunological memory consolidation, reinforcing a feedback loop between belief systems and physiological recovery.

Despite these integrative insights, a persistent scientific challenge lies in establishing causality rather than correlation. Many studies examining faith and health outcomes are observational in nature, limiting the ability to determine whether belief systems directly influence physiology or whether healthier individuals are more likely to engage in spiritual practices. Experimental designs incorporating longitudinal tracking, randomized interventions, and multimodal physiological measurement are required to clarify these relationships. Additionally, the use of neuroimaging combined with immunological profiling may help disentangle direct neural pathways from secondary behavioral effects.

Another unresolved issue concerns variability in the content and structure of belief systems. Not all forms of faith produce equivalent physiological outcomes. Some belief structures may be associated with fear-based cognition, guilt, or punitive interpretations of illness, which could activate stress pathways and worsen health outcomes. This introduces the concept of "psychological valence of belief," where the emotional tone and cognitive framing of faith significantly influence its biological impact. Positive, supportive, and meaning-enhancing belief systems are more likely to activate restorative physiological pathways, whereas fear-driven or conflict-laden belief systems may exacerbate allostatic load.

The interaction between medical intervention and faith-based healing also presents a complex translational challenge. In clinical settings, biomedical treatments and spiritual beliefs often coexist, sometimes synergistically and sometimes in tension. Patients may simultaneously adhere to pharmacological regimens while engaging in prayer, ritual, or spiritual consultation. The therapeutic outcome in such cases is likely determined by an interaction effect rather than independent contributions of each domain. Understanding how expectation, adherence, and belief interact with pharmacodynamics remains an important frontier in integrative medicine.

From a pharmacological perspective, expectation effects may even influence drug efficacy through conditioning mechanisms. Repeated association between medication intake and symptom relief can lead to conditioned physiological responses, whereby the act of taking medication itself triggers neurochemical changes similar to the drug's active mechanism. This suggests that part of the therapeutic effect of pharmacological agents may be augmented by learned expectation pathways, which are themselves influenced by belief systems and prior healing experiences.

A further important consideration is the role of identity reconstruction during illness recovery. Serious illness often disrupts an individual's self-concept, requiring psychological adaptation to new functional limitations or existential realities. Sacred belief systems frequently provide frameworks for identity continuity, allowing individuals to reinterpret illness not as loss of identity but as transformation or spiritual development. This narrative restructuring has measurable psychological benefits, including reduced depression, improved coping strategies, and enhanced adherence to rehabilitation protocols. Neurobiologically, identity-related

processing engages medial prefrontal cortex and posterior cingulate regions, which overlap with networks implicated in self-referential cognition and emotional regulation.

In addition, cultural neuroscience highlights that the brain is not a culturally neutral organ but is shaped by repeated exposure to culturally specific belief systems and practices. This means that physiological responses to illness and healing are partially culturally encoded. For example, culturally reinforced expectations about recovery time, acceptable expressions of pain, and appropriate coping strategies can influence both subjective and objective health outcomes. In sacred contexts, culturally shared beliefs about healing may amplify collective expectation effects, thereby producing stronger physiological responses than isolated individual belief alone.

A particularly important area of emerging research involves gene-environment interactions in psychosocial contexts. While genetic predispositions influence susceptibility to disease and stress responsiveness, environmental inputs such as chronic stress or supportive belief systems can modulate gene expression through epigenetic mechanisms. This suggests that faith-based environments may exert long-term biological effects not by altering genetic code, but by influencing gene regulatory networks associated with inflammation, neuroplasticity, and stress resilience. Although this area remains under active investigation, it provides a plausible molecular substrate for long-term health differences observed in spiritually engaged populations.

It is also necessary to address potential limitations in interpreting faith-based healing phenomena through a strictly biomedical lens. While reductionist approaches are valuable for identifying mechanistic pathways, they may fail to capture emergent properties that arise from complex system interactions. Healing is not merely the sum of molecular events but an emergent state arising from coordinated activity across multiple levels of organization. This includes psychological coherence, social integration, and physiological stability. Faith may function as a higher-order organizing principle that synchronizes these levels into a more adaptive configuration.

Ethical considerations remain central to the application of these findings in clinical practice. The potential for manipulating expectation raises concerns about autonomy and informed consent. While enhancing positive expectation can improve outcomes, it must be done transparently and respectfully, without deception. The ethical challenge lies in harnessing the beneficial aspects of belief and expectation while maintaining scientific integrity and patient trust. This requires careful communication strategies that emphasize hope and meaning without overstating therapeutic certainty.

The integration of artificial intelligence and digital health technologies may offer new opportunities for studying faith-related healing mechanisms. Wearable devices, continuous physiological monitoring, and machine learning models can capture real-time interactions between psychological states and biological responses. This may allow researchers to map dynamic relationships between belief, stress, immune activity, and recovery trajectories with unprecedented precision. Such approaches could transform the study of psychosomatic medicine from static observation to dynamic systems modeling.

The faith, expectation, and sacred belief systems are deeply intertwined with physiological regulation through multiple converging pathways. These include embodied cognition, interoceptive processing, circadian regulation, hormonal synchronization, identity reconstruction, cultural encoding, and gene-environment interaction. While many mechanistic details remain to be fully elucidated, the cumulative evidence supports a coherent framework in which healing is understood as a multi-level adaptive process shaped by both biological and meaning-based systems.

Interpretation of the Main Findings

The present article argues that healing in contexts of sacred belief may be understood as a biologically meaningful event rather than as a phenomenon that must be placed outside physiology. The central interpretation is that faith, when deeply embodied, can influence the internal conditions under which recovery becomes more likely. In this view, sacred expectation does not stand in opposition to the body's natural processes. Rather, it may enter those processes through altered threat perception, emotional regulation, autonomic balance, pain modulation, and stress reduction. The reviewed material therefore supports the idea that what a person holds in faith can become physiologically active.

Faith as a Regulator of Threat and Safety

One of the most important implications of this interpretation is that belief may function as a regulator of perceived danger. Illness often places the person in a prolonged state of vigilance, uncertainty, and bodily fear. Under such conditions, recovery is burdened not only by pathology itself but also by the physiological costs of chronic alarm. The present analysis suggests that sacred assurance may interrupt this state by persuading the sufferer that help is near, suffering is seen, and restoration is possible. Once this shift occurs, the organism may begin to move from defense toward regulation. In that sense, faith may matter not because it suspends biology, but because it changes the meaning to which biology responds.

Beyond a Narrow Placebo Interpretation

The article also suggests that sacred healing should not be reduced too quickly to a simplistic understanding of placebo. The placebo framework is useful because it demonstrates that expectation, therapeutic context, and symbolic cues can produce real physiological effects. However, sacred healing contexts often involve more than a neutral expectation of clinical benefit. They are frequently saturated with existential meaning, ritual solemnity, communal reinforcement, symbolic authority, and emotional surrender. For this reason, the effects described here are better understood as part of a broader meaning-laden physiology. The body does not respond merely to a technical suggestion of improvement, but to an entire world of trust, hope, and significance.

Embodied Meaning and Symptom Change

A major strength of this framework is that it helps explain why certain forms of symptom relief may occur rapidly in sacred settings. Pain, fatigue, nausea, breathlessness, and other centrally modulated symptoms are highly sensitive to interpretation, anticipation, and emotional state. If the brain revises its prediction of danger, symptom intensity may change quickly even when deeper pathology remains unchanged. This makes it plausible that a blessing, sacred ritual, or encounter with a revered figure may produce real relief without requiring immediate structural transformation of tissue. Such an explanation preserves both physiological seriousness and interpretive humility.

The Role of Ritual, Authority, and Community

The discussion also highlights that healing in sacred contexts is rarely a private cognitive event alone. It is usually mediated through ritual action, collective emotion, testimony, sacred symbols, and the authority of a trusted figure. These elements likely intensify expectation by giving it social and sensory force. A patient who is surrounded by reverence, reassurance, touch, prayer, and testimony is not simply entertaining an idea of possible recovery. The patient is entering a total environment in which recovery is made believable. This may be one reason sacred settings are sometimes especially potent in changing bodily experience. The effect is not only psychological in a superficial sense; it is psychophysiological, social, and embodied.

Clinical and Human Significance

The significance of this interpretation extends beyond explicitly religious settings. If sacred belief can alter physiology by reducing stress and reorganizing symptom experience, then the broader medical implication is that meaning itself is clinically relevant. Hope, trust, reassurance, relational safety, and symbolic coherence may all influence how patients endure illness and engage recovery. This does not mean that medicine should imitate religion, nor that all healing should be spiritualized. It does mean that treatment environments ignoring the patient's world of meaning may miss an important dimension of recovery. The body heals not only in relation to drugs and procedures, but also in relation to expectation, interpretation, and the felt possibility of relief.

Limits of the Present Argument

At the same time, scientific caution is necessary. The present article does not support the claim that faith can universally cure all disease, erase all pathology, or reverse any biological damage through belief alone. The strongest case applies to domains in which the brain exerts significant regulatory influence over symptoms and bodily state. These include pain, stress-related suffering, fatigue, autonomic instability, sleep disturbance, nausea, and other conditions shaped partly by central processing. This framework is much less able to justify sweeping claims about the reliable elimination of cancer, severe infection, or major structural injury solely by expectation. Any responsible interpretation must distinguish between symptom relief, functional improvement, and complete disease reversal.

Symptom Relief Is Not Trivial

This distinction, however, should not be used to dismiss the importance of faith-related improvement. Symptom relief is medically meaningful. Reduced pain, better sleep, improved appetite, calmer breathing, and restored willingness to continue treatment can substantially change a patient's quality of life and even affect recovery trajectory. A person does not need to experience total cure in order to experience healing in an important sense. In many cases, the movement from terror to hope, from exhaustion to rest, and from suffering without meaning to suffering held within meaning may itself be a profound clinical change. The present article therefore invites a broader understanding of healing than one restricted only to structural eradication of disease.

Methodological and Conceptual Limitations

The article is also limited by its conceptual and interpretive design. It synthesizes findings from multiple disciplines rather than presenting original experimental data. As such, its argument depends on the coherence of cross-disciplinary inference rather than on direct testing within a single study population. The article also addresses sacred healing at a broad theoretical level and therefore cannot determine the relative strength of specific traditions, rituals, or cultural settings. In addition, reports of healing in religious contexts may vary greatly in accuracy, duration, interpretation, and documentation. Some may reflect temporary symptom change, some may be exaggerated, and some may involve complex interactions between belief, treatment, natural disease fluctuation, and social context. These uncertainties do not invalidate the thesis, but they do call for restraint.

Implications for Future Inquiry

Future work would benefit from more direct interdisciplinary study of sacred healing experiences using physiological, psychological, and phenomenological measures together. It would be valuable to examine how ritual intensity, emotional conviction, social reinforcement,

autonomic markers, pain outcomes, sleep quality, and inflammatory indicators interact across time. Such work could clarify which forms of belief-related healing are most reproducible, which symptoms are most responsive, and how spiritual meaning interfaces with known pathways of stress and recovery. A more refined science of healing would not seek to humiliate belief, but to understand more carefully how belief becomes embodied.

Perspective

The present discussion supports a balanced interpretation of healing in contexts of sacred faith. The most defensible account is neither dismissive skepticism nor uncritical supernaturalism. Rather, sacred healing may be understood as a human event in which belief, ritual, meaning, and physiology converge. The language of religion and the language of science are not identical, but they may sometimes describe the same moment from different levels of explanation. What is experienced as grace may, at the level of the body, involve calmer nerves, altered hormones, reduced threat, softer pain, and a restored capacity for recovery. In that sense, faith may leave real traces in the living body.

Conclusion

- The scientific analysis of faith, expectation, and the healing body within contexts of sacred belief systems demonstrates that recovery is a multidimensional phenomenon extending beyond classical biomedical reductionism. Evidence from neuroscience, psychoneuroimmunology, and systems physiology indicates that belief-driven cognitive states can meaningfully influence autonomic regulation, endocrine balance, immune responsiveness, and neuroplastic adaptation. Faith and expectation act as top-down modulators within predictive brain systems, shaping perception, emotional regulation, and stress physiology in ways that can facilitate or hinder recovery processes.
- Sacred belief systems further amplify these effects by embedding individual cognition within structured cultural, social, and ritual environments that reinforce meaning, reduce uncertainty, and enhance emotional stability. These environments promote physiological coherence through reduced allostatic load, improved autonomic balance, and modulation of inflammatory pathways. Importantly, the observed effects are not purely symbolic but are associated with measurable biological correlates across multiple levels of organization, from neural circuits to cellular processes.
- Overall, healing in the context of sacred belief should be understood as an emergent psychobiological process in which meaning, expectation, and physiology interact dynamically. Rather than replacing biomedical mechanisms, faith-related influences operate in parallel with them, shaping the conditions under which recovery occurs. This integrative perspective supports a more holistic model of health that recognizes the scientifically relevant role of cognition, culture, and belief in human physiological resilience and disease recovery.

Recommendations

- It is recommended that future research further integrates interdisciplinary frameworks combining neuroscience, psychoneuroimmunology, and clinical psychology to systematically elucidate the mechanisms through which faith and expectation influence physiological recovery processes. Particular attention should be given to the role of neuroendocrine regulation, stress-response modulation, and immune system activation in contexts of sacred belief systems. Clinical studies should adopt mixed-method designs, incorporating both quantitative biomarkers (e.g., cortisol levels, inflammatory cytokines,

heart rate variability) and qualitative assessments of subjective belief strength and expectation patterns.

- Healthcare systems should consider ethically integrating spiritually sensitive approaches into patient-centered care models, ensuring that faith-based coping mechanisms are acknowledged as complementary, not substitutive, to evidence-based medical interventions. Training programs for healthcare professionals should include cultural competence modules addressing the therapeutic relevance of belief systems and patient expectations in healing outcomes.
- Longitudinal studies are recommended to evaluate the sustained impact of faith-driven expectation on chronic disease progression, recovery rates, and quality of life indicators. Policy-level recommendations should encourage collaboration between medical institutions and community-based spiritual organizations to support holistic recovery environments.
- The caution is advised to avoid over interpretation or pseudoscientific extrapolation; all interpretations must remain grounded in measurable physiological evidence and reproducible clinical outcomes.

References

1. Ader, R., & Cohen, N. (1993). Psychoneuroimmunology: Conditioning and stress. Annual Review of Psychology, 44, 53–85.
2. Benedetti, F., & Amanzio, M. (2011). The placebo response: How words and rituals change the patient's brain. Patient Education and Counseling, 84(3), 413–419.
3. Benedetti, F., & Amanzio, M. (2013). Mechanisms of the placebo response. Pulmonary Pharmacology & Therapeutics, 26(5), 520–523.
4. Colloca, L. (2019). The placebo effect in pain therapies. Annual Review of Pharmacology and Toxicology, 59, 191–211.
5. Fleshner, M., & Laudenslager, M. L. (2004). Psychoneuroimmunology: Then and now. Behavioral and Cognitive Neuroscience Reviews, 3(2), 114–130.
6. Geuter, S., Koban, L., & Wager, T. D. (2017). The cognitive neuroscience of placebo effects: Concepts, predictions, and physiology. Annual Review of Neuroscience, 40, 167–188.
7. Jacobs, G. D. (2001). The physiology of mind-body interactions: The stress response and the relaxation response. The Journal of Alternative and Complementary Medicine, 7(Suppl. 1), S83–S92.
8. Kirmayer, L. J. (2011). Unpacking the placebo response: Insights from ethnographic studies of healing. The Journal of Mind-Body Regulation, 1(3), 112–124.
9. Meissner, K., Distel, H., & Mitzdorf, U. (2007). Evidence for placebo effects on physical but not on biochemical outcome parameters: A review of clinical trials. BMC Medicine, 5, 3.
10. Moraes, et al. (2018). Provisional reference: exact source could not be fully verified from the manuscript alone; likely a study related to spirituality, autonomic regulation, and heart rate variability.
11. Peciña, M., Stohler, C. S., & Zubieta, J.-K. (2013). Role of μ-opioid system in the formation of memory of placebo responses. Molecular Psychiatry, 18, 135–137.
12. Petrie, K. J., & Rief, W. (2019). Psychobiological mechanisms of placebo and nocebo effects: Pathways to improve treatments and reduce side effects. Annual Review of Psychology, 70, 599–625.
13. Prossin, A. R., et al. (2022). Effects of placebo administration on immune mechanisms and relationships with central endogenous opioid neurotransmission. Molecular Psychiatry, 27(2), 831–839.
14. Reza, et al. (2023). Provisional reference: exact source could not be fully verified from the manuscript alone; likely a study related to prayer/spiritual practice and heart rate variability or autonomic regulation.

15. Scott, D. J., Stohler, C. S., Egnatuk, C. M., Wang, H., Koeppe, R. A., & Zubieta, J.-K. (2008). Placebo and nocebo effects are defined by opposite opioid and dopaminergic responses. Archives of General Psychiatry, 65(2), 220–231.
16. Straub, R. H., & Cutolo, M. (2018). Psychoneuroimmunology—Developments in stress research. Wiener Medizinische Wochenschrift, 168(3–4), 76–84.
17. Thompson, J. J., Ritenbaugh, C., & Nichter, M. (2009). Reconsidering the placebo response from a broad anthropological perspective. Culture, Medicine, and Psychiatry, 33(1), 112–152.
18. Zubieta, J.-K., & Stohler, C. S. (2009). Neurobiological mechanisms of placebo responses. Annals of the New York Academy of Sciences, 1156(1), 198–210.
19. Ader, R. (2007). Psychoneuroimmunology. Current Directions in Psychological Science, 16(6), 289–292.
20. Barrett, L. F. (2017). How emotions are made: The secret life of the brain. Houghton Mifflin Harcourt.
21. Benedetti, F. (2014). Placebo effects: Understanding the mechanisms in health and disease. Oxford University Press.
22. Benedetti, F., Carlino, E., & Pollo, A. (2011). How placebos change the patient's brain. Neuropsychopharmacology, 36(1), 339–354.
23. Benson, H., & Klipper, M. Z. (2000). The relaxation response. HarperTorch.
24. Bower, J. E., & Irwin, M. R. (2016). Mind–body therapies and control of inflammatory biology. Brain, Behavior, and Immunity, 57, 1–11.
25. Chida, Y., & Steptoe, A. (2009). The association of anger and hostility with future coronary heart disease: A meta-analytic review. Journal of the American College of Cardiology, 53(11), 936–946.
26. Creswell, J. D., & Lindsay, E. K. (2014). How does mindfulness training affect health? Current Directions in Psychological Science, 23(6), 401–407.
27. Damasio, A. (1999). The feeling of what happens: Body and emotion in the making of consciousness. Harcourt Brace.
28. Kaptchuk, T. J., & Miller, F. G. (2015). Placebo effects in medicine. New England Journal of Medicine, 373(1), 8–9.
29. Kiecolt-Glaser, J. K., McGuire, L., Robles, T. F., & Glaser, R. (2002). Psychoneuroimmunology: Psychological influences on immune function. Annual Review of Psychology, 53, 83–107.
30. Koenig, H. G. (2012). Religion, spirituality, and health: The research and clinical implications. ISRN Psychiatry, 2012, 278730.
31. Koenig, H. G., King, D. E., & Carson, V. B. (2012). Handbook of religion and health (2nd ed.). Oxford University Press.
32. McEwen, B. S. (2007). Physiology and neurobiology of stress and adaptation: Central role of the brain. Physiological Reviews, 87(3), 873–904.
33. McEwen, B. S., & Gianaros, P. J. (2011). Stress- and allostasis-induced brain plasticity. Annual Review of Medicine, 62, 431–445.
34. Moerman, D. E. (2002). Meaning, medicine, and the "placebo effect". Cambridge University Press.
35. Pargament, K. I. (1997). The psychology of religion and coping: Theory, research, practice. Guilford Press.
36. Seligman, M. E. P. (2011). Flourish: A visionary new understanding of happiness and well-being. Free Press.
37. Schulz, A., & Vögele, C. (2015). Interoception and stress. Frontiers in Psychology, 6, 993.
38. Thayer, J. F., & Sternberg, E. (2010). Neural aspects of immunomodulation: Focus on the vagus nerve. Brain, Behavior, and Immunity, 24(8), 1223–1228.
39. Bavelier, D., & Davidson, R. J. (2013). Brain training: Transferring benefits to real-world performance. Neuron, 84(3), 544–556.
40. Clark, A. (2016). Surfing uncertainty: Prediction, action, and the embodied mind. Oxford University Press.

41. Darnall, B. D., & Kerns, R. D. (2011). Disentangling the mechanisms of placebo effects: Implications for clinical practice. Pain Management, 1(2), 157–168.
42. Engert, V., & Singer, T. (2015). Care from the cradle to the grave: The importance of social attachment for well-being. Current Directions in Psychological Science, 24(6), 484–489.
43. Farb, N. A. S., Segal, Z. V., & Anderson, A. K. (2013). Mindfulness meditation training alters cortical representations of interoceptive attention. Social Cognitive and Affective Neuroscience, 8(1), 15–26.
44. Fields, H. L. (2004). State-dependent opioid control of pain. Nature Reviews Neuroscience, 5(7), 565–575.
45. Gallagher, S. (2017). Enactivist interventions: Rethinking the mind. Oxford University Press.
46. Geuter, S., & Koban, L. (2022). Pain modulation and predictive processing in the brain. Trends in Cognitive Sciences, 26(2), 123–136.
47. Goyal, M., Singh, S., Sibinga, E. M. S., et al. (2014). Meditation programs for psychological stress and well-being. JAMA Internal Medicine, 174(3), 357–368.
48. Immordino-Yang, M. H. (2016). Emotions, learning, and the brain: Exploring the educational implications of affective neuroscience. W. W. Norton.
49. Kirmayer, L. J. (2004). The cultural diversity of healing: Meaning, metaphor and mechanism. Transcultural Psychiatry, 41(2), 111–126.
50. LeDoux, J. (2015). Anxious: Using the brain to understand and treat fear and anxiety. Viking.
51. Linden, D. E. J. (2011). The work of the placebo effect. Scientific American, 305(1), 76–81.
52. Mayberg, H. S. (2005). Modulating dysfunctional limbic-cortical circuits in depression. Biological Psychiatry, 58(2), 114–121.
53. Norman, G. J., Hawkley, L. C., Luhmann, M., et al. (2013). Loneliness and health across the lifespan. Perspectives on Psychological Science, 8(2), 123–137.
54. Petrovic, P., & Ingvar, M. (2002). Imaging cognitive modulation of pain processing. Pain, 95(1–2), 1–5.
55. Raichle, M. E. (2015). The brain's default mode network. Annual Review of Neuroscience, 38, 433–447.
56. Schjoedt, U., Stødkilde-Jørgensen, H., Geertz, A. W., & Roepstorff, A. (2009). Highly religious participants recruit areas associated with social cognition in prayer. Social Cognitive and Affective Neuroscience, 4(2), 199–207.
57. Schulkin, J. (2011). Cognitive adaptation: A pragmatist perspective. Cambridge University Press.
58. Tracey, I. (2010). Getting the pain you expect: Mechanisms of placebo, nocebo and reappraisal effects in humans. Nature Medicine, 16(11), 1277–1283.
59. Benedetti, F. (2013). Placebo and the new physiology of the doctor–patient relationship. Physiological Reviews, 93(3), 1207–1246.
60. Kaptchuk, T. J. (2002). The placebo effect in alternative medicine: Can the performance of a healing ritual have clinical significance? Annals of Internal Medicine, 136(11), 817–825.
61. Loizzo, J. (2009). Meditation research, past, present, and future: Perspectives from the Nalanda contemplative science tradition. Annals of the New York Academy of Sciences, 1172, 5–14.
62. Ader, R. (2007). *Psychoneuroimmunology* (4th ed.). Academic Press.
63. Ader, R., Felten, D. L., & Cohen, N. (1991). *Psychoneuroimmunology* (2nd ed.). Academic Press.
64. Aston-Jones, G., & Cohen, J. D. (2005). An integrative theory of locus coeruleus–norepinephrine function: Adaptive gain and optimal performance. *Annual Review of Neuroscience, 28*, 403–450.
65. Balboni, M. J., Puchalski, C. M., & Peteet, J. R. (2014). The relationship between medicine, spirituality and religion: Three models for integration. *Journal of Religion and Health, 53*(5), 1586–1598.
66. Benson, H. (1975). *The relaxation response*. William Morrow.
67. Benson, H., Beary, J. F., & Carol, M. P. (1974). The relaxation response. *Psychiatry, 37*(1), 37–46.
68. Bower, J. E., & Irwin, M. R. (2016). Mind–body therapies and control of inflammatory biology: A descriptive review. *Brain, Behavior, and Immunity, 51*, 1–11.

69. Chida, Y., & Steptoe, A. (2008). Positive psychological well-being and mortality: A quantitative review of prospective observational studies. *Psychosomatic Medicine, 70*(7), 741–756.
70. Cohen, S., Janicki-Deverts, D., & Miller, G. E. (2007). Psychological stress and disease. *JAMA, 298*(14), 1685–1687.
71. Cryan, J. F., O'Riordan, K. J., Cowan, C. S. M., Sandhu, K. V., Bastiaanssen, T. F. S., Boehme, M., Codagnone, M. G., Cussotto, S., Fulling, C., Golubeva, A. V., Guzzetta, K. E., Jaggar, M., Long-Smith, C. M., Lyte, J. M., Martin, J. A., Molinero-Perez, A., Moloney, G. M., Morelli, E., Morillas, E., ... Dinan, T. G. (2019). The microbiota–gut–brain axis. *Physiological Reviews, 99*(4), 1877–2013.
72. Davidson, R. J., & McEwen, B. S. (2012). Social influences on neuroplasticity: Stress and interventions to promote well-being. *Nature Neuroscience, 15*(5), 689–695.
73. Engel, G. L. (1977). The need for a new medical model: A challenge for biomedicine. *Science, 196*(4286), 129–136.
74. Fredrickson, B. L. (2001). The role of positive emotions in positive psychology. *American Psychologist, 56*(3), 218–226.
75. Fries, J. F. (1980). Aging, natural death, and the compression of morbidity. *New England Journal of Medicine, 303*(3), 130–135.
76. Herbert, T. B., & Cohen, S. (1993). Stress and immunity in humans: A meta-analytic review. *Psychosomatic Medicine, 55*(4), 364–379.
77. Kabat-Zinn, J. (1990). *Full catastrophe living*. Delacorte Press.
78. Koenig, H. G. (2012). *Religion, spirituality, and health: The research and clinical implications*. ISRN Psychiatry, 2012, Article 278730.
79. Koenig, H. G. (2018). *Religion and mental health: Research and clinical applications*. Academic Press.
80. Koenig, H. G., King, D. E., & Carson, V. B. (2012). *Handbook of religion and health* (2nd ed.). Oxford University Press.
81. Lazarus, R. S., & Folkman, S. (1984). *Stress, appraisal, and coping*. Springer.
82. Levin, J. (2020). *Religion and health: The Oxford handbook of religion and health* (2nd ed.). Oxford University Press.
83. McEwen, B. S. (1998). Protective and damaging effects of stress mediators. *New England Journal of Medicine, 338*(3), 171–179.
84. McEwen, B. S. (2007). Physiology and neurobiology of stress and adaptation. *Physiological Reviews, 87*(3), 873–904.
85. Miller, G. E., Chen, E., & Cole, S. W. (2009). Health psychology: Developing biologically plausible models linking the social world and physical health. *Annual Review of Psychology, 60*, 501–524.
86. Pace, T. W. W., & Miller, A. H. (2009). Cytokines and glucocorticoid receptor signaling. *Brain, Behavior, and Immunity, 23*(1), 9–19.
87. Pargament, K. I. (1997). *The psychology of religion and coping: Theory, research, practice*. Guilford Press.
88. Pargament, K. I. (2011). *Spiritually integrated psychotherapy: Understanding and addressing the sacred*. Guilford Press.
89. Puchalski, C. M., Vitillo, R., Hull, S. K., & Reller, N. (2014). Improving the spiritual dimension of whole person care. *Journal of Palliative Medicine, 17*(6), 642–656.
90. Sapolsky, R. M. (2004). *Why zebras don't get ulcers* (3rd ed.). Henry Holt.
91. Selye, H. (1956). *The stress of life*. McGraw-Hill.
92. Sloan, R. P. (2006). *Blind faith: The unholy alliance of religion and medicine*. St. Martin's Press.
93. Southwick, S. M., & Charney, D. S. (2018). *Resilience: The science of mastering life's greatest challenges* (2nd ed.). Cambridge University Press.
94. Sternberg, E. M. (2001). *The balance within: The science connecting health and emotions*. W. H. Freeman.
95. Thayer, J. F., & Lane, R. D. (2009). Claude Bernard and the heart–brain connection. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 33*(2), 81–88.

96. Thayer, J. F., Åhs, F., Fredrikson, M., Sollers, J. J., III, & Wager, T. D. (2012). A meta-analysis of heart rate variability and neuroimaging studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 36*(2), 747–756.
97. VanderWeele, T. J. (2017). Religion and health: A synthesis. In M. D. Adler & M. J. Balboni (Eds.), *Spirituality and religion within the culture of medicine* (pp. 357–401). Oxford University Press.
98. Varela, F. J., Thompson, E., & Rosch, E. (2016). *The embodied mind: Cognitive science and human experience* (Revised ed.). MIT Press.
99. Young, S. N. (2007). How to increase serotonin in the human brain without drugs. *Journal of Psychiatry & Neuroscience, 32*(6), 394–399.
100. Zautra, A. J., Hall, J. S., & Murray, K. E. (2010). Resilience: A new definition of health for people and communities. In J. W. Reich, A. J. Zautra, & J. S. Hall (Eds.), *Handbook of adult resilience* (pp. 3–29). Guilford Press.

RELIGIOUS TOURISM IN THE BLESSED VALLEYS OF AMMAN AND ITS SURROUNDINGS (JORDAN) AND TOURISM INVESTMENT PROSPECTS

Mohammed Waheeb
Professor in Archaeology; Department of Sustainable Tourism, Queen Rania Faculty of Archaeology Heritage, & Tourism
(QRFTH), The Hashemite University
Eng. Mohammad Abu Zaytoun
-Manager of Development Directorate - GAM-Amman

Abstract

The project for documenting religious tourism trails in Jordan, particularly in the city of Amman, is considered the first of its kind in enriching urban tourism.

If the waters are blessed, here is the Jordan River, telling the story of the waters where Jesus Christ was baptized. If the mountains are blessed, here is Mount Machaerus, where the Prophet Yahiya (John the Baptist), peace be upon him, lived. If the plains are blessed, here lie the plains of the Battle of Mu'tah, Pella (Tabaqat Fahl), and Yarmouk. Turning to the caves, we find the globally significant Cave of the Seven Sleepers (Al-Raqim) right here in Amman, and the Cave of Prophet Lot, peace be upon him, in the Jordan Valley. As for the springs, the springs of Prophet Moses (Ayun Musa) in Wadi Musa and adjacent to Mount Nebo are still flowing to this day.

If we look into the Islamic pilgrimage route, majestic castles like Al-Qatraneh, 'Unayzah, Ma'an, and Al-Hasa, among others, still stand tall, narrating the tales of the early believers and the pathways of Hajj and Umrah, such as the Levantine Pilgrimage Route (Al-Shami) and the Christian Pilgrimage Route. Even the trees on the Kingdom's land are blessed; among them is the Al-Baqawiyya tree (The Blessed Tree) in Al-Safawi, under whose shade Prophet Muhammad (PBUH) rested.

On the land of Jordan, humanity established the oldest religious temples known to mankind, sculpted the world's oldest statues, and built a city in 'Ain Ghazal that still represents one of the finest systems of architectural engineering in the ancient world.

The Blessings and History of Iraq Al-Amir

Every inch and meter of the land of Iraq Al-Amir holds a story, an event, and a blessing. One cannot truly grasp the profound significance of this cultural heritage until they walk through Wadi Iraq Al-Amir, which stretches from the Bayader Wadi Al-Seer area to Wadi Al-Shita, and from the western hills of Iraq Al-Amir town to its towering eastern highlands. Here, history has kept its appointment with the place to recount the true events and stories of a region where God has bestowed secrets and a captivating ecological beauty. The waters flowing through the

valley have always sustained, and continue to sustain, the landscape, covering it with lush greenery and freshness, filling the soul with joy and delight, and moving the heart to offer endless gratitude to God for these limitless blessings scattered across the valleys high up on the plateaus and between the slopes and foothills of Amman's mountains. Wadi Hisban extends to the right, and Wadi Shu'ayb to the left—each harboring its own history and civilization. Yet, blessings and goodness flow day and night through the movement of water and the cycle of life.

When visitors approach Iraq Al-Amir, descending from Wadi Al-Seer, they reach Al-Deir (The Monastery) area. Where is this monastery where faithful men once resided on the left side? The answer comes from numerous and diverse surrounding sites.

As for Al-Muallaqa (The Hanging Structure), visitors stand in awe and wonderment upon reaching it, pondering the reality of this suspended construction on the cliff of a high mountain. It is a wondrous cave containing hundreds of meticulously carved niches that have mystified scholars from both the West and the East. Local residents came to believe it served as a pharmacy during the Hellenistic era, where medicinal herbs and remedies were kept in these cavities. Others suggested it was a station for homing pigeons, while some believed it was designated for burials, housing the skulls of clergymen. Indeed, this uniqueness is what renders Al-Muallaqa captivating and unparalleled.

Continuing along both sides of Wadi Iraq Al-Amir, visitors find themselves before Al-Bassa Cave. This is another cave within a series of adjacent caverns, distinguished by its triangular-carved facade. Inside the cave, a church was discovered, and a second church was found just outside the gateway. This raises intriguing questions: Why were two churches established in this specific cave, and what was its connection to the monks and clergy? Initial evidence points to its immense significance and its connection to the journey of Jesus Christ and the crowds of early believers who frequented it to perform worship rituals.

Archaeological Landmarks and Sacred Shrines

As visitors proceed, they will notice the remnants of ancient tombs scattered here and there on both sides of the road, dating back to the Bronze Ages, where humans established burial grounds and interred their dead across vast areas using diverse burial methods. One can also view the site of Al-Bardaun, where the lenses of early travelers documented ancient archaeological remains associated with early believers.

Continuing the journey, visitors reach the Shrine of Wali Naseer, which served as a safe haven where people sought refuge in times of need. The trail then leads to the Caves of Iraq Al-Amir,

which exceed fifteen in number. Consisting of two stories, these caves housed many of the area's inhabitants during the Hellenistic era. In fact, the historian Josephus noted that these caves were used for religious celebrations and sacred banquets. To this day, these caves stand testament to the significance of their architecture, craftsmanship, and decorations, with an Aramaic inscription on their gateways confirming they date back to the Tobiad dynasty.

In the plain opposite the caves, we observe the Shrine of Al-Magharibah, which consists of a medium-sized, circular stone enclosure (Hawtah) with a small gateway-like entrance. Local inhabitants refer to him as a righteous man and a saint (Wali), and people draw near to the shrine, viewing it as a blessed site in the middle of the modern cemetery. This area was known as "Paris" during the Hellenistic period.

The visitor continues until reaching Qasr Al-Abd (The Castle of the Slave), an unparalleled structure worldwide in terms of architecture and ornamentation. It is a palace situated in the center of a water pool, and scholars have long debated its true nature: Is it a palace or a temple built during the Hellenistic era? The majority lean toward it being a temple rather than a fortress or a palace. Qasr Al-Abd remains a distinguished landmark in the Middle East, adorned with water installations, animal and bird sculptures, as well as floral and geometric decorations.

Next, the visitor arrives at the Shrine of Obayd Al-Tayyar, described by locals as a righteous man and a saint possessed of miracles, who was said to be able to fly. Currently, it is a stone enclosure where residents place specific tools and utensils, believing they are protected by this saint, who was renowned for his generosity and bravery.

The journey continues past the Al-Fujayrah (or Al-Faqirah) Spring, followed by the Shrine of Abu Lozah, and a sequence of shrines and sacred sites scattered throughout the blessed Wadi Iraq Al-Amir. It is truly one of the most beautiful valleys in the city of Amman ecologically, and one of the richest archaeologically and historically. Today, the Greater Amman Municipality is actively developing and upgrading the valley to preserve its sustainability for future generations.

Keywords: Heritage, History, Archaeology, Hellenistic, Architecture.

CONTRIBUTION OF TREASURY SINGLE ACCOUNT ON TRANPIRANCY AND ACCOUNTABILITY IN TERTIARY INSTITUTION IN NIGERIA: A STUDY OF FEDERAL UNIVERSITY OF EDUCATION ZARIA. KADUNA STATE

Dr. Nuradeen Usman Dingyadi
Federal University of Education, Zaria

Abstract

The study examined the contribution of the Treasury Single Account (TSA) to transparency and accountability in tertiary institutions in Nigeria, with particular reference to the Federal University of Education, Zaria, Kaduna State. The introduction of the TSA policy by the Federal Government of Nigeria was aimed at improving public financial management by consolidating government revenues into a single account system, reducing financial leakages, enhancing accountability, and promoting transparency in the management of public funds. However, concerns remain regarding the effectiveness of the policy in improving financial practices within tertiary institutions. The study adopted a descriptive survey research design. The population comprised staff members involved in financial administration and management activities within the Federal University of Education, Zaria. A structured questionnaire was used as the instrument for data collection. Data collected were analyzed using descriptive statistics such as frequency, percentages, mean, and standard deviation, while hypotheses were tested using inferential statistics at a 0.05 level of significance. The findings revealed that the implementation of the Treasury Single Account has contributed significantly to improving transparency in financial operations through better monitoring of revenue collection, reduction of unauthorized transactions, and improved access to financial information. It also found that TSA has enhanced accountability by strengthening financial controls, promoting compliance with government financial regulations, and improving responsibility among financial managers. The study recommended that tertiary institutions should strengthen financial management capacity through continuous training, improve digital financial systems, and establish effective monitoring mechanisms to maximize the benefits of TSA implementation.

Keywords: Treasury Single Account, Transparency, Accountability, Financial Management, Tertiary Institutions and Federal University of Education Zaria.

INTRODUCTION

Effective financial management is a critical component of achieving organizational goals in public institutions, particularly tertiary institutions where large amounts of public funds are allocated for teaching, research, infrastructure development, and administrative activities. Transparency and accountability in the management of public resources are essential for

ensuring that funds are utilized efficiently, preventing financial mismanagement, and promoting public confidence in government institutions. In Nigeria, concerns over weak public financial management systems, revenue leakages, poor accountability mechanisms, and inefficient control of government funds have remained major challenges in the public sector. Before the introduction of the Treasury Single Account (TSA), government ministries, departments, and agencies (MDAs) operated multiple bank accounts in commercial banks, making it difficult to monitor government revenues, track financial transactions, and ensure effective control over public funds. This system created opportunities for fund diversion, delays in revenue reporting, and inadequate financial oversight.

To address these challenges, the Federal Government of Nigeria introduced the Treasury Single Account policy as a public financial management reform initiative. The TSA was designed to consolidate all government revenues and receipts into a single account maintained by the Central Bank of Nigeria (CBN). The policy aims to improve cash management, eliminate financial leakages, enhance transparency, and strengthen accountability in the use of public resources. The implementation of the Treasury Single Account has significant implications for tertiary institutions in Nigeria, which depend largely on government funding and internally generated revenues to support their operations. Universities and other higher education institutions manage substantial financial resources from government allocations, student-related charges, research grants, and other sources. Therefore, ensuring transparency and accountability in their financial operations is essential for institutional effectiveness and sustainability.

At the Federal University of Education, Zaria, Kaduna State, the adoption of TSA has changed the way financial transactions are managed. The policy requires the institution to operate within the framework of government financial regulations, ensuring that revenues are properly recorded, monitored, and accounted for. Through TSA, financial authorities are expected to have improved oversight of institutional income and expenditure, thereby reducing opportunities for financial irregularities. Transparency involves openness, accessibility, and clarity in financial decision-making and reporting, while accountability refers to the obligation of financial managers and administrators to explain and justify their actions regarding the use of resources. The TSA policy is expected to strengthen both concepts by providing accurate financial information, improving auditing processes, and ensuring compliance with established financial procedures.

Despite the potential benefits of TSA, its implementation in tertiary institutions has generated discussions regarding operational challenges. Issues such as delays in accessing funds, administrative bottlenecks, inadequate technological systems, and limited financial autonomy have been identified as possible challenges affecting effective implementation. These concerns make it necessary to examine the actual contribution of TSA to transparency and accountability within tertiary institutions. Therefore, this study focuses on assessing the contribution of the Treasury Single Account to transparency and accountability in tertiary institutions in Nigeria, using the Federal University of Education, Zaria, Kaduna State, as a case study. The study seeks to determine whether TSA has achieved its intended objectives of improving financial transparency, strengthening accountability, and promoting effective management of institutional resources.

Statement of the Problem

The management of public funds in tertiary institutions in Nigeria has continued to attract attention due to concerns about financial transparency, accountability, revenue leakages, and effective utilization of resources. Before the introduction of the Treasury Single Account (TSA), many public institutions operated multiple bank accounts, which made it difficult for government authorities to monitor financial transactions and ensure proper accountability of public funds. This situation created opportunities for financial irregularities, weak internal controls, and ineffective cash management. The introduction of the Treasury Single Account by the Federal Government of Nigeria was aimed at addressing these challenges by centralizing government revenues and improving financial monitoring. However, despite the expected benefits of TSA, questions remain regarding its actual contribution to transparency and accountability, particularly within tertiary institutions where financial autonomy, internally generated revenue, and operational efficiency are important concerns. At the Federal University of Education, Zaria, Kaduna State, the implementation of TSA has changed the pattern of financial management and reporting. While the system is expected to promote openness, proper documentation, and responsible management of funds, there are concerns regarding challenges such as delayed access to funds, administrative procedures, and possible limitations on institutional financial flexibility. Therefore, the problem of this study is to determine whether the Treasury Single Account has significantly contributed to improving transparency and accountability in the financial management practices of the Federal University of Education, Zaria.

Objectives of the Study

The main objective of this study is to examine the contribution of Treasury Single Account to transparency and accountability in tertiary institutions in Nigeria, with specific reference to the Federal University of Education, Zaria, Kaduna State.

The specific objectives are to:

1. Examine the extent to which Treasury Single Account has improved transparency in financial management at the Federal University of Education, Zaria.
2. Determine the contribution of Treasury Single Account to accountability in the management of institutional funds.
3. Assess the effectiveness of TSA in reducing financial leakages and improving financial control mechanisms.
4. Identify the challenges affecting the effective implementation of Treasury Single Account in the institution.
5. Examine the relationship between Treasury Single Account implementation and effective financial management in the Federal University of Education, Zaria.

Research Questions

The study will answer the following research questions:

1.To what extent has Treasury Single Account improved transparency in financial management at the Federal University of Education, Zaria?

2. How has Treasury Single Account contributed to accountability in the management of institutional funds?

3. Does Treasury Single Account help in reducing financial leakages and strengthening financial control systems?

4. What challenges affect the effective implementation of Treasury Single Account in the Federal University of Education, Zaria?

5. What relationship exists between Treasury Single Account implementation and financial management effectiveness in the institution?

Research Hypotheses

The following null hypotheses will guide the study:

H01: There is no significant contribution of Treasury Single Account to transparency in financial management at the Federal University of Education, Zaria.

H02: There is no significant contribution of Treasury Single Account to accountability in the management of institutional funds at the Federal University of Education, Zaria.

H03: There is no significant relationship between Treasury Single Account implementation and financial management effectiveness in the Federal University of Education, Zaria.

H04: There is no significant difference in the perceptions of financial administrators and other staff regarding the effectiveness of Treasury Single Account in promoting transparency and accountability in the institution.

LITERATURE REVIEW

Concept of Treasury Single Account (TSA): The Treasury Single Account (TSA) is a public financial management reform mechanism designed to consolidate government revenues and payments into a single account structure operated through the Central Bank of Nigeria. The system eliminates the use of multiple government accounts in commercial banks and provides a unified view of government cash resources. The major objective of TSA is to improve cash management, reduce revenue leakages, strengthen financial control, and enhance transparency and accountability in public sector financial operations (Pattanayak & Fainboim, 2011). In Nigeria, the TSA policy was introduced as part of the Federal Government's effort to reform public financial management and address challenges associated with fragmented government banking arrangements. Before TSA implementation, many government institutions maintained several accounts with commercial banks, which created difficulties in monitoring government funds and encouraged financial inefficiencies. The TSA framework was therefore introduced to ensure that all government revenues are properly captured and managed through a centralized system (Igbokwe-Ibeto et al., 2016). The implementation of TSA in Nigeria has significant implications for tertiary institutions because universities, colleges, and other government-owned institutions receive public funds and generate internal revenues that require effective management. Through TSA, financial transactions are expected to become more transparent, traceable, and accountable.

Transparency in Public Financial Management: Transparency refers to openness, accessibility, and clarity in the management and reporting of financial information. In public institutions, transparency ensures that stakeholders can access relevant information about how funds are generated, allocated, and utilized. According to Adegbite (2010), financial transparency promotes trust in public institutions by ensuring that financial activities are conducted openly and according to established regulations. Transparency reduces opportunities for corruption because financial transactions become easier to monitor and evaluate. The TSA system contributes to transparency by providing a centralized platform where government revenues and expenditures can be monitored. Instead of allowing institutions to operate several

independent accounts, TSA provides a clearer picture of available government resources and improves financial reporting practices (Ejalonibu et al., 2021). In tertiary institutions such as the Federal University of Education, Zaria, transparency is important because effective management of institutional funds influences academic development, infrastructure provision, staff welfare, and service delivery.

Concept of Accountability: Accountability refers to the obligation of individuals or institutions responsible for managing resources to explain, justify, and take responsibility for their actions. In public financial management, accountability requires that public officials use resources responsibly and comply with financial regulations.According to Okwoli (2004), accountability promotes responsible behaviour among public administrators by ensuring that decisions involving public resources are subject to review and evaluation. The TSA policy strengthens accountability by improving financial monitoring, reducing unauthorized access to funds, and ensuring that government agencies operate within approved financial procedures. Studies have shown that TSA adoption has a positive relationship with accountability in public institutions because it enhances control mechanisms and improves fund tracking. For tertiary institutions, accountability ensures that funds meant for teaching, research, infrastructure, and administ ration are properly utilized.

Treasury Single Account and Financial Control: Financial control involves procedures and mechanisms established to ensure that financial resources are properly managed and protected from misuse. TSA serves as a financial control mechanism by centralizing government cash resources and improving monitoring of transactions. According to Pattanayak and Fainboim (2011), an effective TSA system strengthens government cash management by providing accurate information about government cash positions and reducing idle funds in multiple accounts. In Nigeria, TSA has helped government agencies improve financial discipline by reducing the opportunity for unauthorized retention of funds outside government control. However, researchers have also identified challenges such as delays in fund access, technological limitations, and administrative difficulties that may affect implementation effectiveness (Igbokwe-Ibeto et al., 2016).

Treasury Single Account and Transparency in Tertiary Institutions

Tertiary institutions manage substantial financial resources from government allocations, internally generated revenue, grants, and other sources. The introduction of TSA was expected to improve transparency by ensuring that financial transactions are properly documented and monitored. Ejike-Orji and Eneh (2023) examined the effect of TSA on accountability and

transparency in tertiary institutions and found that TSA significantly improved transparency in public fund management. The study also revealed that TSA helped reduce fraudulent practices by strengthening financial controls.

The application of TSA in tertiary institutions promotes:

1. Better monitoring of institutional revenues
2. Improved financial reporting
3. Reduction of hidden transactions
4. Enhanced compliance with government regulations

However, some institutions experience difficulties due to delayed releases of funds and reduced financial flexibility.

Treasury Single Account and Accountability in Tertiary Institutions

Accountability in tertiary institutions involves ensuring that administrators, bursary departments, and financial officers are responsible for the effective use of institutional resources.TSA enhances accountability by creating a system where financial activities are traceable and subject to government oversight. According to Idoko and Tigye (2021), TSA has a significant positive relationship with transparency and accountability because it improves the credibility of government financial management systems. Through TSA, tertiary institutions are encouraged to:

1.Maintain accurate financial records

2. Follow approved financial procedures

3. Reduce financial irregularities

4. Improve audit compliance

Challenges of Treasury Single Account Implementation

Although TSA provides several benefits, its implementation faces some challenges. Major challenges include:

1. Delay in Accessing Funds: **Some institutions experience delays in receiving funds required for daily operations.**

2. Technological Challenges: **Effective TSA operation requires reliable information technology systems and trained personnel.**

3. Reduced Financial Autonomy: **Some tertiary institutions argue that TSA limits their ability to manage internally generated funds independently.**

4. Administrative Bottlenecks: **Approval processes may become slower due to centralized financial procedures.**

Igbokwe-Ibeto et al. (2016) noted that while TSA provides opportunities for improved accountability and transparency, effective implementation requires strong institutional structures and proper monitoring mechanisms. Several studies have examined the relationship between TSA, transparency, and accountability. Ejike-Orji and Eneh (2023) studied tertiary institutions in Anambra State and found that TSA adoption significantly improved accountability and transparency in public fund management. Idoko and Tigye (2021) examined TSA and accountability in the Nigerian public sector and reported that TSA positively influenced transparency and accountability through improved financial control systems. Ejalonibu, Pate-Sadiq, and Abayomi (2021) found that TSA contributed to reducing financial leakages and improving responsible management of public resources, although challenges relating to implementation and compliance remain. These studies indicate that TSA has the potential to improve financial governance; however, there is a need for further studies focusing specifically on tertiary institutions such as the Federal University of Education, Zaria.

METHODOLOGY

This study adopted a **descriptive survey research design**. The design was considered appropriate because the study seeks to examine the contribution of the Treasury Single Account (TSA) to transparency and accountability in tertiary institutions, with particular reference to the Federal University of Education, Zaria, Kaduna State. The design enables the researcher to collect data from respondents and describe their opinions, experiences, and perceptions regarding TSA implementation and its impact on financial management practices. The study was conducted at the **Federal University of Education, Zaria, Kaduna State, Nigeria**. The institution is a government-owned tertiary institution responsible for training teachers and providing educational services. The university operates within the framework of government financial regulations and is therefore relevant for assessing the influence of the Treasury Single Account on transparency and accountability in public financial management. The population of the study comprised staff members of the Federal University of Education, Zaria, who are directly or indirectly involved in financial management and administrative activities. The population included: Bursary staff, Finance officers, Administrative officers, Account personnel, Heads of departments/units and Other relevant management staff.

These categories of respondents were selected because of their knowledge and experience concerning institutional financial operations and TSA implementation. The study adopted a **purposive sampling technique** to select respondents who possess relevant knowledge about TSA and financial management practices. This technique was considered appropriate because

not all staff members are directly involved in financial transactions and accountability procedures. The sample size was determined using an appropriate statistical method to ensure adequate representation of the population.

The instrument used for data collection was a structured questionnaire titled: **"Treasury Single Account, Transparency and Accountability Questionnaire (TSATAQ)"** The questionnaire consisted of two sections: **Section A: Demographic Information,** This section collected information about respondents' characteristics such as: Gender, Age, Educational qualification, Department/unit and Years of service. **Section B: Research Items,** This section contained statements related to: TSA and transparency, TSA and accountability, Financial control andChallenges of TSA implementation. The items were structured using a **4-point Likert scale**:

Response	**Rating**
Strongly Agree (SA)	4
Agree (A)	3
Disagree (D)	2
Strongly Disagree (SD)	1

The questionnaire was subjected to face an d content validation by experts in the areas of: Educational management, Accounting/finance and Research methodology. Their observations and corrections were incorporated to ensure that the instrument measured the intended variables effectively. The reliability of the instrument was determined through a pilot test conducted on respondents outside the study area but with similar characteristics to the target population. The reliability coefficient was determined using **Cronbach Alpha reliability test**. A coefficient of **0.70 or above** was considered acceptable for the instrument to be used for the study. The researcher personally administered the questionnaires to the selected respondents with the assistance of relevant officials where necessary. Respondents were informed about the purpose of the study and assured that information provided would be used strictly for academic purposes. Adequate time was provided for respondents to complete and return the questionnaires.

The data collected were analyzed using both descriptive and inferential statistics.

The following were used to answer the research questions: Frequency, Percentage, Mean, Standard Deviation .The hypotheses were tested using: **Independent Samples t-test** at **0.05 level of significance**.

Ethical Considerations: The researcher ensured that ethical standards were maintained throughout the study. Respondents participated voluntarily, and confidentiality of information provided was guaranteed. The data collected were used strictly for academic purposes.

RESULTS

Table 1: Distribution of Respondents by Gender

Gender	Frequency	Percentage (%)
Male	45	60.0
Female	30	40.0
Total	**75**	**100**

The table shows that 45 (60%) of the respondents were male, while 30 (40%) were female. This indicates that both male and female respondents participated in the study.

Table 2: Distribution of Respondents by Years of Service

Years of Service	Frequency	Percentage (%)
1–5 years	20	26.7
6–10 years	30	40.0
Above 10 years	25	33.3
Total	**75**	**100**

The table indicates that respondents had adequate work experience, suggesting that they were capable of providing reliable information regarding TSA implementation.

Research Question One: To what extent has Treasury Single Account improved transparency in financial management at the Federal University of Education, Zaria?

Table 3: TSA and Transparency in Financial Management

S/N	Items	Mean	Std. Deviation	Decision
1	TSA has improved openness in financial transactions	3.42	0.62	Accepted
2	TSA has improved monitoring of institutional revenue	3.35	0.71	Accepted
3	TSA has reduced financial leakages	3.28	0.75	Accepted
4	TSA has improved financial reporting practices	3.40	0.66	Accepted
	Grand Mean	**3.36**		**Accepted**

The result shows a grand mean of 3.36, indicating that respondents agreed that TSA has contributed positively to improving transparency in financial management at the Federal University of Education, Zaria.

Research Question Two: How has Treasury Single Account contributed to accountability in the management of institutional funds?

Table 4: TSA and Accountability

S/N	Items	Mean	Std. Deviation	Decision
1	TSA has strengthened financial control mechanisms	3.45	0.58	Accepted
2	TSA has improved compliance with financial regulations	3.38	0.69	Accepted
3	TSA has enhanced responsibility among financial officers	3.31	0.73	Accepted
4	TSA has improved auditing processes	3.36	0.65	Accepted
	Grand Mean	**3.38**		**Accepted**

The findings indicate that TSA has enhanced accountability through improved financial controls, compliance, and monitoring of institutional funds.

Research Question Three: Does Treasury Single Account help reduce financial leakages and strengthen financial control systems?

Table 5: TSA and Financial Control

S/N	Items	Mean	Std. Deviation	Decision
1	TSA reduces unauthorized financial transactions	3.41	0.60	Accepted
2	TSA improves tracking of funds	3.44	0.63	Accepted
3	TSA strengthens accountability procedures	3.39	0.68	Accepted
	Grand Mean	**3.41**		**Accepted**

The results indicate that respondents agreed that TSA strengthens financial control and reduces opportunities for financial leakages.

Research Question Four: What challenges affect the effective implementation of TSA in the institution?

Table 6: Challenges of TSA Implementation

S/N	Challenges	Mean	Std. Deviation	Decision
1	Delay in accessing funds	3.30	0.70	Accepted
2	Bureaucratic procedures affect operations	3.25	0.72	Accepted
3	Inadequate ICT facilities affect implementation	3.18	0.80	Accepted
4	TSA reduces financial flexibility	3.10	0.85	Accepted
	Grand Mean	**3.21**		**Accepted**

The table reveals that respondents identified delays, bureaucracy, ICT limitations, and reduced financial flexibility as challenges affecting TSA implementation.

Hypothesis One: There is no significant contribution of Treasury Single Account to transparency in financial management at the Federal University of Education, Zaria.

Table 7: Independent Samples t-test on TSA and Transparency

Group	N	Mean	Std. Deviation	t-value	df	Sig. (p-value)
TSA Users	40	3.40	0.61	2.85	73	0.006
Non-TSA Related Staff	35	3.15	0.72			

Hypothesis Two: here is no significant contribution of Treasury Single Account to accountability in the management of institutional funds.

Table 8: Independent Samples t-test on TSA and Accountability

Group	N	Mean	Std. Deviation	t-value	df	Sig. (p-value)
TSA Users	40	3.45	0.56	3.12	73	0.003
Non-TSA Related Staff	35	3.18	0.69			

TSA has a significant contribution to accountability in financial management.

Summary of Findings

The major findings of the study revealed that:

1.Treasury Single Account has improved transparency in financial management at the Federal University of Education, Zaria.

2. TSA has strengthened accountability by improving financial monitoring, compliance, and reporting.

3. TSA has reduced financial leakages and enhanced institutional financial control.

4. Challenges affecting TSA implementation include delays in fund access, bureaucracy, ICT limitations, and reduced financial flexibility.

5. Statistical analysis confirmed that TSA significantly contributes to transparency and accountability in the institution.

Conclusion

Based on the findings of the study, it was concluded that the Treasury Single Account has made a significant contribution to improving transparency and accountability in tertiary institutions, particularly at the Federal University of Education, Zaria. The TSA system has enhanced transparency by improving access to financial information, strengthening reporting procedures, and making institutional financial transactions easier to monitor. By consolidating government funds into a single account structure, TSA has reduced opportunities for financial leakages and unauthorized transactions. The study also concluded that TSA has strengthened accountability among financial administrators by promoting compliance with government financial regulations, improving audit processes, and increasing responsibility in the management of public funds. However, despite these benefits, challenges such as delays in accessing funds, bureaucratic procedures, inadequate technological infrastructure, and concerns about institutional financial flexibility continue to affect the effectiveness of TSA implementation. Therefore, TSA remains an important financial reform mechanism, but its success depends on effective implementation, improved institutional capacity, and continuous monitoring.

Recommendations

Based on the findings of the study, the following recommendations were made:

1. Strengthening TSA Implementation: The government and relevant financial authorities should continue to improve TSA implementation processes to ensure smooth financial operations in tertiary institutions.

2. Provision of Adequate ICT Infrastructure: The institution should invest in modern financial technology systems and digital platforms to support efficient TSA operations and reduce delays in financial transactions.

3. Continuous Training of Financial Personnel: Regular training programmes should be organized for bursary staff, finance officers, and administrators to improve their understanding and effective use of TSA procedures.

4. Improve Access to Funds: Government agencies should develop mechanisms that reduce unnecessary delays in fund releases while maintaining accountability and financial control.

5. Strengthening Internal Control Systems: Tertiary institutions should strengthen internal auditing, monitoring, and reporting systems to complement TSA and ensure proper utilization of resources.

6. Promote Transparency Through Regular Reporting: The institution should ensure timely preparation and publication of financial reports to promote openness and accountability among stakeholders.

7. Maintain Institutional Efficiency: While maintaining TSA compliance, policies should be developed to allow tertiary institutions reasonable operational flexibility to meet urgent financial needs.

8. Encourage Stakeholder Awareness: Staff members should be educated about the objectives, benefits, and procedures of TSA to promote cooperation and effective implementation.

Contribution to Knowledge

The study contributes to knowledge by providing evidence that the Treasury Single Account is an effective public financial management tool that can enhance transparency and accountability in tertiary institutions. It also highlights implementation challenges that require attention for TSA to achieve its full objectives.

References

Adegbite, E. O. (2010). *Accounting, accountability and national development*. The Nigerian Accountant, 43(1), 8–15.

Ejike-Orji, P. O., & Eneh, O. M. (2023). Effect of Treasury Single Account on accountability and transparency of tertiary institutions in Anambra State, Nigeria. *Journal of Global Accounting, 9*(3), 43–75.

Ejalonibu, G. L., Pate-Sadiq, H., & Abayomi, K. Q. (2021). Transparency, probity and accountability: An assessment of the effectiveness of Treasury Single Account (TSA) in Nigerian public sector. *The International Journal of Humanities & Social Studies*, *9*(3), 84–90.

Idoko, I. F., & Tigye, I. N. (2021). Correlation between Treasury Single Account and transparency and accountability in the Nigerian public sector. *Jalingo Journal of Social and Management Sciences, 3*(3).

Igbokwe-Ibeto, C. J., Nkomah, B. B., Osakede, K. O., & Kinge, R. F. (2016). Treasury Single Account: Transparency and accountability in public finance management in Nigeria: The journey so far. *Africa's Public Service Delivery & Performance Review, 4*(2), 342–359.

Pattanayak, S., & Fainboim, I. (2011). *Treasury Single Account: Concept, design, and implementation issues*. International Monetary Fund.

STUDENTS' PERFORMANCE AND LECTURERS' ENGAGEMENT TECHNIQUES IN SHEHU SHAGARI UNIVERSITY OF EDUCATION, SOKOTO: IMPLICATIONS FOR COUNSELLING

Bashiru Muhammad Liman, Ph.D
Department of Guidance and Counselling,
Shehu Shagari University of Education, Sokoto, Nigeria
ORCID ID: 0009-0005-3853-845X
Abubakar Muhammad Liman
Staff Primary School, SSCOE, Sokoto

Abstract

This study examined the relationship between students' academic performance and lecturers' engagement techniques in Shehu Shagari University of Education, Sokoto, with emphasis on the implications for counselling services. Effective lecturer–student engagement is considered a critical factor influencing students' motivation, learning outcomes, academic adjustment, and overall educational achievement. In tertiary institutions, lecturers' teaching approaches, communication patterns, feedback mechanisms, classroom interaction, and supportive behaviours may significantly influence students' academic success and psychological well-being. The study adopted a descriptive survey research design. The population comprised undergraduate students of Shehu Shagari University of Education, Sokoto, A structured questionnaire was used as the instrument for data collection. Data collected were analyzed using frequency, percentage, mean, and standard deviation, while hypotheses were tested using Pearson Product Moment Correlation Statistics at a 0.05 level of significance. The findings revealed that effective engagement strategies such as interactive teaching methods, timely feedback, mentoring, encouragement, and positive classroom relationships contribute significantly to improved students' academic performance. It also highlighted that poor communication, inadequate academic support, limited student participation, and ineffective teaching approaches may negatively affect students' achievement. It recommended that lecturers should adopt student-centered teaching approaches, institutions should strengthen academic support systems, and counsellors should provide interventions that address students' academic, emotional, and career-related challenges.

Keywords: Students' Performance, Lecturers' Engagement Techniques, Academic Achievement, Counselling and Student Support.

INTRODUCTION

Education is universally recognized as a fundamental instrument for national development, human capital formation, and socio-economic transformation. At the tertiary education level,

universities are expected to produce graduates who possess the knowledge, skills, attitudes, and competencies required to contribute meaningfully to society. Achieving this objective depends largely on students' academic performance and the effectiveness of lecturers' engagement techniques during the teaching-learning process. Students' performance is often regarded as one of the most important indicators of educational quality, while lecturers' engagement techniques determine the extent to which students actively participate, understand, retain, and apply knowledge acquired in the classroom (Biggs & Tang, 2011).

Students' academic performance refers to the level of achievement attained by learners in academic activities, as measured through examinations, assignments, continuous assessments, projects, and other forms of evaluation (York, Gibson, & Rankin, 2015). Academic performance is influenced by several factors, including students' motivation, learning environment, study habits, emotional well-being, institutional support, teaching methods, and lecturer-student interactions. High academic performance reflects effective learning and successful educational outcomes, whereas poor performance may indicate learning difficulties, inadequate instructional practices, psychological challenges, or environmental constraints.

Lecturers' engagement techniques refer to the instructional strategies, classroom practices, communication styles, and interactive approaches employed by lecturers to facilitate meaningful learning and sustain students' interest throughout the teaching process. According to Kuh (2009)**,** student engagement involves the amount of time and effort students devote to educational activities, as well as the educational practices institutions use to encourage participation and learning. Lecturers who employ active learning strategies such as collaborative learning, classroom discussions, problem-based learning, questioning techniques, educational technology, formative assessment, and constructive feedback are more likely to improve students' academic achievement and classroom participation (Prince, 2004).

Shehu Shagari University of Education, Sokoto, as a specialized teacher education institution, is committed to producing competent graduates capable of contributing to national educational development. Lecturers in the university utilize different engagement techniques depending on their pedagogical beliefs, teaching experience, subject specialization, and available instructional resources. However, students continue to exhibit varying levels of academic performance across faculties and departments, raising questions about the effectiveness of existing instructional practices and the extent to which lecturer engagement contributes to students' learning outcomes. From a counselling perspective, students' academic performance is not solely determined by intellectual ability but also by psychosocial, emotional,

motivational, and behavioural factors. Guidance and counselling services play a significant role in promoting effective learning by assisting students to develop positive study habits, manage academic stress, improve motivation, strengthen self-esteem, and enhance interpersonal relationships with lecturers and peers (Corey, 2021). Educational counsellors also collaborate with lecturers to identify students experiencing academic difficulties and design intervention programmes that enhance learning outcomes.

Despite increasing attention to teaching effectiveness in Nigerian universities, empirical studies examining the relationship between lecturers' engagement techniques and students' academic performance, particularly in Shehu Shagari University of Education, Sokoto, remain limited. Furthermore, few studies have considered the implications of these relationships for counselling practice. Therefore, this study seeks to investigate the relationship between students' performance and lecturers' engagement techniques in Shehu Shagari University of Education, Sokoto, and examine the counselling interventions required to improve teaching effectiveness and students' academic achievement.

Academic performance refers to the extent to which students achieve educational objectives as measured by examinations, tests, assignments, projects, continuous assessments, Grade Point Average (GPA), and other academic indicators. According to York, Gibson, and Rankin (2015)**,** students' academic performance reflects the level of achievement attained through successful completion of academic tasks and learning outcomes. Similarly, Adeyemi (2018) describes academic performance as the measurable educational achievement of students after exposure to teaching and learning experiences. Academic performance is often influenced by several interrelated factors, including: Quality of instruction, Students' motivation, Learning environment, study habits, family background, emotional well-being, lecturer-student relationship and counselling support. Good academic performance indicates effective learning, whereas poor performance may result from instructional, psychological, environmental, or personal challenges. Common indicators include: Grade Point Average (GPA), Continuous Assessment Scores, Semester Examination Results, Class Participation, Assignment Completion, Practical Performance, Project Performance and Graduation Rate.

Lecturers' engagement techniques refer to the instructional methods and classroom practices used by lecturers to actively involve students in the teaching-learning process. According to Kuh (2009) engagement involves educational practices that encourage students to invest time, effort, and participation in meaningful learning activities. Similarly, Prince (2004) describes engagement techniques as learner-centred instructional strategies that promote active

participation, collaboration, critical thinking, and knowledge construction. Therefore below are the **main Types of Lecturers engagement techniques are**: Active Learning: Students actively participate through discussions and problem-solving. Collaborative Learning: Students work together in groups. Classroom Discussion: Lecturers encourage questions and interactive participation. Problem-Based Learning: Students solve real-life educational problems. Cooperative Learning: Students learn together while sharing responsibilities. Technology-Based Teaching; Use of: PowerPoint, Smart boards, Learning Management Systems, Google Classroom and Multimedia. Formative Assessment: Regular quizzes, Assignments and Feedback. Reflective Learning: Students evaluate their own learning experiences. Project-Based Learning: Students undertake practical projects. Inquiry-Based Learning: Students investigate and discover knowledge independently.

Social Cognitive Theory (Albert Bandura, 1986): Bandura's theory emphasizes reciprocal interactions among personal factors, behaviour, and environmental influences. Major Assumptions: Learning occurs through observation, Students imitate effective models, Self-efficacy influences performance and Motivation affects learning. Lecturers serve as role models whose teaching approaches influence students' motivation, engagement, and academic performance. Counselling strengthens students' self-efficacy and confidence. Constructivist Learning Theory (Jean Piaget, 1970; Lev Vygotsky, 1978): Constructivism argues that learners actively construct knowledge through interaction with their environment. Main Principles: Learning is active, Students construct meaning, Collaboration enhances learning, Teachers facilitate rather than dominate learning. Interactive teaching methods promote meaningful learning and improve academic achievement. Counsellors encourage self-directed learning and collaborative problem-solving.

Student Engagement Theory (George Kuh, 2009): Kuh argues that students learn more when they actively participate in educational activities. Components of the theory: Academic engagement, Behavioural engagement, Emotional engagement and Cognitive engagement. The theory directly supports the study because lecturers' engagement techniques determine students' participation, commitment, and academic success. Person-Centered Theory (Carl Rogers, 1951): Rogers emphasizes empathy, genuineness, and unconditional positive regard in helping relationships. Counsellors create supportive environments where students can overcome academic and personal barriers, while lecturers who adopt learner-centred approaches foster greater motivation and participation.

Kuh (2009) examined student engagement practices across American universities using data from the National Survey of Student Engagement (NSSE). The study reported that institutions with high levels of student engagement consistently recorded better academic performance, retention rates, and graduation outcomes. Adeleke and Ibrahim (2022) investigated lecturers' instructional strategies and students' academic performance in public universities in North-West Nigeria using a descriptive survey design. A sample of 480 undergraduate students participated in the study. Data were analyzed using mean, standard deviation, and Pearson Product Moment Correlation. The findings revealed a significant positive relationship between lecturers' use of interactive teaching techniques and students' academic performance ($r = .64$, $p < .05$). The authors recommended continuous professional development for lecturers on innovative teaching methods. Liman and Abdullahi (2024) examined the influence of counselling services on students' academic performance in tertiary institutions in Sokoto State using a correlational research design. The study sampled 420 undergraduate students from three institutions. Findings indicated that academic counselling, study skills training, stress management, and career guidance significantly enhanced students' academic achievement and classroom participation. The researchers recommended stronger collaboration between lecturers and counsellors to improve learning outcomes.

STATEMENT OF THE PROBLEM

Despite continuous efforts by tertiary institutions to improve educational quality, students' academic performance remains a concern. Some students experience difficulties such as poor academic achievement, low motivation, weak participation in classroom activities, and challenges in adapting to university learning environments. One possible factor influencing students' performance is the nature of lecturer engagement techniques. While some lecturers adopt interactive and supportive approaches, others may rely mainly on traditional teaching methods that provide limited opportunities for student participation and feedback. The problem of this study is therefore to determine whether lecturers' engagement techniques significantly influence students' academic performance in Shehu Shagari University of Education, Sokoto, and how counselling services can contribute to improving students' academic experiences.

OBJECTIVES OF THE STUDY

The objectives of this study are to:

1. Identify the lecturers' engagement techniques used in Shehu Shagari University of Education, Sokoto.
2. Examine the level of students' academic performance in relation to lecturers' engagement techniques in Shehu Shagari University of Education, Sokoto.

3. Determine the relationship between lecturers' engagement techniques and students' academic performance in Shehu Shagari University of Education, Sokoto.
4. Identify challenges affecting effective lecturer–student engagement in Shehu Shagari University of Education, Sokoto.
5. Examine the implications of lecturers' engagement techniques for counselling services in Shehu Shagari University of Education, Sokoto.

RESEARCH QUESTIONS

1. What engagement techniques are commonly used by lecturers in Shehu Shagari University of Education, Sokoto?
2. What is the level of students' academic performance in the institution in Shehu Shagari University of Education, Sokoto?
3. What relationship exists between lecturers' engagement techniques and students' academic performance in Shehu Shagari University of Education, Sokoto?
4. What factors affect effective lecturer–student engagement in Shehu Shagari University of Education, Sokoto?
5. What are the counselling implications of lecturers' engagement techniques on students' academic performance in Shehu Shagari University of Education, Sokoto?

Research Hypotheses

Ho1: There is no significant relationship between lecturers' engagement techniques and students' academic performance in Shehu Shagari University of Education, Sokoto.
Ho2: There is no significant difference in students' academic performance based on lecturers' use of effective engagement techniques in Shehu Shagari University of Education, Sokoto.
Ho3: There is no significant relationship between counselling support services and students' academic performance in Shehu Shagari University of Education, Sokoto.

METHODOLOGY

The study adopted a descriptive correlational research design and was also conducted at Shehu Shagari University of Education, Sokoto (SSUES)**,** Sokoto State, Nigeria. The target population consists **of** all undergraduate students of Shehu Shagari University of Education, Sokoto**,** during the 2025/2026 academic session**.** The sample size was determined using the Krejcie and Morgan (1970) Sample Size Determination Table and a sample size of 365 respondents were considered adequate. **A** multistage sampling technique was employed and it include; Stratified Sampling, Proportionate sampling and Simple Random Sampling. The researcher' developed questionnaire was used in the study titled: Students' Performance and Lecturers' Engagement Techniques Questionnaire (SPLETQ).

The instrument consisted of three sections**:** Section A: Demographic Information, Section B: Lecturers' Engagement Techniques and Section C: Students' Academic Performance and Counselling Interventions. It is designed on a 4-point Likert Scale of strongly agree, agree, disagree and strongly disagree with 4,3,2 and 1 as score value. The instrument is to face and content validity, Draft copies of the questionnaire were presented to experts in Guidance and Counselling, Educational Psychology and Measurement and Evaluation. The experts assessed

the relevance, clarity, adequacy, and appropriateness of the questionnaire items in relation to the research objectives and questions as well as hypotheses. Their suggestions were incorporated before the final administration of the instrument. A pilot study was conducted using 30 undergraduate students from a Sokoto state university the responses obtained were analyzed using Cronbach's Alpha Reliability Coefficient through IBM SPSS Statistics Version 29 and a reliability coefficient of 0.70 was obtained. The collected data were analyzed using: Frequency, Percentage, Mean and standard Deviation to answer the research questions. Also Pearson Product Moment Correlation (PPMC) and independent t-test was used for hypotheses testing.

RESULTS

Research Question One: What are the lecturers' engagement techniques commonly used in Shehu Shagari University of Education, Sokoto?

Table 1: Mean Ratings on Lecturers' Engagement Techniques

S/N	Lecturers' Engagement Techniques	Mean	SD	Decision
1	Interactive classroom discussion	3.48	0.64	High
2	Question and answer sessions	3.52	0.61	High
3	Use of instructional materials	3.40	0.71	High
4	Group assignments	3.31	0.72	High
5	Continuous assessment and feedback	3.61	0.58	Very High
6	Practical demonstrations	3.18	0.83	High
7	Student presentations	3.26	0.79	High
8	Use of ICT and multimedia	3.05	0.87	Moderate
9	Collaborative learning	3.35	0.68	High
10	Individual academic support	3.44	0.70	High

The findings indicate that lecturers in Shehu Shagari University of Education commonly employ several engagement techniques. Continuous assessment and feedback recorded the highest mean (3.61), while the use of ICT recorded the lowest mean (3.05). The grand mean of 3.36 indicates that lecturers generally utilize effective engagement techniques.

Research Question Two: What is the level of students' academic performance in the university?

Table 2: **Frequency and Percentage**

Level	**Frequency**	**Percentage**
High	118	39.3
Moderate	146	48.7
Low	36	12.0
Total	300	100

Most students (48.7%) demonstrated moderate academic performance, while 39.3% exhibited high academic performance. Only 12.0% recorded low academic performance.

Research Question Three: What relationship exists between lecturers' engagement techniques and students' academic performance?

Table 3: **relationship exists between lecturers' engagement techniques and students' academic performance**

Variables	**r-value**	**Decision**
Lecturers' engagement techniques vs Academic performance	0.684	Strong Positive Relationship

A strong positive relationship exists between lecturers' engagement techniques and students' academic performance.

Research Question Four: How do students perceive the effectiveness of lecturers' engagement techniques?

Table 4: **students perceive the effectiveness of lecturers' engagement techniques**

Response	**Frequency**	**Percentage**
Highly Effective	139	46.3
Effective	126	42.0
Moderately Effective	28	9.3
Not Effective	7	2.4

The majority (88.3%) of the students perceived lecturers' engagement techniques as either effective or highly effective.

Research Question Five: What counselling interventions can improve lecturers' engagement techniques and students' academic performance?

Table 5: **counselling interventions can improve lecturers' engagement techniques and students' academic performance**

Counselling Intervention	**Mean**	**Decision**
Study skills training	3.64	Accepted

Counselling Intervention	Mean	Decision
Academic counselling	3.71	Accepted
Career counselling	3.42	Accepted
Stress management counselling	3.56	Accepted
Time management workshops	3.53	Accepted
Peer mentoring	3.39	Accepted
Motivational seminars	3.48	Accepted

Students agreed that counselling interventions could significantly improve lecturers' engagement techniques and students' academic performance.

Hypothesis One: There is no significant relationship between lecturers' engagement techniques and students' academic performance.

Variables	r	Sig.	Decision
Engagement Techniques vs Academic Performance	0.684	0.000	Rejected

Hypothesis Two: There is no significant difference in students' academic performance based on lecturers' engagement techniques.

Groups	t	Sig.	Decision
High vs Low Engagement	5.42	0.000	Rejected

SUMMARY OF FINDINGS

1. Lecturers frequently employed various engagement techniques such as interactive discussions, continuous assessment, group assignments, and instructional materials, although ICT utilization remained relatively moderate.
2. Students generally demonstrated moderate to high academic performance, indicating satisfactory learning outcomes.
3. A significant positive relationship exists between lecturers' engagement techniques and students' academic performance.
4. Students perceived lecturers' engagement techniques as effective in promoting active learning and academic success.
5. Counselling interventions, including academic counselling, study skills training, stress management, motivational seminars, and peer mentoring, were considered effective strategies for improving academic performance.

6. There is significant relationship between lecturers' engagement techniques and students' academic performance.

7. There is no significant difference in students' academic performance based on lecturers' engagement techniques.

DISCUSSION OF FINDINGS

The findings revealed that lecturers in Shehu Shagari University of Education, Sokoto commonly employ engagement techniques such as interactive classroom discussions, continuous assessment, question-and-answer sessions, group assignments, collaborative learning, practical demonstrations, and individual academic support. However, the use of Information and Communication Technology (ICT) and multimedia was relatively lower than other engagement strategies. This suggests that although lecturers are adopting learner-centred instructional approaches, technology-enhanced teaching is yet to be fully integrated into classroom practice. The result is consistent with the findings of Kuh (2009**)** found that lecturers' active engagement strategies significantly improve students' motivation, classroom participation, and academic achievement in higher education institutions.

The study also found that the majority of students demonstrated moderate academic performance, while a substantial proportion achieved high academic performance. Only a few students recorded low academic performance. This suggests that students generally perform satisfactorily, although there remains considerable room for improvement. The finding agrees with Tinto (2012), who argued that students' academic success is largely influenced by institutional support, effective teaching practices, academic integration, and social engagement. According to Tinto, students who experience supportive learning environments are more likely to persist academically and achieve better educational outcomes.

The study also established a statistically significant positive relationship between lecturers' engagement techniques and students' academic performance. This implies that increased use of effective engagement strategies leads to improved academic achievement among students. The finding is consistent with Kuh (2009), who found that educational practices promoting active learning, collaborative assignments, prompt feedback, and student-faculty interaction significantly improve academic achievement and retention rates.

The findings also revealed that students generally perceived lecturers' engagement techniques as effective and beneficial for learning. Students believed that lecturers who encourage participation, provide timely feedback, and adopt interactive instructional methods facilitate better understanding and academic success. The finding agrees with Richardson, Abraham and

Bond (2012), who found that students' positive perceptions of teaching quality strongly predict academic achievement in higher education. Their meta-analysis identified teaching effectiveness as one of the strongest predictors of students' educational outcomes.

The study revealed that counselling interventions such as academic counselling, study skills training, stress management, career guidance, peer mentoring, and motivational programmes significantly improve students' academic performance. The finding is consistent with Gysbers and Henderson (2012), who maintained that comprehensive counselling programmes promote students' academic development through goal setting, educational planning, study skills enhancement, and emotional support.

CONCLUSION

Based on the findings, the study concludes that lecturers' engagement techniques play a vital role in enhancing students' academic performance in Shehu Shagari University of Education, Sokoto. Active teaching methods, continuous assessment, collaborative learning, and supportive classroom interactions significantly contribute to improved learning outcomes. Furthermore, counselling interventions strengthen students' academic adjustment, motivation, emotional well-being, and study skills, thereby promoting better academic achievement. Integrating effective teaching strategies with comprehensive counselling services is therefore essential for improving educational quality in the university.

RECOMMENDATIONS

Based on the findings, the following recommendations are made:

1. Lecturers should increase the use of learner-centred instructional strategies such as classroom discussions, collaborative learning, practical demonstrations, and problem-solving activities.
2. The university management should provide regular professional development programmes to enhance lecturers' instructional competence and classroom engagement skills.
3. Greater investment should be made in ICT facilities, smart classrooms, internet connectivity, and multimedia instructional resources.
4. Continuous assessment and constructive feedback should be strengthened to promote active learning and monitor students' progress effectively.
5. The Guidance and Counselling Unit should organize regular academic counselling programmes, study skills workshops, stress management seminars, and career guidance sessions.

6. Students should be encouraged to participate actively in classroom discussions, group projects, and peer mentoring programmes.

7. University management should strengthen collaboration between academic departments and counsellors to identify and support students experiencing academic difficulties.

8. Regular evaluation of lecturers' engagement techniques should be conducted through students' feedback and classroom observations to ensure continuous quality improvement.

IMPLICATIONS FOR COUNSELLING

The findings has serious implications for counselling in the following:

Academic Counselling: Counsellors should provide structured academic counselling services to help students improve study habits, examination preparation, goal setting, and academic motivation.

Study Skills Development: Counsellors should organize workshops on effective note-taking, time management, critical thinking, test-taking strategies, and independent learning.

Stress and Emotional Management: Counselling programmes should address academic stress, anxiety, examination pressure, and emotional challenges that may hinder students' performance.

Collaborative Counselling: Counsellors should work closely with lecturers to identify academically at-risk students and develop early intervention strategies. **Career Development:** Career counselling should help students understand the relevance of academic engagement to future career opportunities, thereby increasing motivation and commitment to learning.

Training for Lecturers: Counsellors can collaborate with university management to conduct workshops for lecturers on student psychology, motivation, classroom management, inclusive teaching practices, and effective communication.

REFERENCES

Adeyemi, T. O. (2018). *Educational Management and Students' Academic Performance*. Green Line Publishers.

Bandura, A. (1986). *Social Foundations of Thought and Action: A Social Cognitive Theory*. Prentice Hall.

Biggs, J., & Tang, C. (2011). *Teaching for Quality Learning at University* (4th ed.). Open University Press.

Corey, G. (2021). *Theory and Practice of Counseling and Psychotherapy* (10th ed.). Cengage Learning.

Kuh, G. D. (2009). The National Survey of Student Engagement: Conceptual and empirical foundations. *New Directions for Institutional Research, 141*, 5–20.

Krejcie, R. V., & Morgan, D. W. (1970). Determining sample size for research activities. *Educational and Psychological Measurement, 30*(3), 607–610.

Prince, M. (2004). Does active learning work? A review of the research. *Journal of Engineering Education, 93*(3), 223–231.

Rogers, C. R. (1951). *Client-Centered Therapy*. Houghton Mifflin.

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press.
York, T. T., Gibson, C., & Rankin, S. (2015). Defining and measuring academic success. *Practical Assessment, Research & Evaluation*, *20*(5), 1–20.

CHALLENGES AND INSTITUTIONAL–STRUCTURAL BARRIERS TO INDIVIDUAL MASTERY IN THE PATH OF IRAN'S POLITICAL ECONOMY UNDERDEVELOPMENT

Vorya Shabrandi
Dr. Sajjad Bahrami Moghadam
The Gap Between Individual Capability and Institutional Structure in Iran

Abstract:

This article investigates the structural obstacles to individual mastery in Iran's political economy through the design and testing of an interdisciplinary conceptual model. The central research question asks why, despite significant human capital, talented individuals and elites are unable to progress through the final stages of professional and intellectual mastery in Iran. To address this, three complementary theoretical frameworks are employed: first, Douglas North's theory of extractive institutions to explain the institutional roots of underdevelopment; second, Nassim Taleb's concepts of *antifragility* and "*skin in the game*" to highlight the lack of accountability in power structures; and third, Ali-Reza Qoli's sociological analysis of elite suppression to account for historical barriers that reproduce underdevelopment. These frameworks are integrated with Robert Greene's six-stage mastery model call, apprenticeship, practice, creativity, intuition, and mastery. The findings indicate that most stages of mastery in Iran face institutional, educational, cultural, and political obstacles, leading to outcomes such as brain drain, exclusion of independent elites, and incomplete personal development. Accordingly, the study proposes the "*Cycle of Mastery Challenges*" model as an explanation of systemic barriers to development, emphasizing the need for institutional reform, power redistribution, and a learning-oriented culture to enable mastery as a developmental right. The research demonstrates how a rent-seeking structure, weak institutions, and systematic elite suppression transform mastery into an individual, migration-driven, and exceptional phenomenon in Iran. Ultimately, the proposed conceptual model suggests that overcoming the cycle of underdevelopment requires institutional reorganization, balanced power distribution, and restored accountability among decision-makers.

Keywords: Iran, mastery, underdevelopment, institutional economics.

BEYOND LANGUAGE PROFICIENCY: INVESTIGATING SYNTHESIS AS A HIGHER-ORDER COGNITIVE COMPETENCE IN EFL ORAL PRESENTATIONS

Dr. Samia Moustaghfir
Institutional Affiliation :Faculty of Languages, Letters and Arts (FLLA) - Ibn Tofail University-Kénitra
Orcid ID: https://orcid.org/0009-0000-7673-8413
Sakina El Khattabi
Institutional Affiliation :Faculty of Languages, Letters and Arts (FLLA) - Ibn Tofail University-Kénitra
Orcid ID: https:// orcid.org/0009-0009-9939-8584

Abstract

The internationalization of higher education and the rapid expansion of digitally mediated learning environments have intensified demands for graduates who can not only communicate effectively in English but also critically integrate, transform, and communicate knowledge across disciplinary, linguistic, and intercultural contexts. Within this emerging educational paradigm, oral communication competence extends beyond linguistic accuracy to encompass higher-order cognitive processes that enable meaningful knowledge construction. Among these processes, synthesis, the ability to integrate information from multiple sources into coherent and original understandings, remains insufficiently examined in English as a Foreign Language (EFL) oral assessment research, where evaluation practices continue to privilege linguistic performance over cognitive complexity. Addressing this gap, the present study investigates the extent to which synthesis manifests in undergraduate EFL oral presentations and explores its relationship with key dimensions of linguistic performance. Adopting a quantitative descriptive-correlational design, the study analyzed oral presentations delivered by 30 undergraduate EFL students. Participants' performances were assessed using an analytic oral presentation rubric alongside a specifically designed synthesis scale. Descriptive statistics were employed to examine the distribution of synthesis and linguistic performance scores, while Pearson's correlation analysis was conducted to determine the relationships between synthesis and the assessed dimensions of oral performance. The findings revealed generally low-to-moderate levels of synthesis ($M = 2.53$, $SD = 0.78$), with 86.7% of participants demonstrating limited capacity to integrate and reconstruct knowledge during oral presentations. In contrast, linguistic performance exhibited relatively stable and homogeneous patterns (Total Score: $M = 12.90$, $SD = 1.55$), with normality assumptions satisfied across variables ($p > .05$). Correlational analyses indicated moderate positive relationships between synthesis and Content and Organization ($r = .39$), Language Use ($r = .35$), and overall oral performance (r

= .42), whereas weaker associations emerged with Fluency (r = .28) and Pronunciation (r = .18). These findings suggest that although synthesis contributes to overall oral performance, it does not strongly align with conventional indicators of language proficiency, supporting its conceptualization as a partially independent cognitive competence. The study contributes to ongoing discussions on 21st-century competencies by highlighting the need to reconceptualize EFL oral assessment as a multidimensional construct that captures both linguistic and cognitive dimensions of performance. It advocates for the explicit integration of synthesis into assessment frameworks and instructional practices, thereby promoting more cognitively enriched approaches to academic communication in contemporary higher education settings.

Keywords: synthesis; higher-order thinking skills; oral assessment; academic communication; cognitive competence

THE PROBLEM OF MICROPLASTICS IN ENVIRONMENTAL MEDICINE

Mariami Managadze
" Student of the Faculty of Public Health, Tbilisi State Medical University."

Abstract

Introduction: Microplastics represent one of the most significant challenges in modern environmental medicine due to their widespread distribution and potential adverse effects on human health. These compounds enter the environment through various routes, including marine and freshwater sources, ambient air, and food products, increasing human exposure.

The study aimed to analyze the main sources, global distribution, and pathophysiological effects of microplastics on human health based on recent scientific literature.

Study Methods and Materials: This study is based on a narrative literature review conducted in accordance with PRISMA guidelines to ensure methodological transparency and accuracy. A comprehensive search was performed in the PubMed and Google Scholar databases, covering the period from 2014 to 2024. The following keywords were used: "microplastics," "human health," "bioaccumulation," "microplastics ingestion," and "toxicology of microplastics."

Inclusion criteria were: Peer-reviewed studies focusing on the impact of microplastics on human health, Systematic reviews, meta-analyses, original research articles. After initial screening of **134 articles**, **37** met the final eligibility criteria and were analyzed in depth.

Literature management was conducted using **Zotero**, while Microsoft Excel was used for data synthesis and thematic organization.

Results: The findings indicate that microplastics have bio accumulative properties and are linked to serious health effects, including endocrine disruption, inflammation, immune dysfunction, cancer risk, and neurodegenerative diseases.

Conclusion:

Strengthening control measures across drinking water, food, and air quality to mitigate microplastic exposure, supported by coordinated efforts in environmental regulation, public health, and education.

Key words: Microplastics, Health risks, Environmental medicine, Bioaccumulation.

Bibliography

1. **Browne, M.A., et al.** (2011). *Accumulations of Microplastic on Shorelines Worldwide: Sources and Sinks.* Environmental Science and Technology, 45, 9175–9179.
2. **Hao-Peng Wang, Xu-Hui Huang, Jia-Nan Chen, Meng Dong, Cheng-Zhen Nie, Lei Qin.** (2023). *Micro- and nano-plastics in food systems: Distribution, combined toxicity with*

environmental contaminants, and removal strategies. Chemical Engineering Journal, 476, 15 November, 146430.

3. **Ivar do Sul, J.A., & Costa, M.F.** (2014). *The present and future of microplastic pollution in the marine environment.* Environmental Pollution, 185, 352–364.
4. **Li, Y., Tao, L., Wang, Q., Wang, F., Li, G., Song, M., & Sung.** (2023). *Potential Health Impact of Microplastics: A Review of Environmental Distribution, Human Exposure, and Toxic Effects.* Environmental Health, 1(4), 249–257.
5. **Schwabl, P., Köppel, S., Königshofer, P., Bucsics, T., Trauner, M., Reiberger, T., & Liebmann, B.** (2019). [Title missing]. [Journal name missing], 171(7), 453–457.
6. **Thompson, R., & Napper, I.** (2019). *Microplastics in the Environment.* In Plastics and the Environment (pp. 60–81).

THE SCIENTIFIC PERSPECTIVES ON THE EVOLUTION OF TEACHING AND LEARNING SCIENCES IN GLOBAL HIGHER MEDICAL EDUCATION: A COMPREHENSIVE ANALYSIS OF COMPETENCY-BASED EDUCATION, ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN PEDAGOGY, IMMERSIVE LEARNING TECHNOLOGIES, CLINICAL DECISION-MAKING, EDUCATIONAL LEADERSHIP, AND SUSTAINABLE ACADEMIC TRANSFORMATION

Nino Mikautadze [1], Lela Grigolia [9], Kakhaber Robakidze [10], Tamar Okropiridze [11], David Aphkhazava [12]

1. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor of David Aghmashenebeli University of Georgia, Dean Faculty of Medicine at David Aghmashenebeli University of Georgia. Tbilisi, Georgia.
2. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor of David Aghmashenebeli University of Georgia, Head of The Medical Education Study Program; Tbilisi, Georgia.
3. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor of David Aghmashenebeli University of Georgia; Professor of Faculty of Medicine at East European University; Tbilisi, Georgia.
4. PhD, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician, Georgian Academy of Ecological Sciences, Program Coordinator of Quality Assurance Office at Iakob Gogebashvili Telavi State University (TeSaU), Telavi, Georgia. https://orcid.org/0009-0005-4213-6533
5. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Doctor Cardiologist at Republican Hospital, Invited Professor of Tbilisi State Medical University, Professor of Ken Walker international University, Professor of International School of Medicine at Alte University, Professor of Faculty of Medicine at Georgian National University, Tbilisi, Georgia.
6. MD, Doctor of Family Medicine, Invited Lecturer of Tbilisi State Medical University, Department of Molecular and Medical Genetics; Invited Lecturer of Family Medicine of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU; Invited Professor of Biochemistry and Molecular and Medical Genetics at The University of Georgia; Tbilisi, Georgia;
7. MD, MPH, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor – Head of the School of Public Health at David Tvildiani Medical University, Tbilisi, Georgia; Member of the United Nations Secretary General's Independent Accountability Panel, Geneva, Switzerland; President, Accreditation San Frontières, Paris, France, Lviv Ukraine; https://orcid.org/0000-0001-7609-4515

Georgian

9. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor of The Caucasus International University; Tbilisi, Georgia;
10. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Academician, Professor of The Caucasus International University; National Health Center named after Academician O. Gudushauri; Tbilisi, Georgia;
11. MD, PhD, Doctor Medical Sciences, Academician, Professor of the Division of Dentistry of International School of Medicine at Alte University; Invited Professor of Dentistry Department of The School of Health Sciences at The University of Georgia, Tbilisi, Georgia;
12. PhD, Doctor of Biological Sciences, Professor, University of Georgia, Tbilisi, Georgia. Tbilisi, Georgia. Orcid: https://orcid.org/0000-0001-6216-6477

Abstract

The evolution of teaching and learning sciences in global higher medical education has accelerated in response to rapid advances in healthcare, digital technologies, demographic transitions, and the growing demand for competent, adaptable, and ethically grounded health professionals. This comprehensive analysis examines the transformation of medical education through the integration of competency-based education, artificial intelligence, digital pedagogy, immersive learning technologies, clinical decision-making frameworks, educational leadership, and sustainable academic transformation. The study synthesizes contemporary scientific perspectives from medical education research, learning sciences, health informatics, cognitive psychology, organizational leadership, and systems innovation to evaluate how these interconnected domains are reshaping the preparation of physicians, pharmacists, nurses, and allied health professionals across diverse global contexts. Competency-based education has emerged as the dominant paradigm for aligning curricular outcomes with societal health needs. Rather than emphasizing time-based progression, contemporary medical programs increasingly focus on demonstrable competencies in patient care, communication, professionalism, interprofessional collaboration, and systems-based practice. This shift enables more personalized learning trajectories, formative assessment, workplace-based evaluation, and continuous feedback mechanisms. Evidence suggests that competency-driven curricula improve learner accountability, facilitate longitudinal skill development, and strengthen the linkage between educational outcomes and healthcare quality. However, implementation challenges persist, including faculty development needs, assessment reliability, and the integration of competencies across complex clinical environments. Artificial intelligence is transforming educational analytics, adaptive learning, assessment, and clinical training. AI-enabled platforms can identify learning gaps, personalize educational content, predict academic risk, and support simulation-based feedback. In clinical education, machine learning tools increasingly assist learners in diagnostic reasoning, image interpretation, evidence retrieval, and decision support. While AI offers substantial opportunities for efficiency and precision, this analysis emphasizes that educational systems must address algorithmic bias, data governance, transparency, and the preservation of humanistic medical values. The future of AI-enhanced medical education lies not in replacing educators, but in augmenting faculty expertise and supporting reflective clinical judgment. Digital pedagogy has expanded beyond emergency remote teaching toward sophisticated blended, hybrid, and asynchronous learning ecosystems. Virtual classrooms, learning management systems, collaborative platforms, microlearning, and mobile education have increased accessibility for geographically dispersed learners and working professionals. Effective digital pedagogy requires instructional design grounded in cognitive load theory, active learning, retrieval practice, and social constructivism. Programs that combine online flexibility with structured clinical mentorship demonstrate improved learner engagement and resilience, particularly during periods of healthcare disruption.

Immersive learning technologies, including virtual reality, augmented reality, mixed reality, and high-fidelity simulation, are creating new opportunities for procedural training, anatomical visualization, emergency response rehearsal, and interprofessional team development. These technologies provide psychologically safe environments for repeated practice and error correction before patient encounters. Research indicates that immersive simulation can enhance psychomotor performance, situational awareness, and confidence, although cost, infrastructure, and equitable access remain significant considerations for global adoption. The analysis further explores the central role of clinical decision-making education in preparing graduates for increasingly complex healthcare systems. Contemporary curricula are integrating evidence-based medicine, diagnostic reasoning, cognitive debiasing strategies, data literacy, and patient-centered communication. Decision-making competence is increasingly viewed as a synthesis of scientific knowledge, contextual judgment, ethical reasoning, and collaborative practice. Educational approaches that incorporate case-based learning, simulation, reflective practice, and longitudinal clinical coaching appear most effective in developing adaptive expertise. Educational leadership is identified as a critical driver of sustainable transformation. Institutional leaders must navigate accreditation pressures, faculty workload, technological investment, curriculum reform, and quality assurance while fostering cultures of innovation and inclusion. Distributed leadership models, faculty development programs, and evidence-informed governance are associated with greater organizational readiness for change. Sustainable academic transformation also requires attention to equity, digital inclusion, environmental responsibility, learner well-being, and the long-term alignment of educational missions with public health priorities. The future of global higher medical education depends on the synergistic integration of competency-based frameworks, responsible artificial intelligence, robust digital pedagogy, immersive technologies, advanced clinical reasoning instruction, and visionary educational leadership. Institutions that adopt scientifically grounded, learner-centered, ethically responsible, and sustainability-oriented strategies will be better positioned to produce health professionals capable of delivering high-quality care in rapidly evolving healthcare environments. The ongoing challenge is not merely technological adoption, but the creation of resilient educational ecosystems that preserve the human, ethical, and social foundations of medicine while embracing innovation.
Keywords: Modern, teaching, learning, methods, higher education institutions, medical educational.

The rapid transformation of global healthcare systems, biomedical sciences, and digital technologies has fundamentally reshaped the landscape of higher medical education. Contemporary medical schools and health professions education institutions are increasingly required to prepare graduates who possess not only robust scientific knowledge and clinical competence but also adaptive expertise, technological literacy, interdisciplinary collaboration skills, ethical judgment, and lifelong learning capabilities. Against this backdrop, the evolution of teaching and learning sciences has emerged as a central driver of educational innovation, curricular reform, and institutional modernization. This comprehensive analysis explores the scientific perspectives underlying the ongoing transformation of higher medical education, focusing on competency-based education, artificial intelligence, digital pedagogy, immersive learning technologies, clinical decision-making development, educational leadership, and sustainable academic transformation.

Competency-based medical education has gained global recognition as a foundational framework for aligning educational outcomes with healthcare workforce needs. Unlike traditional time-based educational models, competency-based approaches emphasize

measurable performance, learner-centered progression, authentic assessment, and the integration of knowledge, skills, attitudes, and professional behaviors. The adoption of competency frameworks has facilitated the development of educational systems that prioritize clinical reasoning, patient-centered care, interprofessional collaboration, communication proficiency, professionalism, and evidence-based practice. These developments have enhanced the capacity of medical institutions to produce graduates who are better prepared to meet the complexities of contemporary healthcare delivery and rapidly evolving patient expectations.

Simultaneously, advances in artificial intelligence have introduced unprecedented opportunities for educational personalization, adaptive learning, predictive analytics, intelligent tutoring systems, automated assessment, curriculum optimization, and data-informed decision-making. Artificial intelligence technologies enable educators to identify learning gaps, monitor student progression, customize educational pathways, and support clinical training through sophisticated simulation environments. Furthermore, machine learning algorithms and educational analytics contribute to enhanced learner engagement, early identification of academic challenges, and improved educational outcomes. However, the integration of artificial intelligence also raises critical considerations regarding ethics, transparency, data privacy, algorithmic bias, professional accountability, and responsible implementation within academic environments.

The expansion of digital pedagogy has further accelerated the modernization of medical education worldwide. Online learning platforms, virtual classrooms, mobile learning applications, cloud-based educational resources, and collaborative digital ecosystems have significantly expanded access to knowledge and educational opportunities. These innovations support flexible learning environments, facilitate global collaboration, and promote student-centered educational experiences. Digital pedagogy has become particularly important in fostering resilience and continuity during periods of disruption, demonstrating its strategic value in ensuring educational sustainability and institutional adaptability.

Immersive learning technologies, including virtual reality, augmented reality, mixed reality, digital simulation, and extended reality platforms, represent another transformative dimension of contemporary medical education. These technologies create highly interactive and realistic learning environments that enhance psychomotor skill acquisition, anatomical understanding, procedural competence, clinical communication, and patient safety awareness. Through experiential and simulation-based learning, students can engage in complex clinical scenarios without risking patient harm, thereby improving confidence, decision-making accuracy, and professional readiness. The growing integration of immersive technologies reflects a broader shift toward experiential learning models that emphasize active participation, reflective practice, and competency development.

A critical component of educational evolution involves strengthening clinical decision-making and diagnostic reasoning capabilities among future healthcare professionals. Modern teaching and learning sciences increasingly emphasize the cultivation of higher-order cognitive skills, critical thinking, problem-solving, clinical judgment, and evidence-informed decision-making. Educational strategies such as case-based learning, problem-based learning, team-based learning, simulation training, and reflective practice have demonstrated substantial effectiveness in supporting these objectives. Such approaches foster deeper understanding of clinical complexity while promoting the integration of biomedical knowledge with practical application in diverse healthcare settings.

Educational leadership has also emerged as a strategic determinant of successful academic transformation. Effective leadership facilitates organizational innovation, faculty development, curriculum modernization, quality assurance, stakeholder engagement, and institutional resilience. Academic leaders play a pivotal role in creating cultures of continuous

improvement, scholarly excellence, inclusivity, and innovation. Their capacity to guide change management processes and align educational strategies with societal healthcare needs is increasingly recognized as essential for sustainable institutional success.

The developments illustrate a paradigm shift in higher medical education characterized by technological integration, learner-centered methodologies, competency-driven curricula, and evidence-based educational practices. The future of medical education depends upon the successful convergence of pedagogical innovation, scientific advancement, digital transformation, and strategic leadership. Sustainable academic transformation requires institutions to continuously adapt to emerging technologies, evolving healthcare demands, and global educational challenges while maintaining commitments to equity, quality, professionalism, and patient-centered care. Ultimately, the evolution of teaching and learning sciences provides a critical foundation for preparing healthcare professionals capable of addressing the complex medical, social, and technological realities of the twenty-first century.

Aim of the research was to study key issue facets of manifestation of modern teaching and learning methods in higher education institutions in medical educational study programs directions globally. Advances in teaching and learning methodologies have had a major impact on the development of medical education. The article studies and discusses modern teaching and learning methods used in higher education institutions around the world, especially in medical education curricula. The article reviews the main aspects that shape modern teaching and learning methods, with regard to their importance, effectiveness and challenges for the development of competent healthcare professionals. Medical education is undergoing transformational change in response to the increasing complexity of healthcare delivery, technological advancements and changing needs of society. Traditional pedagogical approaches are being replaced by innovative teaching and learning methods designed to enhance student engagement, critical thinking and clinical competence. The article discusses the main issues related to the integration of these modern teaching and learning methodologies into higher medical education curricula globally. The manifestation of modern teaching and learning methods in higher education institutions, particularly in medical educational study programs, reflects a global trend toward enhancing the quality of medical education. By

e
m
b

Lectures have long been the predominant and most widely used method in traditional teaching and learning. This approach primarily involves instructors delivering extensive information with limited student engagement. Typically, lectures take place in teacher-centered classrooms, where the focus is on the instructor, content, and student comprehension. While lectures are favored for their straightforward delivery, suitability in overcrowded classrooms, and efficiency in covering substantial theoretical material, students often struggle to absorb, recall, and interpret the vast amount of information presented. However, learning is an interactive process that requires collaboration between students and instructors to make knowledge sharing both engaging and comprehensible. For learning to be truly effective, teaching methods must promote critical thinking and focus on addressing key challenges. Students need to apply the knowledge and skills acquired in class to achieve their professional aspirations. This requires incorporating diverse learning styles, offering opportunities for feedback, and fostering discussions to enhance their understanding. Therefore, it is essential to adopt teaching and learning strategies that align with the unique needs of students.

Educational methods and experiences include learning and teaching techniques aimed at achieving specified learning outcomes and supporting students' independent learning. This

e
n
t
e
r
e

experience may be formal or informal, group or individual, and may be a medical school, community, secondary or tertiary experience or educational experience.
The choice is determined by the curriculum and local cultural issues related to education, as well as the available human and material resources.
The integration of technology into medical education has revolutionized traditional teaching methods. E-learning platforms, virtual simulations, and mobile applications provide students with access to resources and interactive experiences beyond the classroom. The use of telemedicine and digital health tools also prepares students for modern healthcare delivery systems.
Competency-based education (CBE) is gaining prominence in medical training, focusing on the acquisition of specific competencies necessary for effective practice. CBE emphasizes outcomes rather than time-based curricula, enabling students to progress at their own pace while mastering clinical skills. This approach aligns educational objectives with the demands of the healthcare profession.
Interprofessional education (IPE) fosters collaboration among healthcare professionals from diverse fields. IPE programs promote teamwork and communication skills, essential for providing patient-centered care in complex healthcare settings. By engaging medical students with nursing, pharmacy, and allied health students, IPE enhances understanding of the roles and responsibilities of various healthcare providers.
Assessment and Feedback: The modern assessment methods are evolving to reflect the competencies required in medical practice. Formative assessments, direct observation, and feedback mechanisms play a crucial role in guiding student learning. Tools such as Objective Structured Clinical Examinations (OSCEs) and workplace-based assessments (WPBA) ensure that students are evaluated on their practical skills in real-world settings.
Challenges in Implementing Modern Teaching Methods: Despite the benefits of modern teaching and learning methods, several challenges impede their widespread adoption in medical education: Resistance to change, many educators are accustomed to traditional teaching methodologies, leading to resistance when implementing new approaches. Overcoming this inertia requires ongoing professional development and training to equip instructors with the skills necessary for innovative teaching.
Resource Constraints: Limited resources, including funding, technology, and personnel, can hinder the effective implementation of modern teaching methods. Higher education institutions must prioritize investment in educational technologies and infrastructure to support innovative teaching practices.
Assessment Validity: Ensuring the validity and reliability of assessment methods remains a challenge in competency-based medical education. Developing robust assessment tools that accurately measure student competencies is essential for maintaining educational quality and accountability.
Maintaining Student Engagement: As educational methods evolve, maintaining student motivation and engagement can be challenging. Continuous evaluation of teaching strategies and incorporation of student feedback are vital to creating an engaging learning environment.
It is impossible to study any specific issue in the teaching process with only one method and one activity. In the teaching process, the teacher has to use activities of different methods, and in many cases, there is a combination of activities. During the teaching process, the activities complement each other.
The article reviews various contemporary learning methodologies, including case-based learning, evidence-based medicine, problem-based learning, simulation-based learning, e-learning, peer-assisted learning, observational learning, flipped classrooms, and team-based

learning. These methods cater to individual learning differences, enhancing students' critical thinking, clinical reasoning, and time management skills.

The study piece explores the integration of technology-enhanced methods, simulation-based training, flipped classrooms, and active learning strategies in healthcare education. These approaches promote active student engagement, personalized learning experiences, and the development of critical thinking and clinical reasoning skills.

This review identifies various modern learning methodologies, including case-based learning, evidence-based medicine, problem-based learning, simulation-based learning, e-learning, peer-assisted learning, observational learning, flipped classrooms, and team-based learning. These methods address individual learning differences, allowing students to broaden their thinking and professional knowledge.

The article discusses the shift towards hands-on training, interactive learning, and real-world simulations in medical education. These methods ensure that medical students and professionals are well-prepared for clinical practice. This paper reviews the current and emerging teaching methods in medical education, considering their history, style, and core focus.

The study presents how augmented reality (AR) can be used as a teaching aid for medical education, focusing on remote and socially distanced learning. An Augmented Reality **(**AR)-enhanced learning tool, was developed to assist medical students in understanding complex anatomical structures. The study introduces the principles of prompt engineering for large language models and applies them to medical education. It provides a comprehensive guide to help both teachers and students improve education in the medical field by leveraging AI technologies.

In an era marked by rapid scientific and technological advancements, the field of medical education has undergone a significant paradigm shift. The traditional approaches, characterized by lecture-based instruction and rote memorization, are being redefined by innovative teaching and learning methodologies. These modern methods aim to meet the evolving demands of global healthcare systems, equipping future medical professionals with the skills necessary to address complex medical challenges, adapt to emerging technologies, and provide patient-centered care.

Central to this transformation is the adoption of student-centered pedagogies such as problem-based learning (PBL), case-based learning (CBL), team-based learning (TBL), and flipped classrooms. These methods encourage active participation, critical analysis, and collaborative problem-solving among students, fostering a deeper understanding of medical concepts and their real-world applications. Simulation-based education, using tools like high-fidelity mannequins and virtual patients, provides a safe and controlled environment for students to practice clinical skills, enhancing their competence and confidence.

Medical education has entered an unprecedented era of transformation driven by rapid scientific advancement, digital innovation, evolving healthcare systems, demographic changes, globalization, and increasing societal expectations regarding the quality and safety of healthcare services. The traditional paradigms of teaching and learning that dominated higher medical education for decades are being progressively replaced by learner-centered, competency-oriented, technology-enhanced, and evidence-informed educational models. Across the world, universities, medical schools, pharmacy faculties, nursing institutions, and other health professional education programs are reconsidering their educational philosophies to better prepare graduates who are capable of addressing increasingly complex clinical, technological, ethical, and public health challenges. Consequently, the teaching and learning sciences have become fundamental pillars supporting educational excellence, healthcare innovation, and sustainable professional development.

The evolution of teaching and learning sciences in global higher medical education represents far more than curricular modification or technological modernization. It reflects a comprehensive paradigm shift that integrates educational psychology, cognitive sciences, neuroscience, health informatics, artificial intelligence, simulation science, educational leadership, implementation science, and systems thinking into the educational process. These interdisciplinary perspectives collectively contribute to the development of educational environments that foster clinical competence, critical thinking, professional identity formation, lifelong learning, ethical responsibility, collaborative practice, and patient-centered care. Modern medical education therefore extends beyond the acquisition of biomedical knowledge, emphasizing the cultivation of adaptive expertise, reflective practice, emotional intelligence, digital literacy, and resilience.

Historically, medical education relied heavily upon teacher-centered instruction, passive lectures, memorization-based assessment, and apprenticeship models in clinical environments. While these approaches established foundational scientific knowledge and clinical exposure, they often demonstrated limitations in promoting higher-order cognitive skills, clinical reasoning, interprofessional collaboration, and individualized learning experiences. The increasing complexity of healthcare delivery, coupled with rapid biomedical discoveries and technological advancement, exposed the inadequacy of static educational models in preparing future healthcare professionals. Consequently, educational reforms have increasingly embraced competency-based education, active learning methodologies, problem-based learning, team-based learning, case-based instruction, simulation-based education, and workplace-based assessment.

Competency-based medical education has emerged as one of the most influential educational reforms of the twenty-first century. Unlike traditional time-dependent curricula, competency-based education emphasizes measurable outcomes that reflect the knowledge, skills, attitudes, and professional behaviors required for effective clinical practice. This educational philosophy aligns learning activities, assessments, and curriculum design with clearly defined competencies that correspond to societal healthcare needs. Learners' progress through developmental milestones based upon demonstrated performance rather than predetermined academic timelines. Such approaches facilitate personalized learning pathways, continuous formative feedback, reflective practice, and ongoing professional development while simultaneously strengthening accountability within educational institutions.

The scientific foundations of competency-based education are supported by advances in cognitive psychology, educational neuroscience, and learning sciences. Contemporary understanding of human learning demonstrates that durable knowledge acquisition requires active engagement, repeated retrieval, contextual application, deliberate practice, meaningful feedback, and metacognitive reflection. Educational strategies grounded in constructivism, experiential learning, cognitive apprenticeship, and self-regulated learning promote deeper understanding than passive transmission of information. These evidence-based instructional principles have profoundly influenced curriculum development across medicine, pharmacy, dentistry, nursing, and allied health sciences.

Artificial intelligence represents another transformative force reshaping higher medical education. Recent advances in machine learning, natural language processing, predictive analytics, intelligent tutoring systems, and generative artificial intelligence have created unprecedented opportunities to personalize education, automate routine administrative functions, enhance assessment quality, and support clinical reasoning instruction. AI-driven educational platforms can analyze learner performance, identify knowledge gaps, recommend individualized learning resources, and provide immediate formative feedback. Intelligent

simulation systems further enable adaptive clinical scenarios that respond dynamically to learner decisions, thereby enhancing experiential learning and diagnostic reasoning.

Despite these remarkable opportunities, artificial intelligence also introduces significant educational, ethical, legal, and professional considerations. Algorithmic bias, data privacy, cybersecurity, transparency, accountability, academic integrity, and equitable technological access represent critical issues that educational institutions must address during implementation. Medical educators increasingly recognize that artificial intelligence should augment rather than replace human teaching, mentorship, empathy, ethical reasoning, and professional judgment. Accordingly, AI literacy has become an essential educational objective, preparing future healthcare professionals to critically evaluate AI-generated recommendations while maintaining responsibility for clinical decision-making and patient care.

Parallel to the expansion of artificial intelligence, digital pedagogy has fundamentally transformed the educational landscape. Digital pedagogy extends beyond the mere use of technology, encompassing pedagogically sound instructional design that effectively integrates digital resources with established learning theories. Learning management systems, virtual classrooms, asynchronous learning environments, multimedia resources, collaborative online platforms, mobile learning applications, electronic portfolios, digital assessments, and adaptive educational technologies have substantially increased educational flexibility and accessibility. These innovations support geographically distributed learners, facilitate lifelong learning, and enable educational continuity during periods of disruption such as pandemics, humanitarian crises, and natural disasters.

The rapid adoption of blended learning models has further demonstrated that appropriately designed digital education can complement rather than replace face-to-face clinical instruction. Effective blended learning combines online theoretical education with practical laboratory experiences, simulation activities, and supervised clinical placements. Such integrated educational approaches optimize learner engagement while accommodating diverse learning preferences, institutional resources, and healthcare delivery environments. Furthermore, digital pedagogy facilitates international collaboration, global knowledge exchange, and interdisciplinary educational partnerships that transcend geographical boundaries.

Immersive learning technologies have introduced an additional dimension to contemporary medical education. Virtual reality, augmented reality, mixed reality, extended reality, three-dimensional visualization, haptic feedback systems, digital anatomy platforms, and advanced patient simulators provide realistic educational environments where learners can repeatedly practice clinical procedures without compromising patient safety. These technologies support experiential learning by enabling students to engage in authentic clinical scenarios that require diagnostic reasoning, procedural competence, crisis management, communication, teamwork, and ethical decision-making. Repetitive simulation combined with structured debriefing has consistently demonstrated improvements in learner confidence, procedural accuracy, knowledge retention, and clinical performance.

Simulation-based education has become particularly valuable in teaching high-risk, low-frequency clinical situations such as cardiac arrest management, trauma care, intensive care medicine, disaster response, pediatric emergencies, and complex surgical procedures. High-fidelity simulation provides psychologically safe learning environments where mistakes become valuable educational opportunities rather than patient safety threats. Moreover, immersive technologies increasingly support interprofessional education by facilitating collaborative training among physicians, pharmacists, nurses, and other healthcare professionals, thereby strengthening teamwork competencies essential for modern healthcare delivery.

Clinical decision-making remains one of the defining competencies expected of healthcare professionals. The growing complexity of disease management, expanding biomedical knowledge, increasing availability of diagnostic technologies, and rising prevalence of multimorbidity require clinicians to synthesize diverse sources of information rapidly and accurately. Contemporary educational models therefore emphasize diagnostic reasoning, evidence-based medicine, critical appraisal of scientific literature, risk assessment, patient-centered communication, and shared decision-making. Clinical reasoning is increasingly recognized as a sophisticated cognitive process involving pattern recognition, analytical reasoning, probabilistic thinking, reflective judgment, and contextual adaptation.

Educational research has demonstrated that effective clinical decision-making cannot be developed solely through theoretical instruction. Instead, it requires repeated engagement with authentic clinical cases, deliberate practice, longitudinal supervision, constructive feedback, and reflective learning. Case-based discussions, problem-based learning, simulation exercises, virtual patients, standardized patients, and workplace-based assessments collectively contribute to the progressive development of clinical expertise. Furthermore, educational programs increasingly incorporate cognitive debiasing strategies designed to reduce diagnostic errors associated with heuristic thinking, confirmation bias, anchoring bias, and premature diagnostic closure.

Educational leadership has simultaneously emerged as a strategic determinant of successful academic transformation. Sustainable educational innovation depends upon visionary leadership capable of aligning institutional missions with emerging healthcare priorities, technological advancements, accreditation standards, and societal expectations. Academic leaders must cultivate organizational cultures that promote innovation, collaboration, inclusivity, scholarly excellence, and continuous quality improvement. Leadership responsibilities extend beyond administrative management to encompass faculty development, curriculum governance, resource allocation, educational scholarship, stakeholder engagement, and strategic planning.

Faculty development constitutes another essential component of educational transformation. As teaching methodologies become increasingly sophisticated, educators require ongoing professional development in instructional design, digital technologies, educational assessment, simulation facilitation, learning analytics, artificial intelligence, mentorship, and educational research. Institutions that invest systematically in faculty development demonstrate greater educational quality, stronger learner satisfaction, improved implementation of curricular innovations, and enhanced institutional resilience.

Globalization has further expanded the scope of medical education by promoting international collaboration, student mobility, faculty exchange, cross-cultural competence, and harmonization of educational standards. International accreditation frameworks, global competency frameworks, collaborative research networks, and multinational educational partnerships facilitate knowledge sharing and dissemination of best practices. Simultaneously, globalization requires educational institutions to prepare graduates capable of addressing diverse cultural contexts, health inequities, emerging infectious diseases, humanitarian emergencies, environmental health challenges, and global public health priorities.

The concept of sustainability has become increasingly influential within higher medical education. Sustainable academic transformation extends beyond environmental stewardship to encompass institutional resilience, equitable educational access, financial sustainability, digital inclusion, workforce preparedness, and lifelong professional learning. Universities are increasingly expected to produce graduates who possess not only scientific competence but also social responsibility, ethical leadership, environmental awareness, and the capacity to contribute meaningfully to sustainable healthcare systems. Sustainable educational ecosystems

integrate continuous quality improvement, educational innovation, responsible resource utilization, and long-term institutional adaptability.

Student well-being has likewise become a central consideration within contemporary teaching and learning sciences. Medical education is widely recognized as academically demanding and psychologically challenging. Burnout, stress, anxiety, depression, and professional exhaustion may negatively influence academic performance, empathy, clinical competence, and long-term career satisfaction. Consequently, learner-centered educational environments increasingly incorporate wellness initiatives, psychological support services, mentoring systems, resilience training, flexible learning pathways, and inclusive educational cultures that prioritize both academic excellence and human flourishing.

Assessment methodologies have evolved in parallel with broader educational reforms. Traditional knowledge examinations are increasingly supplemented by workplace-based assessments, objective structured clinical examinations, entrustable professional activities, programmatic assessment, multisource feedback, reflective portfolios, and longitudinal competency tracking. Modern assessment systems aim to provide meaningful formative feedback while accurately evaluating integrated professional competence across cognitive, psychomotor, affective, ethical, and communication domains. Advances in digital assessment platforms further facilitate real-time analytics, adaptive testing, and continuous performance monitoring.

Interprofessional education has become another defining characteristic of modern health professions education. Contemporary healthcare delivery depends upon effective collaboration among physicians, pharmacists, nurses, dentists, public health professionals, physiotherapists, laboratory scientists, and numerous allied health disciplines. Educational programs increasingly incorporate collaborative learning experiences designed to improve communication, mutual respect, shared decision-making, conflict resolution, and coordinated patient care. Such educational initiatives contribute to improved healthcare quality, reduced medical errors, enhanced patient satisfaction, and more efficient healthcare systems.

Research within teaching and learning sciences continues to generate evidence supporting innovative educational practices while identifying barriers to successful implementation. Educational scholarship increasingly utilizes mixed-methods research, implementation science, learning analytics, qualitative inquiry, randomized educational interventions, systematic reviews, and meta-analyses to evaluate educational effectiveness. These scientific investigations provide robust evidence for curriculum design, faculty development, technology integration, learner support, and institutional policy development.

The future trajectory of higher medical education will likely be characterized by increasing personalization, intelligent educational ecosystems, precision education, continuous competency assessment, global collaboration, and responsible integration of emerging technologies. Artificial intelligence, learning analytics, virtual simulation, digital twins, adaptive curricula, wearable technologies, and predictive educational models will continue to expand opportunities for individualized learning and evidence-informed educational decision-making. Nevertheless, the enduring values of professionalism, compassion, empathy, ethical integrity, cultural humility, scientific curiosity, and patient-centered care must remain central to educational transformation.

The present study provides a comprehensive scientific analysis of the evolution of teaching and learning sciences in global higher medical education. By critically examining competency-based education, artificial intelligence, digital pedagogy, immersive learning technologies, clinical decision-making, educational leadership, and sustainable academic transformation, this work aims to synthesize current evidence, identify emerging trends, evaluate implementation challenges, and explore future directions for educational innovation. Through an

interdisciplinary perspective that integrates educational sciences, medical sciences, digital technologies, organizational leadership, and healthcare systems research, this analysis seeks to contribute to the continuing advancement of globally responsive, scientifically rigorous, ethically grounded, and sustainable higher medical education capable of preparing future healthcare professionals for the increasingly dynamic demands of twenty-first-century healthcare.

The continuous advancement of immersive learning technologies has become one of the defining characteristics of contemporary higher medical education. These innovations have transformed educational environments by enabling learners to experience realistic clinical situations that bridge the gap between theoretical knowledge and professional practice. Virtual reality (VR), augmented reality (AR), mixed reality (MR), extended reality (XR), three-dimensional anatomical visualization, digital twins, haptic technologies, virtual patients, and high-fidelity simulation systems collectively represent a new generation of educational tools that promote experiential learning, procedural competence, clinical reasoning, teamwork, and patient safety. Unlike conventional instructional approaches that depend primarily on lectures and limited clinical exposure, immersive technologies provide repetitive, standardized, and highly interactive learning experiences that enhance both cognitive and psychomotor development.

Simulation-based education has evolved from relatively simple task trainers into sophisticated educational ecosystems capable of reproducing highly complex clinical scenarios. Modern simulation centers incorporate computerized mannequins, physiological monitoring systems, audiovisual recording technologies, standardized patients, surgical simulators, and integrated electronic health records to recreate authentic healthcare environments. Students may repeatedly practice emergency interventions, intensive care management, surgical procedures, medication administration, diagnostic reasoning, communication skills, and multidisciplinary collaboration without exposing patients to unnecessary risk. The opportunity to learn through repetition, deliberate practice, and immediate feedback significantly strengthens skill acquisition while reducing performance anxiety during actual clinical encounters.

Educational research consistently demonstrates that simulation-based learning improves procedural accuracy, diagnostic confidence, communication effectiveness, leadership performance, teamwork, and crisis resource management. The educational effectiveness of simulation derives not only from the realism of clinical scenarios but also from structured debriefing sessions conducted after simulation exercises. Debriefing encourages learners to critically analyze their decision-making processes, recognize strengths and weaknesses, identify cognitive biases, and develop strategies for future improvement. Reflection transforms simulation from a technical exercise into a powerful cognitive and professional learning experience.

Virtual reality has become increasingly valuable for teaching anatomy, physiology, pathology, surgery, emergency medicine, radiology, and rehabilitation sciences. Three-dimensional immersive visualization allows learners to explore complex anatomical relationships in ways that are difficult to achieve using conventional textbooks or two-dimensional images. Students can manipulate anatomical structures, observe physiological processes dynamically, and practice surgical procedures within highly realistic virtual environments. Such experiences improve spatial understanding, knowledge retention, and learner engagement while accommodating diverse learning preferences.

Augmented reality extends these educational opportunities by superimposing digital information onto real clinical environments. During procedural training, learners may visualize anatomical landmarks, instrument positioning, physiological parameters, or imaging data directly within their field of view. Augmented reality therefore supports contextual learning by

integrating digital guidance with authentic clinical practice. As hardware becomes more affordable and computational capabilities continue to improve, augmented reality is expected to become increasingly integrated into undergraduate and postgraduate medical education.

Mixed reality combines elements of both virtual and augmented reality to create interactive environments where physical and digital objects coexist. This technology enables learners to interact simultaneously with real equipment, simulated patients, and virtual anatomical structures. Mixed reality is particularly valuable for surgical education, interventional procedures, rehabilitation training, and multidisciplinary simulation because it promotes realistic clinical interaction while maintaining educational flexibility.

Artificial intelligence increasingly complements immersive technologies by creating adaptive simulation environments capable of responding intelligently to learner actions. AI-driven virtual patients may modify symptoms, physiological responses, laboratory findings, and disease progression according to clinical decisions made by learners. Such dynamic simulations closely approximate real clinical complexity while providing individualized educational experiences. Performance analytics generated during these simulations enable educators to identify learning needs, evaluate competency development, and personalize subsequent educational interventions.

Clinical decision-making represents one of the most sophisticated competencies expected of contemporary healthcare professionals. Effective clinical reasoning requires integration of biomedical knowledge, patient history, diagnostic evidence, epidemiological principles, ethical considerations, communication skills, and contextual judgment. Medical education has therefore shifted from teaching isolated factual information toward developing comprehensive diagnostic thinking, evidence-based reasoning, and adaptive expertise capable of addressing uncertain and evolving clinical situations.

Diagnostic reasoning involves multiple interconnected cognitive processes, including hypothesis generation, pattern recognition, analytical reasoning, probabilistic thinking, differential diagnosis construction, evidence evaluation, and reflective judgment. Novice learners often rely heavily upon analytical reasoning, whereas experienced clinicians increasingly integrate intuitive pattern recognition with systematic evaluation. Educational programs must therefore facilitate progressive development from foundational scientific understanding toward expert clinical reasoning through repeated exposure to authentic patient encounters and carefully designed educational experiences.

Case-based learning has become one of the most widely implemented instructional strategies supporting clinical decision-making. Carefully constructed clinical cases encourage learners to integrate scientific knowledge with patient assessment, diagnostic investigation, therapeutic planning, ethical reasoning, and interprofessional communication. Rather than memorizing isolated facts, students actively engage in solving realistic healthcare problems that require synthesis, analysis, evaluation, and decision-making. Case discussions also promote collaborative learning while exposing students to multiple clinical perspectives.

Problem-based learning similarly encourages self-directed inquiry by presenting learners with complex clinical scenarios before formal instruction. Students identify learning objectives, search scientific literature, evaluate available evidence, and collaboratively construct diagnostic and therapeutic solutions. Educational research indicates that problem-based learning strengthens critical thinking, information management, lifelong learning skills, and learner motivation while fostering greater independence and professional responsibility.

Evidence-based medicine has become inseparable from contemporary clinical decision-making education. Healthcare professionals must critically evaluate scientific literature, interpret systematic reviews and clinical guidelines, understand research methodology, assess statistical validity, and integrate research evidence with patient preferences and clinical expertise.

Educational programs therefore increasingly incorporate epidemiology, biostatistics, critical appraisal, research ethics, and implementation science throughout undergraduate and postgraduate curricula.

Recognition of cognitive biases has further enriched educational approaches to clinical reasoning. Diagnostic errors frequently result from heuristic shortcuts such as anchoring bias, confirmation bias, availability bias, premature closure, framing effects, and overconfidence. Teaching learners to recognize these cognitive vulnerabilities encourages reflective practice, diagnostic verification, and more deliberate clinical reasoning. Simulation exercises, structured reflection, and diagnostic debriefing provide valuable opportunities for addressing cognitive bias within safe educational environments.

Communication skills remain integral to effective clinical decision-making. Accurate diagnosis and successful patient management depend upon comprehensive history taking, empathetic listening, shared decision-making, patient education, cultural competence, and effective interdisciplinary communication. Consequently, communication training has become fully integrated into competency-based curricula through standardized patient encounters, simulation exercises, workplace assessments, and longitudinal mentorship.

Educational leadership has emerged as one of the principal determinants of successful institutional transformation within higher medical education. The increasing complexity of healthcare systems, educational technologies, accreditation standards, financial constraints, and societal expectations requires visionary leadership capable of guiding sustainable organizational change. Educational leaders must simultaneously promote academic excellence, faculty development, curriculum innovation, research productivity, student well-being, digital transformation, quality assurance, and community engagement while maintaining institutional resilience.

Contemporary leadership models increasingly emphasize transformational, distributed, collaborative, and servant leadership approaches. Rather than relying exclusively upon hierarchical authority, successful educational organizations encourage shared governance, interdisciplinary collaboration, faculty empowerment, and collective decision-making. Distributed leadership enables educators, researchers, administrators, clinicians, and students to contribute actively to institutional improvement while strengthening organizational adaptability and innovation.

Faculty development constitutes a cornerstone of sustainable educational transformation. Rapid technological advancement, competency-based curricula, artificial intelligence, digital assessment, simulation pedagogy, and educational scholarship require continuous professional development among educators. Comprehensive faculty development programs address instructional design, educational technology, assessment methodology, mentorship, leadership, curriculum evaluation, educational research, and change management. Institutions investing systematically in faculty development consistently demonstrate stronger educational outcomes, greater innovation, improved learner satisfaction, and enhanced academic reputation.

Educational scholarship has likewise become increasingly recognized as an essential component of academic excellence. Faculty members are encouraged not only to implement innovative teaching practices but also to evaluate educational interventions scientifically, disseminate findings through scholarly publications, and contribute to the global advancement of medical education research. Educational scholarship promotes evidence-informed decision-making while strengthening institutional capacity for continuous quality improvement.

Assessment science has undergone profound evolution during recent decades. Traditional summative examinations focused primarily on factual knowledge have gradually been supplemented by comprehensive assessment systems evaluating integrated professional competence. Objective Structured Clinical Examinations (OSCEs), workplace-based

assessments, multisource feedback, reflective portfolios, Entrustable Professional Activities, programmatic assessment, and longitudinal competency mapping collectively provide more authentic evaluation of learner performance.

Programmatic assessment represents a particularly important innovation within competency-based education. Rather than relying upon isolated high-stakes examinations, programmatic assessment integrates multiple low-stakes assessments conducted over extended periods. Continuous feedback, learner reflection, coaching, and cumulative evidence inform decisions regarding competency progression. This comprehensive approach improves assessment validity while supporting learner development throughout educational programs.

Learning analytics increasingly strengthen assessment systems by integrating digital performance data, competency mapping, predictive modeling, and educational dashboards. Faculty members may monitor learner progression continuously while identifying educational needs, evaluating curriculum effectiveness, and implementing targeted interventions. Artificial intelligence further enhances assessment reliability through automated performance analysis and individualized feedback generation.

Interprofessional education has become an indispensable component of modern healthcare education. Contemporary healthcare delivery depends upon effective collaboration among physicians, pharmacists, nurses, dentists, physiotherapists, occupational therapists, nutritionists, psychologists, laboratory scientists, public health professionals, and numerous other disciplines. Educational institutions increasingly provide shared learning experiences that develop communication, teamwork, conflict resolution, leadership, and collaborative decision-making before learners enter clinical practice.

Interprofessional simulation exercises, collaborative case discussions, community health projects, quality improvement initiatives, and multidisciplinary clinical placements expose learners to authentic healthcare teamwork. These experiences reduce professional stereotypes, improve mutual understanding, strengthen collaborative competencies, and ultimately contribute to safer, more efficient, and more patient-centered healthcare systems.

Globalization continues to influence educational reform through international collaboration, student mobility, faculty exchange, harmonization of competency standards, and multinational educational research. International accreditation organizations increasingly promote common educational principles while recognizing regional healthcare priorities and cultural diversity. Global partnerships facilitate dissemination of innovative teaching methodologies, collaborative curriculum development, and shared educational resources that strengthen institutional capacity worldwide.

Digital globalization has further accelerated knowledge exchange through open educational resources, online conferences, virtual research collaborations, massive open online courses, cloud-based simulation platforms, and international learning communities. These developments expand educational access while reducing geographical barriers to academic collaboration and lifelong professional learning.

Sustainability has become a strategic priority within higher medical education. Sustainable academic transformation extends beyond environmental responsibility to encompass institutional resilience, equitable educational access, financial viability, technological adaptability, workforce development, social accountability, and continuous quality improvement. Universities increasingly recognize that sustainable educational systems must remain responsive to changing healthcare needs while preserving academic excellence and ethical integrity.

Environmental sustainability has also become increasingly integrated into medical curricula. Healthcare systems contribute substantially to global carbon emissions, resource consumption, and environmental waste. Future healthcare professionals must therefore understand planetary

health, climate change, environmental epidemiology, sustainable healthcare delivery, green hospital initiatives, and environmentally responsible clinical practice. Educational institutions are progressively incorporating these themes into undergraduate and postgraduate education.

Social accountability represents another defining principle of sustainable medical education. Universities bear responsibility for addressing community health priorities, reducing healthcare disparities, promoting health equity, supporting vulnerable populations, and contributing to national and global public health goals. Community-engaged education, service-learning, rural clinical placements, and population health initiatives strengthen the relationship between academic institutions and society while preparing graduates for socially responsive professional practice.

Learner well-being has emerged as an equally important dimension of sustainable academic transformation. Medical students frequently encounter significant academic pressure, emotional stress, financial challenges, professional uncertainty, and psychological distress. Burnout negatively affects learning, empathy, professionalism, and long-term career satisfaction. Consequently, educational institutions increasingly implement comprehensive wellness strategies including mentorship programs, psychological support services, resilience training, flexible curricula, peer support networks, and initiatives promoting work-life integration.

The future of teaching and learning sciences will likely be characterized by increasing integration of artificial intelligence, precision education, adaptive learning ecosystems, digital twins, immersive simulation, learning analytics, genomics, personalized competency development, and intelligent educational infrastructures. Emerging technologies will continue to enhance individualized instruction while providing educators with increasingly sophisticated tools for monitoring learner progression and optimizing educational outcomes.

Nevertheless, technological innovation alone cannot ensure educational excellence. The enduring foundations of medical education remain scientific integrity, ethical professionalism, compassionate patient care, critical thinking, reflective practice, humanistic values, cultural competence, and lifelong learning. The challenge facing future educational leaders is to integrate technological innovation with these timeless professional principles while ensuring that educational transformation remains evidence-based, equitable, sustainable, and responsive to evolving societal healthcare needs.

The competency-based education, artificial intelligence, digital pedagogy, immersive learning technologies, advanced clinical decision-making, educational leadership, interprofessional collaboration, innovative assessment, global cooperation, and sustainable academic transformation constitute the scientific framework shaping the future of higher medical education. These interconnected domains provide the conceptual foundation for understanding how teaching and learning sciences continue to evolve in response to rapid scientific progress, technological innovation, and changing healthcare priorities. They also establish the basis for examining the educational outcomes, implementation challenges, and future strategic directions discussed in the subsequent Results and Discussion section of this comprehensive scientific analysis.

Background

The historical evolution of higher medical education reflects one of the most dynamic transformations in modern academia, shaped by scientific discoveries, technological innovations, changing societal expectations, and the continuous pursuit of excellence in healthcare delivery. Throughout history, the education of physicians and other healthcare professionals has evolved from informal apprenticeship models toward highly structured, competency-driven, evidence-based educational systems that integrate biomedical sciences,

clinical practice, behavioral sciences, digital technologies, and interdisciplinary collaboration. This evolution has been influenced not only by advances in medicine itself but also by developments in educational psychology, cognitive science, organizational leadership, learning technologies, and global public health. Consequently, the teaching and learning sciences have emerged as independent scientific disciplines that provide theoretical and practical foundations for improving educational effectiveness, learner outcomes, institutional performance, and ultimately patient care.

Medical education has traditionally been recognized as one of the most intellectually demanding forms of professional education. Unlike many other academic disciplines, it requires learners to simultaneously acquire extensive scientific knowledge, develop complex psychomotor skills, cultivate professional attitudes, and demonstrate ethical decision-making within unpredictable clinical environments. The growing complexity of healthcare systems has intensified these educational demands, requiring graduates who are capable of integrating biomedical knowledge with clinical reasoning, communication, teamwork, leadership, digital competence, and lifelong learning. These expanding expectations have fundamentally reshaped educational philosophies worldwide, encouraging institutions to adopt more flexible, learner-centered, competency-oriented educational frameworks.

Historically, the earliest forms of medical education were primarily apprenticeship-based, where students learned directly from experienced practitioners through observation and supervised practice. Ancient civilizations including Egypt, Greece, India, China, Persia, and the Islamic Golden Age contributed significantly to the early development of organized medical instruction. Knowledge was transmitted through oral traditions, practical demonstrations, and handwritten manuscripts. Although these systems successfully preserved important medical knowledge, educational approaches were largely inconsistent, lacking standardized curricula, formal assessment methods, or scientifically validated teaching strategies.

The emergence of universities during the medieval period marked a major milestone in formal medical education. Institutions across Europe gradually established structured medical faculties where anatomy, physiology, pathology, pharmacology, surgery, and clinical medicine were systematically taught. Nevertheless, educational practices remained predominantly teacher-centered, emphasizing lectures, memorization, and authoritative knowledge transmission. Students were generally passive recipients of information, while opportunities for active learning, critical thinking, and independent inquiry remained limited.

The scientific revolution and subsequent advances in biomedical research transformed medical education by introducing laboratory sciences as central components of physician training. Disciplines such as microbiology, immunology, pathology, pharmacology, physiology, and biochemistry became increasingly integrated into undergraduate medical curricula. Scientific experimentation replaced speculative reasoning, and medical education became progressively evidence-oriented. This transition established medicine as an applied scientific discipline grounded in experimental investigation, systematic observation, and objective evaluation.

The twentieth century witnessed perhaps the most influential restructuring of higher medical education. Educational reforms emphasized the integration of basic sciences with clinical training while promoting rigorous scientific standards, institutional accreditation, standardized curricula, and professional regulation. Medical schools increasingly adopted structured educational frameworks that combined classroom instruction with laboratory experience and supervised patient care. These reforms significantly improved educational quality, promoted scientific rigor, and strengthened public confidence in healthcare professionals.

Despite these important advances, conventional educational models gradually revealed important limitations. Traditional lecture-based instruction often encouraged passive learning

and short-term memorization rather than meaningful understanding and long-term knowledge retention. Clinical training frequently depended upon opportunistic patient encounters, resulting in inconsistent educational experiences among learners. Assessment methods commonly emphasized factual recall while insufficiently evaluating communication, professionalism, teamwork, ethical reasoning, and clinical judgment. These challenges stimulated educational researchers to explore alternative instructional models capable of producing more competent and adaptable healthcare professionals.

The emergence of teaching and learning sciences as interdisciplinary academic fields fundamentally altered educational research and practice. Learning sciences integrate principles from educational psychology, cognitive neuroscience, behavioral sciences, sociology, organizational theory, information technology, and instructional design to understand how individuals acquire, retain, apply, and transfer knowledge. Rather than focusing exclusively on curriculum content, learning sciences investigate the cognitive, emotional, motivational, social, and environmental factors that influence learning effectiveness. This broader scientific perspective has generated numerous evidence-based educational innovations now widely adopted throughout global medical education.

Educational psychology has provided particularly valuable insights into the mechanisms underlying effective learning. Research demonstrates that knowledge acquisition is an active cognitive process involving attention, memory encoding, retrieval, elaboration, reflection, and application. Learning occurs most effectively when learners actively engage with educational material, connect new information to existing knowledge structures, receive timely feedback, and repeatedly apply concepts within authentic contexts. These findings have challenged passive instructional models while supporting educational strategies that promote active participation, collaborative learning, problem solving, and reflective practice.

Constructivist learning theory has become especially influential within contemporary medical education. Constructivism proposes that learners actively construct knowledge through interaction with their environments rather than simply receiving information transmitted by instructors. Medical students therefore develop understanding by integrating scientific concepts with clinical experiences, patient encounters, laboratory investigations, and collaborative discussions. Educators increasingly serve as facilitators who guide learning rather than functioning solely as information providers. This philosophical shift has encouraged widespread adoption of inquiry-based learning, clinical case discussions, simulation exercises, and self-directed educational activities.

Experiential learning theory has similarly shaped the evolution of health professions education. According to experiential learning principles, meaningful learning results from continuous cycles of concrete experience, reflective observation, conceptual understanding, and active experimentation. Clinical placements, laboratory exercises, standardized patient encounters, simulation-based training, and community health experiences exemplify educational environments that facilitate experiential learning. Reflection upon these experiences enables learners to identify strengths, recognize limitations, refine clinical reasoning, and develop increasingly sophisticated professional competence.

Adult learning theory has further influenced higher medical education by recognizing that adult learners possess unique educational characteristics. Medical students and healthcare professionals are generally self-directed, intrinsically motivated, and oriented toward solving authentic professional problems. They benefit from educational experiences that acknowledge prior knowledge, encourage autonomy, promote relevance, and facilitate immediate application within clinical practice. Consequently, contemporary curricula increasingly emphasize learner responsibility, flexible educational pathways, individualized learning plans, and continuous professional development throughout healthcare careers.

Self-regulated learning has emerged as another essential theoretical framework supporting lifelong learning among healthcare professionals. Self-regulated learners establish educational goals, monitor their progress, evaluate outcomes, seek feedback, and adjust learning strategies accordingly. These metacognitive abilities enable healthcare professionals to continuously update their knowledge throughout rapidly evolving clinical careers. Medical educators increasingly integrate reflective portfolios, individualized learning plans, formative assessments, coaching, and mentorship to strengthen self-regulation and promote lifelong professional growth.

Cognitive load theory has provided additional scientific guidance for instructional design within medical education. Human working memory possesses limited processing capacity, and excessive cognitive demands may interfere with effective learning. Medical education presents particularly complex cognitive challenges because learners must integrate extensive scientific information with rapidly evolving clinical situations. Instructional strategies that organize information systematically, reduce unnecessary complexity, employ multimedia appropriately, and progressively increase task difficulty can optimize cognitive processing while enhancing learning efficiency. Digital educational technologies increasingly incorporate cognitive load principles to improve learner engagement and knowledge retention.

The neuroscience of learning has further enriched understanding of educational processes. Advances in neuroimaging, cognitive neuroscience, and memory research have demonstrated that learning induces measurable structural and functional changes within the brain. Neuroplasticity enables repeated practice, retrieval, feedback, and reflection to strengthen neural networks supporting long-term knowledge retention and clinical expertise. Sleep, emotional engagement, motivation, stress management, and physical well-being also significantly influence cognitive performance. These discoveries reinforce the importance of educational environments that support learner wellness alongside academic achievement.

The rapid expansion of biomedical knowledge has become another major driver of educational transformation. Medical knowledge doubles at increasingly shorter intervals, making it impossible for curricula to include every emerging scientific discovery. Consequently, educational priorities have shifted from memorization toward information management, critical appraisal, evidence-based decision-making, and lifelong learning competencies. Healthcare professionals must now develop sophisticated skills in literature searching, evidence synthesis, clinical guideline interpretation, digital information management, and scientific reasoning. Teaching and learning sciences provide evidence-based strategies for cultivating these adaptive capabilities.

Globalization has profoundly influenced higher medical education by facilitating international collaboration, educational mobility, and worldwide dissemination of best educational practices. Medical schools increasingly participate in international accreditation initiatives, collaborative research projects, faculty exchange programs, and student mobility schemes. Shared competency frameworks have promoted greater consistency in graduate outcomes while respecting regional healthcare priorities and cultural diversity. Global educational partnerships encourage cross-cultural communication, collaborative research, and the exchange of innovative teaching methodologies that strengthen institutional capacity worldwide.

Healthcare delivery itself has undergone remarkable transformation during recent decades. Aging populations, chronic disease prevalence, precision medicine, genomic technologies, digital health systems, telemedicine, and multidisciplinary care models have substantially increased professional complexity. Healthcare professionals are expected to function effectively within integrated teams while simultaneously managing technological innovations, ethical dilemmas, healthcare economics, patient-centered communication, and quality improvement initiatives. These evolving responsibilities require educational systems capable

of preparing graduates for environments characterized by continuous change, uncertainty, and innovation.

Interprofessional education has emerged as a direct response to increasingly collaborative healthcare delivery. Effective patient care depends upon coordinated communication among physicians, pharmacists, nurses, physiotherapists, laboratory scientists, public health professionals, and numerous other healthcare disciplines. Educational institutions therefore increasingly provide shared learning experiences that develop collaborative competencies before students enter professional practice. Interprofessional education strengthens mutual understanding, reduces professional silos, enhances communication skills, and ultimately contributes to improved patient outcomes and healthcare quality.

Evidence-based medicine has also become inseparable from contemporary teaching and learning sciences. Healthcare professionals must critically evaluate scientific literature, interpret clinical research, assess methodological quality, and integrate research findings into patient care. Educational programs increasingly teach epidemiology, biostatistics, research methodology, systematic review interpretation, and clinical guideline development to support evidence-informed clinical decision-making. These competencies enable graduates to adapt their practice as scientific knowledge continues to evolve.

Educational assessment has experienced equally significant transformation. Traditional examinations measuring factual recall have gradually been supplemented by performance-based assessments evaluating clinical competence, communication, professionalism, teamwork, ethical reasoning, and reflective practice. Workplace-based assessments, objective structured clinical examinations, portfolio assessment, programmatic evaluation, multisource feedback, and competency milestones provide more comprehensive evaluation of learner development across multiple domains. Assessment is increasingly recognized not merely as a mechanism for grading but as an educational intervention that promotes learning through constructive feedback and continuous improvement.

Quality assurance and accreditation systems have further strengthened educational standards worldwide. Accreditation agencies increasingly evaluate curriculum design, faculty qualifications, learning environments, assessment quality, student support services, research activity, institutional governance, and graduate outcomes. Continuous quality improvement processes encourage institutions to monitor educational performance systematically while implementing evidence-based reforms. Teaching and learning sciences contribute methodological expertise necessary for evaluating educational interventions and measuring institutional effectiveness.

The COVID-19 pandemic represented a defining moment in the evolution of global medical education. Institutions worldwide rapidly transitioned toward online instruction, virtual simulation, remote assessment, digital collaboration, and telehealth education. Although initially implemented as emergency responses, many digital innovations demonstrated long-term educational value. Hybrid educational models combining online theoretical instruction with face-to-face clinical experiences have since become integral components of many medical curricula. The pandemic accelerated digital transformation while highlighting the importance of institutional adaptability, educational resilience, technological infrastructure, and faculty preparedness.

The historical, scientific, technological, and organizational developments have established teaching and learning sciences as central drivers of educational excellence in higher medical education. Modern educational systems increasingly recognize that preparing future healthcare professionals requires far more than transmitting biomedical knowledge. Instead, educational success depends upon integrating cognitive science, educational psychology, digital innovation, clinical competence, professional identity formation, ethical reasoning,

collaborative practice, leadership development, and lifelong learning within coherent, evidence-based educational ecosystems.
This evolving scientific foundation provides the context for examining the major innovations that currently define global higher medical education. Among these, competency-based education, artificial intelligence, digital pedagogy, immersive learning technologies, clinical decision-making, and sustainable educational leadership have become the principal forces shaping the future direction of medical teaching and learning sciences. These transformative domains form the basis for the subsequent sections of this comprehensive analysis.

The transformation of higher education in medical programs worldwide has been significantly influenced by the adoption of modern teaching and learning methods. Traditional didactic teaching approaches, while foundational, are increasingly supplemented or replaced by innovative methodologies that emphasize student-centered learning, interdisciplinary collaboration, and the integration of technology. These contemporary methods address the evolving demands of healthcare systems, aiming to produce medical professionals who are not only knowledgeable but also adaptable, reflective, and capable of lifelong learning.
Modern teaching strategies such as problem-based learning (PBL), simulation-based education, flipped classrooms, and inter-professional education have gained prominence. These approaches prioritize active engagement, critical thinking, and the application of theoretical knowledge in practical settings. Additionally, technological advancements, including virtual reality (VR), augmented reality (AR), and online learning platforms, have expanded the possibilities for immersive and flexible learning experiences.
However, the implementation of these methods varies globally, influenced by cultural, economic, and institutional factors. In some regions, resource constraints and resistance to change pose significant challenges, while in others, rapid technological adoption fosters innovation. The discussion of these issues is essential for identifying best practices, addressing disparities, and ensuring that medical education aligns with the needs of modern healthcare environments.
This topic calls for a comprehensive examination of the scientific, pedagogical, and practical aspects of these methodologies, exploring their impact on student outcomes, faculty roles, and institutional policies. By addressing these dimensions, stakeholders in medical education can better understand how to optimize teaching and learning processes in diverse global contexts.
The most common teaching-learning activities and their definitions are presented. The teacher will select the necessary activity from them, depending on the specific goal and task.
We discussed the following methods of learning and teaching:
Discussion/debate is one of the most common methods of interactive learning activity. The discussion process dramatically increases the quality of student engagement and activity. The discussion can turn into an argument, and this process is not limited to questions asked by the teacher. It develops the student's ability to reason and justify his own opinion.
Cooperative teaching is a teaching strategy when each member of the group is obliged not only to study by himself, but also to help his teammate to study the subject better. Each member of the group works on the problem until all of them have mastered the issue.
Collaborative work – teaching method using this activity involves dividing students into groups and giving them learning tasks. Group members work on the issue individually and simultaneously share their opinions with the rest of the group. It depending on the task. It is possible to redistribute functions among the members during the work of the group. This strategy ensures maximum involvement of all students in the learning process.
Problem-based learning (PBL) - an activity that uses a specific problem as the initial stage of the process of acquiring and integrating new knowledge.

Case study – the teacher will discuss specific cases with the students and they will study the issue in every way and thoroughly.
Brain storming – this activity involves thinking about a specific issue/problem as much as possible within the topic, preferably.
Radically different, the promotion of thought, idea formation and expression. This activity leads to the development of a creative approach to the problem. Its use is effective in the presence of a large group of students and consists of several main stages: Defining the problem/issue from a creative point of view. To write down the ideas expressed by the listeners around the issue in a certain period of time without criticism (mainly on the blackboard). Determination of evaluation criteria to determine the relevance of the idea to the purpose of the research. Evaluation of selected ideas with predetermined criteria. To highlight those ideas that are most relevant to the question by exclusion. Revealing the idea with the highest evaluation as the best means of solving the set problem.
Role-playing and situational games – games based on pre-designed scenarios allow students to look at the issue from different perspectives. It helps them to form an alternative point of view. Like discussion, these games also develop the student's ability to express his position independently and defend it in an argument.
Demonstration – this method of activity involves visual presentation of information. It is quite effective in terms of achieving results. In many cases, it is better to present the material to students both audio and visual at the same time. The material to be studied can be demonstrated by both the teacher and the student. This method helps us to make visible the different stages of understanding the learning material, specify what the students will have to do independently. At the same time, this strategy visualizes the essence of the issue/problem. Demonstration may take a simple form.
Inductive defines a form of transfer of any knowledge, when the course of thought in the learning process is directed from facts to generalization, that is, when conveying material, the process proceeds from concrete to general.
Deductive defines a form of transfer of any knowledge, which is a logical process of discovering new knowledge based on general knowledge, that is, the process proceeds from the general to the specific.
Analysis helps us understand the learning material as a whole. In decomposition into constituent parts. This facilitates detailed coverage of individual issues within a complex problem.
Synthesis means making a whole by grouping separate issues. This method helps to develop the ability to see the problem as a whole.
Verbal or oral method - this method includes lecture, narration, conversation, etc. In the mentioned process, the teacher conveys and explains the learning material through words, and the students actively perceive and assimilate it by listening, memorizing and understanding.
Writing work method - which includes the following types of actions: making extracts and notes, summarizing material, drawing up theses, writing a report or essay, etc.
Explanatory method– based on reasoning around the given issue. When delivering the material, the teacher cites a specific example of which
Action-oriented teaching - requires the active involvement of the teacher and the student in the teaching process, where the practical interpretation of the theoretical material acquires special importance.
Project development and presentation - while working on the project, the student uses the acquired knowledge and skills to solve a real problem. Project-based teaching increases students' motivation and responsibility. Project work includes stages of planning, research, practical activity and presentation of results in accordance with the chosen issue. The project

is considered to be implemented if its results are presented in a visible and convincing, correct form. It can be done individually, in pairs or in a group; Also, within one subject or several subjects (integration of subjects). After completion, the project can be presented to a wider audience.

The integration of digital technology has further revolutionized medical education. Innovations like virtual reality (VR), augmented reality (AR), and artificial intelligence (AI) offer immersive learning experiences, enabling students to visualize complex anatomical structures, simulate surgical procedures, and receive personalized feedback. Online learning platforms and hybrid models have also expanded access to medical education, allowing for greater flexibility and inclusivity.

Despite these advancements, the implementation of modern teaching methods faces challenges that vary across regions. Resource availability, institutional readiness, faculty training, and cultural attitudes toward education play critical roles in shaping the adoption and effectiveness of these methodologies. For instance, while well-resourced institutions in developed countries have embraced cutting-edge technologies, many institutions in low- and middle-income countries struggle with limited infrastructure and funding. Moreover, the transition to modern methods often requires significant changes in faculty roles, curriculum design, and assessment practices, which can encounter resistance.

Globally, there is a pressing need to evaluate the effectiveness of these innovative methods through rigorous scientific studies. Understanding their impact on student learning outcomes, professional competencies, and overall healthcare delivery is essential. Furthermore, fostering global collaboration and sharing best practices can help bridge disparities, ensuring that medical education remains equitable and aligned with the global health agenda.

The discussion of modern teaching and learning methods in medical education is not merely academic but a critical exploration of how to prepare future healthcare providers for a rapidly changing world. By addressing the scientific, pedagogical, and practical aspects of these innovations, educators, policymakers, and institutions can work together to shape a more effective and inclusive medical education system.

The transition from traditional knowledge-centered instruction to competency-oriented education represents one of the most influential educational reforms in the history of higher medical education. This transformation reflects the growing recognition that healthcare professionals must demonstrate measurable abilities that extend beyond theoretical knowledge and encompass clinical performance, communication, professionalism, ethical reasoning, leadership, teamwork, digital literacy, and continuous professional development. Competency-Based Medical Education (CBME) has therefore emerged as a comprehensive educational philosophy designed to align curricular outcomes with the evolving healthcare needs of patients, communities, healthcare organizations, and society. Unlike conventional educational systems that emphasize completion of predetermined academic timelines, competency-based education prioritizes the achievement of clearly defined learning outcomes through individualized progression, continuous assessment, structured feedback, and workplace-based performance evaluation.

The scientific foundation of competency-based education is supported by educational psychology, cognitive science, developmental theory, implementation science, and organizational learning. Competencies represent integrated combinations of knowledge, technical skills, communication abilities, professional values, ethical conduct, clinical reasoning, emotional intelligence, and reflective practice that collectively determine professional performance. Educational researchers increasingly recognize that competence develops progressively through repeated exposure to authentic clinical situations, deliberate practice, meaningful supervision, and longitudinal mentorship rather than through isolated

classroom instruction. Consequently, competency-based curricula are designed to facilitate continuous learner development across multiple domains of professional practice.

Milestone-based assessment has become a defining characteristic of competency-based education. Rather than relying exclusively on summative examinations, learners are evaluated according to observable developmental stages that reflect increasing levels of independence and clinical responsibility. Educational milestones enable faculty members to monitor learner progression systematically while identifying strengths, educational needs, and opportunities for targeted intervention. This developmental perspective promotes personalized education, allowing students to advance according to demonstrated competence while receiving individualized support in areas requiring further improvement.

Entrustable Professional Activities (EPAs) further strengthen competency-based educational models by translating competencies into authentic clinical responsibilities. EPAs define specific professional tasks that learners may perform independently once sufficient competence has been demonstrated. Examples include conducting patient consultations, interpreting diagnostic investigations, prescribing medications, managing emergencies, communicating with multidisciplinary teams, and providing patient counseling. The integration of EPAs into medical curricula facilitates meaningful assessment within real clinical environments while bridging the gap between educational outcomes and professional practice.

Competency-based education has also transformed faculty roles within higher medical education. Educators increasingly function as mentors, coaches, facilitators, and professional role models rather than solely as lecturers or information providers. Continuous observation, constructive feedback, learner coaching, reflective dialogue, and individualized educational planning have become central components of faculty responsibilities. This educational transformation requires extensive faculty development programs that prepare educators to implement competency frameworks, conduct workplace-based assessments, provide meaningful feedback, and support learner progression effectively.

Feedback has emerged as one of the most powerful educational interventions supporting competency development. Modern learning sciences emphasize that timely, specific, constructive, and actionable feedback promotes self-awareness, metacognition, performance improvement, and professional growth. Rather than functioning merely as evaluative commentary, effective feedback encourages learners to reflect upon their performance, identify areas for development, establish learning goals, and implement corrective strategies. Educational institutions increasingly cultivate feedback-rich learning cultures that normalize continuous performance improvement and lifelong learning.

Reflection constitutes another essential component of competency development. Reflective practice enables learners to critically analyze clinical experiences, evaluate decision-making processes, recognize cognitive biases, examine emotional responses, and integrate new knowledge into future professional practice. Reflective portfolios, guided journaling, mentorship discussions, debriefing sessions, and professional coaching have become widely implemented educational strategies that strengthen clinical judgment, ethical reasoning, emotional resilience, and professional identity formation.

Professional identity formation has gained increasing attention within contemporary medical education research. Beyond acquiring scientific knowledge and technical skills, healthcare students gradually develop professional values, ethical standards, communication styles, and personal identities consistent with their future roles as healthcare providers. Educational environments significantly influence this developmental process through formal curricula, institutional culture, role modeling, peer interactions, and clinical experiences. Positive professional identity formation contributes to compassionate patient care, ethical practice, resilience, leadership, and long-term career satisfaction.

Artificial intelligence has emerged as one of the most transformative innovations influencing contemporary teaching and learning sciences. Advances in machine learning, natural language processing, deep learning, predictive analytics, educational data mining, and generative artificial intelligence have introduced unprecedented opportunities for personalizing education, improving assessment quality, optimizing curriculum management, and supporting clinical reasoning instruction. AI technologies increasingly function as intelligent educational assistants capable of adapting learning experiences according to individual learner characteristics, performance patterns, educational goals, and cognitive needs.

Adaptive learning systems represent one of the earliest successful applications of artificial intelligence in higher education. These systems continuously analyze learner performance, identify knowledge gaps, adjust instructional difficulty, recommend educational resources, and personalize learning pathways based on individual progress. Unlike static educational materials, adaptive learning platforms respond dynamically to learner interactions, ensuring that educational content remains appropriately challenging while minimizing cognitive overload. Such personalized educational environments promote learner engagement, knowledge retention, and efficient competency development.

Learning analytics has become another rapidly expanding field integrating artificial intelligence with educational research. Modern digital learning platforms generate enormous quantities of educational data describing learner behaviors, engagement patterns, assessment outcomes, resource utilization, collaboration networks, and academic progression. Advanced analytical algorithms can identify learners at risk of academic difficulty, predict educational outcomes, evaluate curriculum effectiveness, and inform institutional decision-making. Learning analytics therefore enables evidence-informed educational management while supporting early interventions that improve student success and retention.

Artificial intelligence also enhances assessment methodologies through automated item generation, intelligent scoring systems, plagiarism detection, performance analytics, and competency mapping. AI-assisted assessment platforms can evaluate written assignments, clinical documentation, reflective narratives, and simulation performance while providing immediate formative feedback. Although human judgment remains indispensable for evaluating professionalism, empathy, ethical reasoning, and communication skills, AI technologies significantly reduce administrative workload while improving assessment efficiency and consistency.

Generative artificial intelligence has recently introduced new opportunities and challenges within medical education. Large language models can assist learners in summarizing scientific literature, explaining complex biomedical concepts, generating clinical case scenarios, facilitating self-assessment, supporting research activities, and enhancing scientific writing. Educators increasingly employ generative AI to develop instructional materials, examination questions, simulation scripts, and individualized learning resources. However, concerns regarding academic integrity, misinformation, algorithmic bias, transparency, authorship, and overreliance on automated systems require careful institutional governance and ethical regulation.

AI-supported clinical education has become increasingly sophisticated through the integration of intelligent diagnostic systems, virtual patients, clinical decision support tools, and predictive modeling. Students can engage with simulated patient encounters that adapt dynamically to diagnostic decisions, treatment choices, and communication strategies. These intelligent simulation environments provide personalized feedback while exposing learners to diverse clinical presentations that may be difficult to encounter consistently during traditional clinical placements.

Despite these substantial advantages, responsible implementation of artificial intelligence requires careful consideration of ethical principles. Algorithmic bias may reinforce existing healthcare disparities if training datasets inadequately represent diverse populations. Data privacy, cybersecurity, informed consent, transparency, accountability, and regulatory compliance remain essential considerations when implementing AI-enabled educational systems. Healthcare professionals must therefore develop AI literacy that includes critical evaluation of algorithmic recommendations, recognition of technological limitations, and preservation of independent clinical judgment.

Digital pedagogy extends beyond technological implementation to encompass evidence-based instructional design grounded in contemporary learning sciences. Effective digital education requires thoughtful integration of technology with educational objectives, learner characteristics, cognitive principles, assessment strategies, and faculty expertise. Merely digitizing traditional lectures rarely improves educational quality. Instead, successful digital pedagogy incorporates active learning, collaborative engagement, multimedia design, retrieval practice, formative assessment, and reflective learning within flexible digital environments.

The widespread adoption of learning management systems has fundamentally transformed curriculum delivery. These platforms facilitate organization of educational resources, communication among learners and faculty, online assessments, discussion forums, collaborative projects, digital portfolios, and performance monitoring. Learning management systems also enable asynchronous education, allowing learners to access instructional materials according to individual schedules while supporting lifelong learning and continuing professional development.

Blended learning has become the preferred instructional model across many medical schools worldwide. This approach strategically combines face-to-face instruction with online educational activities to maximize the strengths of both learning environments. Theoretical concepts may be introduced through digital modules, interactive videos, virtual discussions, and self-directed learning activities before classroom sessions emphasize application, problem solving, collaborative discussion, and clinical reasoning. This "flipped classroom" approach encourages active participation while improving learner preparation and engagement.

Microlearning has emerged as another innovative digital educational strategy. Rather than presenting large volumes of information during extended lectures, educational content is divided into concise learning units that focus on specific objectives. Short instructional videos, interactive quizzes, podcasts, infographics, and mobile applications facilitate repeated retrieval practice and continuous reinforcement of essential concepts. Microlearning aligns well with cognitive load theory while accommodating busy clinical schedules and diverse learner preferences.

Mobile learning technologies have significantly expanded educational accessibility. Smartphones, tablets, wearable devices, and cloud-based educational platforms enable healthcare students to access learning resources anytime and anywhere. Clinical guidelines, pharmacological references, anatomy atlases, diagnostic calculators, evidence databases, and educational applications support point-of-care learning while encouraging integration of theoretical knowledge with clinical practice. Mobile technologies have become indispensable tools for lifelong learning among healthcare professionals.

Collaborative digital learning environments further strengthen educational effectiveness by facilitating communication among geographically dispersed learners and educators. Virtual discussion forums, video conferencing, collaborative document editing, peer assessment platforms, and online research communities promote interdisciplinary learning, international collaboration, and collective knowledge construction. These digital communities support social learning while preparing graduates for increasingly interconnected global healthcare systems.

Simulation-based education has become increasingly integrated with digital pedagogy through sophisticated virtual patient platforms, computer-assisted clinical scenarios, and immersive educational technologies. Learners may repeatedly practice diagnostic reasoning, emergency management, medication prescribing, communication skills, and procedural techniques within psychologically safe environments before encountering real patients. Immediate feedback, performance analytics, and adaptive scenario progression enhance educational effectiveness while supporting individualized learning.

The COVID-19 pandemic accelerated worldwide adoption of digital pedagogy at an unprecedented pace. Educational institutions rapidly implemented remote instruction, virtual clinical experiences, telehealth education, online assessments, and digital collaboration platforms to ensure educational continuity during widespread disruption. Although many initial adaptations were implemented under emergency conditions, subsequent research demonstrated that thoughtfully designed digital education can achieve learning outcomes comparable to traditional instruction for many educational objectives. Consequently, digital pedagogy has become permanently integrated into contemporary medical education rather than functioning merely as an emergency alternative.

Faculty development remains essential for successful implementation of digital educational innovations. Educators require expertise in instructional design, multimedia development, online facilitation, digital assessment, learning analytics, artificial intelligence, simulation pedagogy, and educational technology evaluation. Institutions increasingly establish centers for teaching excellence that provide ongoing professional development, technological support, educational consultation, and scholarship opportunities. Investment in faculty development directly contributes to educational quality, institutional innovation, and sustainable academic transformation.

Digital equity has become an increasingly important consideration within global higher medical education. Significant disparities persist regarding technological infrastructure, internet connectivity, digital literacy, financial resources, and institutional capacity across countries and regions. Educational leaders must therefore implement inclusive strategies that ensure equitable access to digital learning opportunities while minimizing technological barriers that may disadvantage vulnerable learner populations.

The competency-based education, artificial intelligence, and digital pedagogy have fundamentally reshaped the scientific foundations of teaching and learning within higher medical education. These interconnected innovations promote personalized learning, continuous competency development, evidence-informed educational decision-making, technological adaptability, and learner-centered instructional design. However, successful implementation depends upon careful integration of educational theory, ethical governance, faculty development, institutional leadership, quality assurance, and sustained investment in educational infrastructure.

The next section examines the continuing evolution of immersive learning technologies, clinical decision-making education, educational leadership, interprofessional collaboration, innovative assessment strategies, and sustainable academic transformation, which together complete the contemporary scientific framework governing teaching and learning sciences in global higher medical education.

Goal

The primary goal of this study is to comprehensively examine the scientific evolution of teaching and learning sciences in global higher medical education by critically analyzing the integration of competency-based education, artificial intelligence, digital pedagogy, immersive learning technologies, clinical decision-making, educational leadership, and sustainable academic transformation. The study aims to synthesize contemporary evidence from medical

education, learning sciences, educational psychology, digital health, cognitive science, and healthcare innovation to evaluate how these interconnected domains are reshaping the preparation of future healthcare professionals. Furthermore, it seeks to identify emerging educational trends, assess the effectiveness of innovative teaching and learning strategies, explore challenges associated with their implementation, and propose evidence-informed approaches for developing resilient, learner-centered, technologically advanced, ethically grounded, and globally responsive medical education systems capable of improving educational quality, professional competency, lifelong learning, and patient-centered healthcare outcomes.

Methodology

The material of the article was the revised data from scientific publications, which were processed, analyzed, overviewed and reviewed by generalization and systematization. Research studies are based on a review/overview assessment of the development of critical visibility and overlook of the modern scientific literature and our study programs and curriculums. Use the following databases (for extensive literature searches to identify key issue facets of manifestation of modern teaching and learning methods in higher education institutions in medical educational study programs directions globally.): Web of Knowledge, PubMed, Scopus, Web of Science, Clinical key, Thomson Reuters, Google Scholar, Cochrane Library, Science Direct, Research Gate and Elsevier Foundations. The methodology for discussing the key issue facets of manifestation of modern teaching and learning methods in higher education institutions in medical educational study programs directions globally.

1. Research Objective

The study aims to critically analyze recent advancements in modern teaching and learning methods in higher education, with a focus on medical education programs globally. The objective is to identify trends, challenges, and opportunities through a systematic review of academic literature published in the last years.

2. Research Design

A systematic literature review (SLR) approach will be employed to ensure comprehensive and unbiased coverage of the topic.

3. Comparative Analysis: Evaluate the effectiveness and adoption rates of these study methods across different regions and institutions.

4. **Trend Analysis**: Highlight innovations and emerging practices in the last ten years.

5. Reporting Results

The results will be structured into the following sections:

- Overview of modern teaching and learning methods and variations in their application.
- Evaluation of their effectiveness in medical education, Challenges, limitations, and areas for further research.

6. Ethical Considerations

As a literature review, this study will not involve human subjects, ensuring compliance with ethical research standards.

Results and Discussion

The findings of this comprehensive scientific analysis demonstrate that the evolution of teaching and learning sciences has fundamentally transformed the landscape of global higher medical education. The integration of competency-based education, learner-centered pedagogical frameworks, evidence-informed curriculum design, educational psychology, digital innovation, and continuous quality improvement has collectively redefined how healthcare professionals are prepared for increasingly complex clinical environments. Rather than functioning as isolated educational reforms, these developments represent interconnected

components of an adaptive educational ecosystem that seeks to balance scientific excellence, professional competence, technological advancement, ethical responsibility, and patient-centered healthcare delivery.

One of the most significant observations emerging from the present analysis is the progressive shift from knowledge transmission toward competency development. Traditional educational models historically emphasized the acquisition and reproduction of biomedical information through lecture-centered instruction and summative examinations. Although these approaches contributed substantially to scientific literacy, they often demonstrated limited effectiveness in developing higher-order cognitive abilities, communication skills, clinical reasoning, leadership, adaptability, and professional identity. Contemporary teaching and learning sciences increasingly recognize that healthcare professionals require integrated competencies rather than isolated factual knowledge. Consequently, educational institutions worldwide have adopted competency-based educational frameworks that prioritize measurable professional performance, reflective practice, and continuous improvement.

The implementation of competency-based medical education has significantly influenced curriculum organization, instructional methodologies, assessment strategies, and faculty responsibilities. Educational outcomes are now explicitly aligned with professional competencies required for safe, effective, and ethical healthcare practice. Rather than progressing solely according to academic timelines, learners are increasingly evaluated according to demonstrated mastery of predefined competencies encompassing clinical expertise, patient communication, professionalism, evidence-based practice, interprofessional collaboration, health advocacy, leadership, and systems thinking. This educational transformation supports individualized learning trajectories while promoting accountability among learners, educators, and institutions.

The results further demonstrate that competency-based curricula encourage greater learner engagement than conventional instructional approaches. Students become active participants in their educational development through self-assessment, reflective practice, continuous feedback, and personalized learning plans. Such educational environments foster self-regulated learning behaviors, enabling future healthcare professionals to monitor their own progress, identify learning needs, establish educational goals, and pursue lifelong professional development. These findings are consistent with contemporary learning sciences, which emphasize learner autonomy, metacognitive awareness, and active participation as essential determinants of durable knowledge acquisition and competency development.

Curriculum integration represents another important finding of the present analysis. Historically, basic sciences and clinical education were frequently delivered as separate educational phases, creating artificial divisions between theoretical understanding and practical application. Modern curriculum design increasingly adopts integrated approaches that connect anatomy, physiology, pathology, pharmacology, microbiology, ethics, communication, and clinical medicine throughout the educational continuum. Vertical integration enables learners to appreciate the clinical relevance of foundational sciences, whereas horizontal integration strengthens conceptual understanding by linking related disciplines within coherent educational frameworks. This integrated curriculum structure promotes meaningful knowledge transfer while supporting clinical reasoning and evidence-based decision-making.

The scientific evidence further indicates that active learning methodologies consistently outperform passive instructional models across multiple educational outcomes. Problem-based learning, team-based learning, case-based instruction, inquiry-based education, flipped classrooms, collaborative learning, and experiential education encourage learners to engage actively with scientific concepts while developing analytical thinking, communication skills, teamwork, and clinical judgment. Rather than memorizing isolated facts, students learn to

synthesize information, evaluate competing explanations, formulate hypotheses, and solve authentic healthcare problems. Such educational experiences strengthen both cognitive flexibility and professional competence.

Problem-based learning has demonstrated particular effectiveness in promoting independent inquiry and lifelong learning. By presenting learners with authentic clinical scenarios before formal instruction, this educational approach encourages identification of knowledge gaps, literature searching, critical appraisal, collaborative discussion, and reflective synthesis. Students develop information management skills that remain essential throughout professional careers characterized by continuously expanding biomedical knowledge. Moreover, problem-based learning fosters intellectual curiosity, intrinsic motivation, and adaptive expertise, qualities increasingly recognized as indispensable within rapidly evolving healthcare systems.

Team-based learning similarly contributes to competency development by emphasizing collaborative problem solving, accountability, peer instruction, and collective decision-making. Healthcare delivery increasingly depends upon multidisciplinary collaboration; therefore, educational experiences that cultivate teamwork competencies possess substantial professional relevance. The present analysis suggests that structured collaborative learning environments improve communication skills, leadership development, conflict resolution, and mutual professional respect while simultaneously enhancing academic performance and learner satisfaction.

Case-based learning remains another highly effective instructional strategy identified throughout the scientific literature. Clinical cases provide authentic contexts within which learners integrate biomedical sciences, diagnostic reasoning, therapeutic planning, ethical principles, communication strategies, and patient-centered care. Repeated engagement with progressively complex clinical scenarios facilitates the transition from theoretical understanding toward professional expertise. Furthermore, case discussions expose learners to diverse clinical perspectives while encouraging reflective dialogue and evidence-based reasoning.

The findings also demonstrate that educational psychology has become increasingly influential in guiding curriculum development and instructional practice. Constructivist learning theory emphasizes that knowledge is actively constructed through meaningful engagement rather than passively received through lectures. Medical educators therefore increasingly function as facilitators who guide inquiry, stimulate discussion, encourage reflection, and support learner autonomy. This educational philosophy contrasts sharply with historical teacher-centered models while promoting deeper conceptual understanding and long-term knowledge retention.

Experiential learning has emerged as another cornerstone of modern medical education. Clinical placements, simulation exercises, laboratory investigations, community health activities, and service-learning initiatives provide authentic educational experiences through which learners develop practical competence. Reflection upon these experiences enables students to connect theoretical concepts with professional practice while refining clinical reasoning, ethical judgment, and interpersonal communication. Educational research consistently demonstrates that experiential learning promotes greater knowledge transfer and professional confidence than classroom instruction alone.

Cognitive science further informs instructional design by emphasizing the importance of retrieval practice, spaced repetition, deliberate practice, cognitive load management, and meaningful feedback. Rather than relying upon intensive memorization immediately preceding examinations, educational programs increasingly incorporate frequent low-stakes assessments, longitudinal reinforcement, and structured review activities that strengthen long-term retention. These evidence-based learning strategies optimize cognitive processing while reducing learner overload and promoting durable competency development.

Faculty development emerges as another central determinant of educational quality. The transition toward competency-based education requires educators to acquire new expertise in curriculum design, learner assessment, coaching, mentoring, educational technology, simulation facilitation, and scholarly evaluation. Faculty members increasingly assume multifaceted roles encompassing instructional leadership, educational research, learner support, quality improvement, and institutional innovation. Institutions investing systematically in faculty development consistently demonstrate greater educational effectiveness, stronger learner engagement, improved assessment quality, and enhanced implementation of curricular reforms.

The analysis further reveals that mentorship has become an increasingly valuable component of learner development. Effective mentoring relationships support academic progression, professional identity formation, research engagement, career planning, emotional resilience, and ethical development. Longitudinal mentoring programs facilitate individualized educational guidance while fostering learner confidence and well-being. Such relationships also strengthen institutional culture by promoting collaboration, inclusivity, and professional excellence.

Assessment science has undergone equally substantial evolution. Traditional summative examinations emphasizing factual recall have gradually been supplemented by comprehensive assessment systems evaluating integrated professional competence. Workplace-based assessments, Objective Structured Clinical Examinations, reflective portfolios, multisource feedback, and longitudinal competency evaluations provide richer educational information than isolated written examinations. Continuous formative assessment encourages learners to identify strengths, address deficiencies, and pursue ongoing improvement while simultaneously informing curriculum refinement.

Constructive feedback represents one of the most consistently effective educational interventions identified throughout the literature. Timely, specific, learner-centered feedback enables students to compare current performance with desired standards while identifying practical strategies for improvement. Feedback also promotes metacognitive awareness, self-regulation, professional reflection, and resilience. Educational environments characterized by supportive feedback cultures demonstrate greater learner satisfaction, stronger competency development, and more effective professional growth than systems relying primarily upon summative evaluation.

Professional identity formation constitutes another major outcome of contemporary educational reform. Healthcare education extends beyond scientific knowledge and technical proficiency to include the development of professional values, ethical principles, empathy, accountability, cultural competence, and commitment to lifelong learning. Educational environments characterized by positive role modeling, reflective practice, collaborative learning, and supportive institutional culture facilitate the gradual emergence of professional identity. This developmental process significantly influences future clinical behavior, patient relationships, leadership capacity, and career satisfaction.

Interprofessional learning opportunities introduced during undergraduate education further strengthen professional identity by exposing learners to the complementary expertise of multiple healthcare disciplines. Students develop appreciation for collaborative practice while recognizing the importance of mutual respect, effective communication, and coordinated patient care. These educational experiences reduce professional silos and prepare graduates for increasingly integrated healthcare systems.

Another important finding concerns the growing emphasis on learner well-being as a determinant of educational success. Medical education has historically been associated with high levels of psychological stress, burnout, anxiety, and emotional exhaustion. Contemporary

educational institutions increasingly recognize that learner wellness directly influences academic performance, clinical competence, empathy, professionalism, and long-term career sustainability. Consequently, many medical schools have implemented wellness initiatives including mentorship programs, resilience training, counseling services, flexible curricula, peer support networks, mindfulness education, and work-life integration strategies. Such interventions contribute not only to learner satisfaction but also to improved educational outcomes and patient safety.

The present analysis also highlights the increasing importance of educational quality assurance. Continuous curriculum evaluation, accreditation standards, learner feedback, faculty assessment, educational research, and institutional benchmarking collectively contribute to ongoing program improvement. Quality assurance processes increasingly employ evidence-based indicators measuring learner achievement, graduate performance, faculty effectiveness, research productivity, stakeholder satisfaction, and societal impact. Continuous monitoring enables institutions to identify strengths, address deficiencies, and respond proactively to evolving healthcare needs.

Globalization has significantly accelerated dissemination of educational innovations across medical schools worldwide. International collaboration facilitates exchange of teaching methodologies, competency frameworks, assessment tools, digital resources, and educational research findings. Shared accreditation standards and multinational educational partnerships contribute to greater consistency in graduate competencies while allowing adaptation to local healthcare priorities. Such global collaboration strengthens educational quality while promoting cross-cultural understanding and international scientific cooperation.

The discussion of these findings suggests that the evolution of teaching and learning sciences reflects far more than incremental curriculum modification. Instead, it represents a comprehensive transformation of educational philosophy grounded in scientific evidence, learner-centered design, competency development, continuous quality improvement, and professional accountability. Competency-based education, integrated curricula, active learning methodologies, educational psychology, faculty development, comprehensive assessment, learner wellness, and institutional quality assurance collectively create educational environments capable of preparing highly competent healthcare professionals for the increasingly dynamic demands of twenty-first-century medicine.

These findings also indicate that educational transformation is an ongoing process rather than a completed reform. Institutions must continuously evaluate emerging scientific evidence, technological innovations, healthcare priorities, and societal expectations while maintaining flexibility to adapt educational systems accordingly. The integration of competency-based frameworks with future developments in artificial intelligence, digital pedagogy, immersive learning technologies, and intelligent educational ecosystems will likely determine the next phase of global medical education. These transformative technological dimensions are explored in the subsequent section of the Results and Discussion, which examines the scientific impact of artificial intelligence, digital pedagogy, immersive learning technologies, learning analytics, and advanced clinical decision-making on the future of higher medical education.

Key issues in modern teaching and learning methods and student-centered learning: One of the primary facets of contemporary medical education is the shift toward student-centered learning. This approach places learners at the forefront of the educational process, encouraging active participation, collaboration, and self-directed learning. Techniques such as problem-based learning (PBL), team-based learning (TBL), and flipped classrooms are increasingly utilized t
o

p
r
o
m

Knowledge acquisition is a holistic, dynamic, consciously directed, and deeply personal process that involves the interpretation of personal information and experiences. This idea implies that people have an innate tendency to learn when they are in a supportive and motivating environment, and that the learning experience is deeply personal. So, a motivated student is a constant seeker of knowledge, and vice versa. The desire to learn and the desire to understand are innate traits shaped by a person's self-perception, desires, and expectations. Lifelong learning is also a fundamental human ability that is fostered by recognizing our unique learning patterns. Therefore, it is important to encourage independent learning strategies because these are the most sustainable and ambitious. These strategies should align with the responsibilities and priorities that students consider important. Teachers should clearly communicate educational goals and explain how specific activities will help students achieve their goals. Teachers must also understand the individual needs of each student and design activities that meet those needs while emphasizing motivation. Creating a motivating environment can include building social connections (e.g., friendships), meeting expectations, achieving professional growth, and receiving intellectual rewards. The best educational experiences are self-paced, interactive experiences that encourage student engagement, sharing of ideas, and active participation in discussions.

In the past, traditional lectures were the cornerstone of learning during the preclinical years. These regular lectures were the main means of imparting knowledge to students. However, this passive learning model has been heavily criticized, leading to the introduction of innovative teaching strategies. Traditional lectures often lack interactive elements and are not dynamic learning tools, which limits students' ability to deepen their understanding through collaboration. Students are increasingly reluctant to participate in academic activities outside the classroom. Modern teaching methods, on the other hand, place the learner at the forefront and make him or her fully responsible for acquiring knowledge. The rapid development of medical systems requires the creation of an educational system that actively involves future specialists in the learning process. Instead of simply listening, students become full participants, participating directly and continuously. These active learning methods have been shown to be more effective than traditional lectures and significantly improve knowledge acquisition, comprehension, long-term retention, and independent learning in medical education.

A verbal, i.e. oral study method refers to a learning technique that relies primarily on spoken language for the absorption and retention of information. In this method, information is conveyed and understood through listening, speaking, and discussion, rather than through reading or writing. This can include techniques such as lectures, verbal repetition, oral quizzes, group discussions, or recitation. It emphasizes auditory learning and verbal communication to enhance comprehension and memory retention.

The method of working on the book refers to a systematic approach to studying or analyzing a book in depth. This method typically involves several stages: Previewing – Skimming the book key ideas. Active Reading – Engaging with the text by reading carefully, taking notes, highlighting important points, and asking questions as you go. Summarizing – Writing brief rmation. Critical Analysis – Evaluating the content, arguments, and perspectives presented in the book, and considering their validity and implications. Reviewing – Going over the material method can also include reflective thinking, discussion, and connecting the book's content to

R
Demonstration method – this method involves presenting information visually. From the point
l
e
-
Induction is a method of reasoning that involves drawing general conclusions from specific
observations or instances. Explanation: In the inductive approach, you begin with particular
cases, observations, or data points, and from these, infer a broader generalization or theory.
This method is often used in scientific research where repeated observations lead to the
formation of hypotheses or laws. For example, observing that the sun rises every day and
concluding that the sun always rises in the east is an inductive inference. Application in Study:
In studying, induction helps students make connections by analyzing patterns or trends across
multiple cases to form a broader understanding of a subject or concept.
Deduction is a method of reasoning that starts with a general principle or theory and applies it
to specific instances to draw a conclusion. In the deductive approach, you begin with a general
statement, premise, or theory and use it to predict or explain specific observations. This process
is logical and moves from a broad theory to a specific conclusion. In studying, deduction allows
learners to apply established theories or rules to specific problems or examples, which is useful
in fields like mathematics, logic, or law.
Team-based learning (TBL) has been shown to be one of the most effective learning approaches
in medical education, emphasizing a student-centered structure. In this method, small groups
of students carry out activities that promote the practical application of theoretical concepts.
Team learning includes critical thinking, individual and collaborative tasks, brainstorming
sessions, and immediate instructor feedback. It offers significant benefits by improving
communication and teamwork skills in groups of students, essential skills for effective patient
care. Compared to problem-based learning (PBL), team learning encourages greater student
participation. One of the main benefits of team learning is that it encourages students to solve
problems and make decisions together, which increases motivation, facilitates the discovery of
concepts, and promotes deeper understanding. Instructors who facilitate small group
discussions using a team-based learning model have shown better student performance on
exams compared to traditional lecture-based learning.
Analysis is the process of breaking down a complex topic or substance into its components to
better understand its structure or function. In analysis, you examine the individual parts of a
whole, studying their relationships and functions in isolation to better understand the entire
system. This method is crucial in critical thinking, allowing a detailed and in-depth examination
of various elements within a concept, problem, or text. For example, analyzing a novel would
involve looking at its plot, characters, themes, and language style separately. Analysis is often
used in studying literature, sciences, and humanities, where learners must dissect and examine
ideas, arguments, and data to understand the core aspects of a subject.

Synthesis is the process of combining different ideas, information, or components to form a cohesive whole or new understanding. In synthesis, you take the analyzed parts of a concept or data and integrate them to form a new, unified perspective. This method moves from individual elements to an overall understanding, allowing the learner to create something new from previously separate pieces of knowledge. For example, after analyzing various sources in an essay, synthesis would involve combining these viewpoints into a single, coherent argument. Synthesis is used to combine knowledge from different areas to create new insights or solutions. It's essential in research writing, problem-solving, and the development of new ideas in disciplines like philosophy, history, and science.

Summary:

- Induction: From specific to general (forming theories from observations).
- Deduction: From general to specific (applying theories to specific cases).
- Analysis: Breaking down complex information into simpler components.
- Synthesis: Combining elements to create a new whole or understanding.

Electronic learning (E-learning) – this method includes three types of teaching: attended, when

Teaching-learning methods and corresponding activities and main teaching learning methods: lecture, seminar, laboratory and practical work; training and production practices; course work/project; bachelor's, master's and doctoral theses; e-learning; consultation.

A lecture is a creative process in which the lecturer and the student participate simultaneously. The main goal of the lecture is to understand the idea of the provisions of the studied subject, which implies a creative and active perception of the presented material. In addition, attention should be paid to the basic provisions, definitions, designations, and assumptions of the transmitted material. Critical analysis of key issues, facts and ideas is required. The lecture should provide a scientific and logically coherent introduction to the basic tenets of the studied subject without overloading it with unnecessary details. Therefore, it must be logically complete. In addition, facts, examples, diagrams, drawings, experiments and other visual aids should serve to explain the idea of the lecture.

The lecture should provide a correct analysis of the dialectical process of science and should be learned in a specific environment by focusing on the ability of students to think freely, to know and understand basic scientific problems.

The material heard at the lecture is formed into a whole knowledge system by the independent work of the student. The student should be interested in books and other sources of information and the desire to study issues independently, which is a means of stimulating independent thinking, analysis and drawing conclusions.

Based on the main purpose of the lecture, the right to read it should be given only to experienced teachers, since their theoretical knowledge, practical experience and pedagogical skill are the guarantee of conducting the lecture at a high level. During the processing of the methodical issues of the lecture, the teacher should focus on the sequence of the transfer of the material, the style of the lecture, and the connection with the audience. The lecture should be conducted with the active participation of students, methodical means and extensive use of visual aids.

Theoretical material, which is given in lectures, is well understood by seminars, laboratory and practical studies.

The purpose of the seminar (group work) is to give students an opportunity to deepen the topics heard during the lecture. Under the guidance of the leading professor or the leading teacher of the seminar, a student or a group of students will search for and process additional information, prepare a presentation, write an essay, etc. At the seminar, reports will be heard, discussions will be held, and conclusions will be made. The head teacher of the seminar coordinates the purposeful management of these processes.

Laboratory work is more visible and allows the perception of this or that event or process. In the laboratory, the student learns to conduct an experiment. During the laboratory studies, the student should learn how to set up, adjust and operate the equipment.

Habits developed in experiential learning laboratories allow understanding of theoretical material heard in lectures. It involves the following types of actions: setting tests, showing video material, dynamic material, etc.

The purpose of practical work is the gradual study of theoretical material through the solution of specific tasks, which is the basis for developing habits of independent use of theoretical material. The head of practical education should focus on the methodology of problem solving, the execution of drawings, sketches, schemes, the use of appropriate techniques in calculations, etc.

Practice (educational and industrial) serves to deepen and strengthen the knowledge acquired by the student. It develops the ability to apply knowledge in practice, to use methods specific to the studied subject to solve problems. It combines all the teaching methods that form the student's practical skills. In this case, the student independently performs this or that action based on the acquired knowledge, for example, pedagogical practice, field work, etc.

Course work/project is a creative process. Each new building, machine, tool, automatic device, etc. is created according to the project. The design process is a combination of theory and practice. During the teaching period, the student completes graphic assignments and course projects, which are, in fact, the student's first independent work, although it is carried out under the guidance of the teacher. A bachelor's, master's and doctoral thesis is the final stage of a separate level of education in a higher educational institution, and its purpose is to systematize the theoretical and practical knowledge gained in the specialty and to provide a substantiated solution to specific scientific, technical, economic or production tasks. The paper should reveal the level of mastery of research methods and experiments related to the issues and the student's readiness for independent work in the future professional activity. The work is supervised by an experienced teacher.

Electronic learning (E-learning) - refers to teaching through the Internet and multimedia tools. It includes all components of the teaching process (goals, content, methods, means, etc.), which are realized by specific means. E-learning is of three types: Attended when the teaching process takes place within the contact hours of the teacher and students, and the transfer of educational material is carried out through an electronic course; Distance learning involves conducting the learning process without the physical presence of the professor. The training course is conducted from start to finish remotely, in electronic format; Hybrid (face-to-face/distance) - the main part of teaching takes place remotely, and a small part is carried out within the framework of contact hours.

Consultations should help the student, with the help of the teacher, to master the habits of independent work, to correctly conduct work on educational literature and other sources, and to clarify the issues raised during independent work.

CBCR (Case-Based Clinical Reasoning) is an educational approach commonly used in medical and health sciences education to help students develop clinical reasoning skills. In this method,

learners are presented with real or simulated clinical cases that they must analyze and solve using their knowledge, problem-solving skills, and reasoning abilities.

Key Features of Case-Based Clinical Reasoning (CBCR):

✓ Case-based learning: The method focuses on real-world clinical cases, which often mimic the complexity and unpredictability of actual patient scenarios. These cases encourage students to think like healthcare professionals by diagnosing and treating patients based on the information provided.

✓ Interactive and collaborative: CBCR is often conducted in groups, where students discuss the cases, share insights, and collaborate to reach a diagnosis or treatment plan. This interactive setting helps promote peer learning and enhances critical thinking.

✓ Focus on reasoning: Rather than just memorizing facts, students are encouraged to apply their knowledge to reason through cases, considering differentials, clinical symptoms, diagnostic tests, and possible interventions.

✓ Integration of theoretical knowledge and practice: CBCR helps bridge the gap between theoretical learning and practical application by integrating basic sciences with clinical practice.

✓ Iterative process: As students work through the case, they often receive feedback, are presented with new information, or are asked to reflect on their reasoning, making it an iterative process that enhances learning.

✓ Role of the facilitator: Instructors or facilitators guide the discussion but do not provide direct answers. Their role is to challenge students' thinking, ask probing questions, and help learners explore the case from different perspectives.

Benefits of Case-Based Clinical Reasoning (CBCR): Enhances clinical decision-making skills; Promotes active learning and critical thinking; Encourages teamwork and communication; Prepares students for real-life clinical problem-solving. This method is widely used in medical schools, nursing education, and other health professions to train students in thinking like clinicians.

CBD (Case-Based Discussion) is a structured, formative assessment tool used in medical education to evaluate and improve a learner’s clinical reasoning, decision-making, and application of knowledge to real patient cases. It is typically part of workplace-based assessment (WBA) frameworks, focusing on reflective learning through in-depth discussion of clinical cases the learner has been involved with.

Key Features of (Case-Based Discussion) CBD:

✓ Focus on real cases: The discussion revolves around a clinical case that the learner has directly managed or been involved in. It is typically drawn from actual clinical practice rather than hypothetical scenarios.

✓ Reflective discussion: The method involves a structured dialogue between the learner and an experienced clinician (usually a mentor, supervisor, or assessor) about the clinical reasoning and decisions made during the management of the case. The focus is on reflection, exploring why certain decisions were made, and considering alternatives.

✓ Evaluation of clinical reasoning: CBD is designed to assess how well the learner can apply clinical knowledge to real-life situations, taking into account patient history, diagnosis, treatment, and follow-up. It emphasizes clinical reasoning and the thought process behind medical decisions rather than just the outcomes.

✓ Interactive and formative: CBD is an interactive method where the learner and the assessor explore the case together. The goal is formative, meaning it is aimed at providing feedback to the learner to enhance their skills rather than simply giving a grade or judgment.

✓ Customizable to learning needs: The discussion can be tailored to the learner’s level of expertise and the specific competencies being assessed. Different aspects of the case, such as

diagnosis, management, communication skills, ethical considerations, or teamwork, can be explored based on the individual's learning objectives.

✓ Documentation and feedback: The assessor provides feedback, which is typically documented to track the learner's progress over time. The feedback is usually focused on areas for improvement, strengths, and any learning opportunities identified during the discussion.

Steps in a (Case-Based Discussion) CBD:

✓ Case selection: The learner selects a clinical case they have managed that offers scope for discussion on clinical reasoning and decision-making.

✓ Preparation: The learner reviews the case details, including patient history, diagnosis, treatment, and outcome. The assessor may also review relevant case notes or patient data.

✓ Discussion: A structured discussion takes place between the learner and assessor, covering the learner's reasoning, decision-making, and understanding of the case. The assessor may ask open-ended questions to probe the learner's knowledge and approach.

✓ Feedback: The assessor provides detailed, constructive feedback, focusing on what the learner did well and areas where they can improve.

✓ Reflection: Learners are encouraged to reflect on the feedback and the case to identify learning points and future improvements.

Benefits of (Case-Based Discussion) CBD: Helps learners develop deeper clinical reasoning and critical thinking; Provides an opportunity for personalized feedback based on real clinical experience; Encourages reflection on clinical practice, promoting lifelong learning; Assists in identifying learning needs and areas for improvement. Commonly Used In: Medical education and postgraduate training (e.g., residency programs). Other healthcare professions like nursing, dentistry, and allied health. (Case-Based Discussion) CBD is particularly valuable for developing clinicians as it integrates clinical experience with academic learning, offering a well-rounded approach to building competency in real-world medical practice.

CBL (Case-Based Learning) is an instructional approach that uses real-life or simulated cases to facilitate learning. It is widely used in various educational settings, particularly in medical, healthcare, legal, and business education. The primary goal of CBL is to engage students in active learning by having them apply theoretical knowledge to practical, real-world scenarios.

Key Features of (Case-Based Learning) CBL:

➢ Realistic Cases: Learning is centered on realistic, complex cases that mimic real-world problems or situations. These cases provide context and practical application for theoretical knowledge, making learning more relevant and meaningful.

➢ Learner-Centered Approach: CBL encourages active participation from students, who must analyze the case, identify key issues, and propose solutions. This contrasts with more passive forms of learning, such as lectures, where students are primarily recipients of information.

➢ Application of Knowledge: Students are required to apply what they have learned in the classroom to the case. This enhances understanding and retention by demonstrating how concepts and theories work in practice.

➢ Critical Thinking and Problem-Solving: CBL fosters critical thinking by challenging students to evaluate the information presented in the case, consider multiple perspectives, weigh evidence, and make decisions.

➢ Collaborative Learning: In many CBL settings, students work in groups, promoting teamwork, communication, and collaboration. The exchange of ideas and perspectives within a group setting helps deepen understanding.

➢ Instructor as Facilitator: Instructors guide the learning process rather than providing direct answers. Their role is to ask probing questions, offer feedback, and support students in their exploration of the case.

- Reflection and Discussion: Students reflect on their reasoning and decisions during or after the case analysis. Group discussions often allow for the sharing of different viewpoints and deepen the learning experience.

Steps in (Case-Based Learning) CBL:

- Presentation of the Case: Students are introduced to a case, typically involving a real-world problem or scenario relevant to the subject area.
- Case Analysis: Students analyze the case by identifying key problems, considering possible solutions, and applying theoretical knowledge to the situation.
- Discussion and Collaboration: Students discuss the case in groups or with the instructor, sharing ideas, debating different approaches, and learning from each other's perspectives.
- Solution and Application: Based on their analysis and discussion, students propose solutions or make decisions regarding the case. They may be asked to justify their choices and consider the implications of their actions.
- Feedback and Reflection: Instructors provide feedback, and students reflect on their learning process, analyzing what they did well and areas they could improve upon.

Benefits of (Case-Based Learning) CBL: Promotes active learning and student engagement; Enhances critical thinking, problem-solving, and decision-making skills; Bridges the gap between theory and practice; Encourages collaborative and team-based learning; Improves retention of knowledge by linking learning to real-world experiences.

Commonly Used In: Medical and healthcare education (e.g., diagnosis, patient management, and ethical dilemmas); Business and management studies (e.g., strategy, marketing, and leadership); Legal education (e.g., analyzing court cases, legal principles, and ethics).

(Case-Based Learning) CBL is particularly effective because it creates a more engaging and applied learning experience that mirrors the complexity of real-world situations, helping students become better problem-solvers and critical thinkers.

DOPS (Direct Observation of Procedural Skills) is an assessment tool used in medical and healthcare education to evaluate a learner's technical and procedural skills in real-time clinical settings. The method involves an experienced clinician directly observing the learner as they perform a specific clinical procedure, providing immediate feedback aimed at improving performance and competence.

Key Features of (Direct Observation of Procedural Skills) DOPS:

- Real-Time Observation: The learner is observed performing a procedure on a real patient or in a simulated clinical setting. This observation allows the assessor to evaluate technical proficiency, professionalism, and patient care during the procedure.
- Wide Range of Procedures: DOPS can be used to assess various procedural skills, such as taking blood samples, inserting IV lines, suturing, conducting a physical exam, or performing more complex surgical procedures, depending on the learner's level.
- Structured and Specific: The assessment is structured around specific criteria relevant to the procedure being observed. These criteria typically include technical ability, knowledge of the procedure, communication with the patient, hygiene and safety measures, and professional behavior.
- Immediate Feedback: After the procedure, the assessor provides immediate feedback to the learner, highlighting strengths and areas for improvement. This real-time feedback is crucial for helping learners adjust and refine their technique.
- Formative and Summative: DOPS is often used for formative purposes, meaning the goal is to help the learner improve through feedback and guidance. However, it can also be used in summative assessments, contributing to formal evaluations of competency during training programs.

➢ Brief and Focused: DOPS assessments are typically short (10–20 minutes), focusing on a specific skill or procedure. This allows for repeated assessments over time to track progress and development.
➢ Assessor Role: The assessor (usually a more senior clinician, supervisor, or mentor) not only observes the technical execution but also evaluates non-technical skills such as communication, patient consent, and professionalism.
Steps in (Direct Observation of Procedural Skills) DOPS:
✓ Pre-procedure: The learner is briefed about the procedure they will perform. The assessor ensures the learner understands the purpose of the procedure, patient consent, and safety protocols.
✓ Direct Observation: The assessor observes the learner performing the procedure. This observation covers all aspects, from preparation and interaction with the patient to the execution of the procedure itself.
✓ Assessment: The assessor uses a standardized form or checklist to evaluate the learner's performance. This typically includes areas such as: Technical skill and accuracy; Knowledge of the procedure; Communication with the patient; Maintenance of a sterile field (where applicable); Time management and efficiency.
Immediate Feedback: After the procedure, the assessor provides immediate feedback, discussing what the learner did well and areas that need improvement. The learner may also reflect on their own performance. Documentation: The observation and feedback are documented, and the learner may be given a rating or score based on their performance. These records can be used to track progress over time.
Benefits of (Direct Observation of Procedural Skills) DOPS: Provides real-time evaluation of practical skills in a clinical setting; Encourages immediate feedback and reflection, helping learners improve quickly; Enhances the learner's confidence in performing clinical procedures; Allows for focused learning on both technical and non-technical skills, such as communication and professionalism; Helps track progress over time, identifying areas where further training or practice is needed. (Direct Observation of Procedural Skills) DOPS is particularly useful because it provides structured, formative assessment in a real-world context, allowing healthcare professionals to refine their skills and ensure competency in performing clinical procedures safely and effectively.
Entrustable Professional Activities (EPAs) are a critical tool in modern, competency-based education as they focus on real-world tasks and ensure that learners are truly prepared for independent practice before being entrusted with professional responsibilities. Entrustable Professional Activities (EPAs) are specific, observable tasks or responsibilities that can be entrusted to a learner once they have demonstrated the necessary competence to perform them independently. EPAs are widely used in competency-based medical and healthcare education to assess a learner's readiness for practice. They are designed to bridge the gap between theoretical knowledge and practical, real-world skills.
Key Features of Entrustable Professional Activities (EPAs):
✓ Units of Professional Practice: EPAs are real-world tasks or responsibilities that healthcare professionals are expected to perform in their daily practice. Examples include taking a patient's history, prescribing medication, or managing a clinical team. Each EPA represents a key activity within a profession.
✓ Observable and Measurable: EPAs are concrete activities that can be directly observed and measured. This allows supervisors or assessors to make objective judgments about a learner's competence based on their performance.
✓ Linked to Competency: While EPAs are the practical tasks, they are directly linked to underlying competencies such as medical knowledge, communication skills, clinical reasoning,

professionalism, and patient care. Completing an EPA successfully indicates that the learner has integrated these competencies.

✓ Trustworthiness: The concept of "entrustment" is central to EPAs. Learners must demonstrate that they can perform the activity safely and independently before being entrusted with it. This means that supervisors must feel confident that the learner can carry out the task without supervision in a variety of situations.

✓ Gradual Entrustment: Learners move through different levels of entrustment, from needing close supervision to performing the activity independently. EPAs recognize that learners develop competence over time, and assessment is designed to track this progression.

✓ Context-Specific: EPAs are tailored to specific professions and contexts. The tasks that are considered essential or "entrustable" for a physician, for example, may differ from those for a nurse, dentist, or allied health professional.

Levels of Entrustment: Typically, Entrustable Professional Activities (EPAs) are assessed on a scale that represents the degree of supervision a learner requires. Common levels include:

➢ Observation Only: The learner is not yet allowed to perform the task but can observe others doing it.

➢ Direct Supervision: The learner can perform the task, but only with close supervision (e.g., a senior clinician is in the room).

➢ Indirect Supervision: The learner can perform the task with a supervisor nearby but not in the room, available for help if needed.

➢ Supervision at a Distance: The learner can perform the task without direct oversight but may consult a supervisor when necessary.

➢ Independent Practice: The learner is fully entrusted to perform the task independently and can supervise others.

Example Entrustable Professional Activities (EPAs) in Healthcare: For medical students, residents, or other healthcare professionals, some common EPAs might include; Taking a comprehensive patient history; Performing and interpreting a physical examination; Formulating a differential diagnosis; Documenting and presenting clinical findings; Prescribing and managing medications; Collaborating with an interprofessional healthcare team; Communicating with patients and their families.

Observational learning involves acquiring knowledge through demonstration, a crucial aspect in healthcare where ensuring patient safety is fundamental. The development of motor skills is a fundamental part of medical proficiency and must be taught and refined with great precision. Many medical tasks are considered open-ended skills that require physicians to adapt to unpredictable and constantly changing situations (e.g., tracheal intubation and surgical suturing). The process behind this learning method is rooted in the mirror neuron system of the premotor cortex, which plays a role in imitating actions observed in others. Observational learning depends on the active involvement of the motor system and requires the implicit involvement of the observer for effective learning. In addition, immediate feedback is believed to be effective not only during hands-on practice but also during observation. There is evidence that combining observational learning with physical exercise may be more beneficial than relying on physical exercise alone. Observational techniques are essential for mastering complex medical procedures and promoting learning and skill development through practice-based observation. Practicing motor skills is essential for improving performance in medical procedures, and understanding the mechanisms underlying these movements plays an important role in refining training programs. The approaches achieved using this method promote adaptability, optimize motivation, and improve cognitive processing. In addition, skill acquisition is accelerated through visual-spatial representation, creating vivid mental images in working memory.

Assessment of Entrustable Professional Activities (EPAs): Assessment of EPAs is based on direct observation of the learner performing the activity. Supervisors use standardized checklists or rubrics to evaluate performance and determine the level of supervision required. Feedback is a key component, helping learners understand their strengths and areas for improvement.

Benefits of Entrustable Professional Activities (EPAs): Competency-Based: EPAs ensure that learners are assessed based on their ability to perform real-world tasks, making the training process more relevant to professional practice; Clear Progression: The entrustment model provides a clear, structured path for learners as they develop their skills, from needing close supervision to independent practice; Practical Application: EPAs focus on practical tasks that professionals need to master, bridging the gap between theoretical learning and practical, clinical application. Personalized Learning: Learners receive personalized feedback based on their performance, allowing them to focus on areas that need further development; Patient Safety: The entrustment process ensures that learners are only entrusted with tasks when they have demonstrated sufficient competence, helping to ensure patient safety. Commonly Used In: Medical and healthcare education (e.g., residency and fellowship programs); Nursing education (e.g., entrusting nurses with independent patient care responsibilities); Allied health professions (e.g., physical therapists, pharmacists, and other clinical roles).

The Mini-CEX (Mini Clinical Evaluation Exercise) is a structured, workplace-based assessment tool used in medical education to evaluate a learner's clinical skills in real-time clinical practice. It involves direct observation of a trainee during a brief patient encounter, followed by immediate feedback from an experienced clinician or supervisor. The Mini-CEX is designed to assess a variety of clinical competencies, such as patient interaction, communication, clinical reasoning, and professionalism, in a real-world context.

Key Features of (Mini Clinical Evaluation Exercise) Mini-CEX:

- Direct Observation: A supervisor observes the trainee during a short clinical encounter with a real patient (usually lasting around 10-20 minutes). The encounter may involve history-taking, physical examination, diagnosis, patient counseling, or treatment planning.
- Broad Skill Assessment: The Mini-CEX allows for the assessment of multiple clinical skills, such as: History-taking: Gathering and interpreting patient history; Physical examination: Performing a focused and effective clinical examination; Clinical reasoning: Formulating a differential diagnosis and treatment plan; Communication: Interacting with patients, explaining diagnoses, and delivering clear instructions; Professionalism: Demonstrating empathy, respect, and ethical behavior; Organizational skills: Managing time effectively and ensuring smooth patient flow.
- Immediate Feedback: After the encounter, the supervisor provides immediate, structured feedback to the learner, highlighting strengths and areas for improvement. This formative feedback is essential for guiding the trainee's development.
- Short and Focused: The Mini-CEX is brief and focused on specific competencies or elements of patient care, allowing for multiple assessments across a range of clinical scenarios over time.
- Formative and Summative Use: Although primarily formative (focused on improving skills through feedback), the Mini-CEX can also be used summative to contribute to formal evaluations of a trainee's competency at various stages of their education.
- Standardized Evaluation: The supervisor completes a structured evaluation form, rating the learner's performance across several domains on a numerical scale (e.g., 1-9), where higher scores reflect greater competence. Commonly assessed domains include clinical judgment, communication skills, organization, and professionalism.

- Frequent and Flexible: Mini-CEX assessments can be repeated frequently during clinical rotations to capture the learner's development over time. It is flexible, allowing assessments to take place in various clinical settings (inpatient, outpatient, emergency, etc.) and across different types of patient cases.

Steps in (Mini Clinical Evaluation Exercise) Mini-CEX:

- Case Selection: A real patient case is chosen for the learner to engage with, either as part of routine clinical practice or specifically for the assessment.
- Observation: The supervisor observes the learner interacting with the patient, performing tasks such as history-taking, physical examination, or patient counseling.
- Assessment: After the encounter, the supervisor completes the Mini-CEX evaluation form, rating the learner in various skill areas. The ratings are typically on a scale (e.g., 1-9), with higher scores indicating greater competency.
- Feedback: The supervisor provides immediate feedback, discussing the learner's performance, strengths, and areas for improvement. Feedback is specific, constructive, and designed to help the learner grow in their clinical skills.
- Reflection and Action Plan: The learner reflects on the feedback and, with the help of the supervisor, develops an action plan for further improvement. This may include targeted practice or additional study in certain areas.

Domains Commonly Assessed in (Mini Clinical Evaluation Exercise) Mini-CEX:

- History-taking: Ability to gather relevant patient information.
- Physical examination: Skill in conducting a focused, effective exam.
- Clinical judgment: Diagnostic reasoning, decision-making, and treatment planning.
- Communication skills: Clarity and empathy in interacting with patients and their families.
- Professionalism: Ethical behavior, respect, and rapport-building with patients.
- Time management: Efficient use of time and organization in patient care.

Benefits of (Mini Clinical Evaluation Exercise) Mini-CEX:

- Real-Time Assessment: Direct observation in a real clinical setting ensures that learners are evaluated on their actual performance, not just theoretical knowledge.
- Personalized Feedback: Immediate, targeted feedback helps trainees focus on specific areas for improvement.
- Frequent and Flexible: Multiple, brief assessments over time allow for tracking of progress and improvement.
- Broad Assessment of Skills: Mini-CEX covers a wide range of essential clinical competencies, ensuring comprehensive evaluation.
- Learner Development: The focus on formative feedback encourages continuous learning and development.

Mini Clinical Evaluation Exercise Commonly Used In: Medical education: Particularly during clinical rotations for medical students, interns, and residents; Nursing education: To assess practical nursing skills in clinical settings. Allied health education: For clinical professions such as physiotherapy, dentistry, and pharmacy. The Mini-CEX is a valuable tool for assessing and improving clinical performance, helping learners develop the skills necessary for competent, patient-centered care.

The Objective Structured Clinical Examination (OSCE) is a widely used assessment method in medical, nursing, and allied health education to evaluate a learner's clinical competence in a structured and standardized way. The OSCE assesses a range of clinical skills, including history-taking, physical examination, clinical reasoning, communication, and professionalism, in a controlled, simulated clinical environment.

Key Features of Objective Structured Clinical Examination (OSCE):

- Structured Stations: The OSCE consists of multiple stations (typically 10–20), each focusing on a different clinical task or scenario. Each station is designed to assess specific skills, such as diagnosing a patient, performing a physical exam, interpreting test results, or counseling a patient.
- Standardized Patients: Many OSCEs use trained actors or simulated patients to portray clinical scenarios, ensuring standardization. These standardized patients follow a script, making the assessment consistent for all learners.
- Time-Limited: Each station is time-limited, typically lasting 5 to 10 minutes, and learners must complete the task within that time frame. This tests not only clinical competence but also time management and the ability to think on one's feet.
- Objective Scoring: Each station has clear objectives and a standardized checklist or rubric that the examiner uses to evaluate the learner's performance. The scoring system ensures that the assessment is objective and minimizes bias. Skills such as technical proficiency, communication, and clinical reasoning are scored based on the checklist.
- Simulated Real-Life Scenarios: The stations are designed to reflect realistic clinical challenges that healthcare professionals face in practice. This allows learners to demonstrate how they apply theoretical knowledge in practical, patient-centered situations.
- Holistic Assessment: The Objective Structured Clinical Examination (OSCE) assesses a broad range of skills, including: Clinical knowledge: The ability to diagnose and manage clinical conditions; Technical skills: Proficiency in performing specific procedures (e.g., suturing, administering injections); Communication: Effective interaction with patients, explaining diagnoses, and delivering treatment plans; Professionalism: Demonstrating empathy, ethical conduct, and respect for patients; Clinical reasoning: Formulating differential diagnoses and decision-making based on clinical data.
- Formative and Summative Use: Objective Structured Clinical Examination (OSCEs) can be used for both formative (developmental) and summative (final) assessments. Formative OSCEs help learners identify areas for improvement, while summative OSCEs evaluate competence at the end of a course or training program.

Objective Structured Clinical Examination (OSCE) Format: Pre-Set Stations: Learners rotate through a series of stations, each with a different task. Tasks may include history-taking, performing a physical examination, counseling a patient, interpreting diagnostic tests, or demonstrating technical procedures; Simulated Clinical Scenarios: Each station simulates a specific scenario, such as diagnosing a patient with chest pain, performing a neurological exam, or counseling a patient on smoking cessation; Checklists and Rubrics: Each station has an examiner (usually a clinician or educator) who observes the learner's performance and scores them based on a structured checklist. These checklists outline specific actions or steps the learner must perform to demonstrate competence; Immediate Feedback: In some OSCEs, particularly formative ones, learners receive immediate feedback after completing each station. This feedback helps them understand their strengths and areas for improvement.

Commonly Assessed Skills in Objective Structured Clinical Examination (OSCE):

- History-taking: Gathering relevant information from the patient about their symptoms and medical history.
- Physical examination: Performing appropriate clinical exams based on the patient's presenting symptoms.
- Diagnosis and treatment planning: Developing a differential diagnosis and formulating a management plan.
- Communication: Effectively explaining diagnoses, treatment options, and procedures to patients in an understandable and empathetic manner.

- Procedural skills: Demonstrating technical skills like suturing, inserting IVs, or performing CPR.
- Ethics and professionalism: Showing respect, empathy, and appropriate professional behavior during patient interactions.

Benefits of Objective Structured Clinical Examination (OSCE): Standardized Assessment: The structured format and standardized patients ensure that all learners are assessed in a consistent, objective way; Comprehensive Skill Evaluation: OSCEs assess not only knowledge but also practical, technical, and interpersonal skills, giving a holistic view of a learner's clinical competence; Realistic Scenarios: Simulating real-world clinical tasks helps prepare learners for actual clinical practice; Immediate Feedback and Reflection: In some OSCEs, learners receive immediate feedback, which promotes reflection and targeted learning.

Objective Structured Clinical Examination Commonly Used In: Medical education: OSCEs are often used in medical schools, residency programs, and for board certification exams; Nursing education: Nursing students are assessed on practical skills, such as patient care and clinical decision-making; Allied health professions: OSCEs are also used in other healthcare fields like dentistry, pharmacy, physiotherapy, and paramedicine.

Objective Structured Clinical Examination (OSCE) Strengths: Objectivity: The use of checklists and standardized patients ensures objective, unbiased assessment; Practical focus: The OSCE assesses the application of knowledge in real-life scenarios, ensuring learners are practice-ready; Flexible: OSCEs can be adapted to assess a wide variety of clinical skills across different disciplines; The Objective Structured Clinical Examination (OSCE) is a powerful tool in healthcare education, as it effectively evaluates not just what learners know, but how well they can apply their knowledge and skills in real-world clinical situations.

The Objectively Structured Practical Exam (OSPE) is an assessment tool similar to the OSCE but is primarily used in laboratory-based, practical, or pre-clinical subjects, particularly in medical, dental, pharmacy, and allied health education. While OSCE focuses on clinical skills in patient care, the OSPE is designed to evaluate technical and practical skills in a more controlled, often laboratory-like environment.

Key Features of Objective Structured Clinical Examination (OSPE):

- Multiple Stations: Like the OSCE, the OSPE consists of a series of timed stations (usually 5-15 stations). Each station is designed to test a specific skill or set of skills in a practical setting, such as identifying anatomical structures, performing a laboratory experiment, or interpreting medical data.
- Objective and Structured: Each station is highly structured with a clear set of tasks or problems that the learner must complete. A standardized checklist or rubric is used to ensure objective assessment, reducing subjectivity and bias.
- Hands-On Skills: The focus of the OSPE is on assessing practical, technical skills, often in a laboratory or simulated clinical setting. These skills could include: Specimen identification (e.g., identifying anatomical specimens or cells under a microscope); Measurement tasks (e.g., blood pressure, or spirometry); Instrument handling (e.g., proper use of a centrifuge or microscope); Data interpretation (e.g., analyzing lab results or physiological readings); Procedure demonstrations (e.g., suturing on a model, IV insertion on a mannequin).
- Non-Clinical Focus: Objective Structured Clinical Examination (OSPEs) are generally used for evaluating pre-clinical or non-patient care skills, such as laboratory techniques, anatomy, physiology, pharmacology, or biochemistry, in contrast to OSCEs, which focus more on patient interaction and clinical care.
- Rotation through Stations: Learners rotate through different stations, each focused on a specific task. Some stations may involve hands-on procedures, while others may require the

interpretation of data or answering questions about a practical task. Each station typically lasts around 5–10 minutes.

➢ Checklist-Based Evaluation: Examiners use a predefined checklist at each station to assess the learner's performance objectively. The checklist typically includes specific actions or outcomes that the learner must demonstrate to score points.

➢ No Patient Interaction: Unlike the OSCE, which often involves direct interaction with standardized patients or actors, the OSPE is more focused on technical and laboratory skills. However, some stations may include theoretical questions or decision-making based on practical tasks.

OSPE Format:

✓ Pre-Set Stations: Learners are presented with different tasks at each station. These tasks may include performing a laboratory technique, identifying anatomical features, or analyzing experimental data.

✓ Rotation: Learners rotate through the stations in a timed manner. The format allows for the assessment of a broad range of practical skills in a relatively short period.

✓ Assessment: At each station, the learner's performance is evaluated using a standardized checklist or rating scale. The assessment may include: Correctness of procedures; Accuracy of data interpretation; Proper use of instruments or equipment; Ability to identify anatomical structures or lab specimens; Time management and efficiency in completing the tasks.

✓ Immediate Feedback: While not always standard, some OSPEs may include formative feedback after completion, helping learners understand areas for improvement.

Domains Commonly Assessed in Objective Structured Clinical Examination (OSPE):

✓ Practical skills: Performing technical procedures in a lab environment (e.g., preparing slides, using diagnostic tools, dissection, etc.).

✓ Instrument handling: Proper and safe use of laboratory or clinical instruments (e.g., microscope, sphygmomanometer).

✓ Knowledge application: Applying theoretical knowledge to practical tasks, such as interpreting lab results or understanding physiological data.

✓ Problem-solving and decision-making: Ability to solve practical problems and make informed decisions during hands-on tasks.

✓ Time management: Completing tasks efficiently within the time allocated at each station.

Benefits of Objective Structured Clinical Examination (OSPE): Objective Assessment: The use of standardized checklists makes the assessment objective, reducing examiner bias; Wide Range of Skills: The OSPE can assess a broad range of technical and practical skills, from basic lab techniques to more complex decision-making tasks; Hands-On Focus: The exam emphasizes practical, hands-on experience, ensuring that learners are competent in technical procedures required for their field; Controlled Environment: The practical, non-clinical setting allows for a more controlled and focused assessment of technical skills; Fair and Standardized: Since all learners perform the same tasks under the same conditions, the OSPE ensures fairness and consistency in assessment.

Differences Between OSPE and OSCE: Focus: OSPE is focused on assessing technical and practical skills in pre-clinical settings, such as laboratories or simulation environments, while OSCE evaluates clinical skills such as patient interaction and communication; Setting: OSPE is typically conducted in labs or controlled environments without patient interaction, whereas OSCEs often involve real or standardized patients; Skills Assessed: OSPE assesses skills like instrument use, data interpretation, and technical procedures, while OSCE evaluates broader clinical skills like history-taking, diagnosis, and patient counseling.

Objective Structured Clinical Examination (OSPE) Commonly Used In: Medical education: Particularly in pre-clinical subjects like anatomy, physiology, biochemistry, and pharmacology; Nursing education: To assess nursing skills such as specimen collection, medication administration, or monitoring vital signs; Allied health education: For fields like dentistry, pharmacy, and laboratory sciences, where technical proficiency is critical; The OSPE is a versatile and valuable tool in healthcare education for assessing practical skills in a standardized, objective way, ensuring learners are well-prepared for their technical responsibilities in clinical practice.

Workplace-Based Assessment (WPBA) refers to a range of assessment methods used to evaluate a learner's performance and competence in the actual workplace or clinical environment. Unlike traditional exams, which assess knowledge in a theoretical setting, WPBA assesses how a learner applies their knowledge and skills in real-time practice, making it an important tool in competency-based education, especially in healthcare and other professional fields.

Key Features of Workplace-Based Assessment (WPBA):

- Real-World Setting: WPBA occurs in the workplace, meaning the learner is assessed during their routine duties or tasks in a clinical, laboratory, or professional environment. This allows for the evaluation of practical, hands-on skills.
- Continuous Assessment: WPBA is typically conducted over a period of time, allowing for the observation and assessment of a learner's performance across various tasks and situations. This provides a more comprehensive and realistic understanding of their abilities.
- Formative and Summative Use: WPBA can be used both for formative purposes (providing feedback to support development) and summative purposes (assessing overall competency for certification or advancement).
- Multisource Feedback: In WPBA, feedback may come from a variety of sources, including supervisors, peers, patients, and even the learners themselves (through self-assessment). This allows for a 360-degree view of the learner's performance.
- Competency-Based: WPBA is aligned with specific competencies required for professional practice. These competencies can include clinical reasoning, technical skills, communication, professionalism, and teamwork.
- Direct Observation: Learners are observed directly by supervisors or colleagues while performing their regular duties. The assessment is based on real-time observation rather than simulated tasks.

Common Workplace-Based Assessment (WPBA) Methods:

1. Mini-CEX (Mini Clinical Evaluation Exercise):
   - ✓ A short, structured observation of a clinical encounter between a learner and a patient.
   - ✓ Evaluates history-taking, physical examination, clinical reasoning, and communication.
   - ✓ Immediate feedback is provided to the learner.
2. DOPS (Direct Observation of Procedural Skills):
   - ✓ Focuses on the observation of the learner performing specific clinical procedures.
   - ✓ Assesses technical skills, patient safety, and procedural competence.
   - ✓ Feedback is given immediately after the procedure.
3. CBD (Case-Based Discussion):
   - ✓ An in-depth discussion between the learner and a supervisor about a real patient case.
   - ✓ Evaluates clinical reasoning, decision-making, and knowledge application.
   - ✓ Allows the learner to reflect on their thought process and learn from the feedback.
4. Multisource Feedback (MSF):
   - ✓ Also known as 360-degree feedback, it gathers assessments from multiple individuals who interact with the learner, including colleagues, patients, and supervisors.

✓ Evaluates teamwork, communication, professionalism, and interpersonal skills.

5. Portfolio:

✓ A collection of evidence gathered over time, including reflective writing, case logs, and documented feedback from supervisors.

✓ Allows for assessment of learning progress and personal development over a period.

6. Patient Satisfaction Surveys:

✓ Involves gathering feedback from patients regarding the learner's interaction, communication, and professionalism during consultations or procedures.

7. Entrustable Professional Activities (EPAs):

✓ Assesses whether a learner can be entrusted to perform specific professional tasks independently.

✓ Directly evaluates practical competence in real-world tasks.

Domains Assessed by WPBA:

✓ Clinical competence: Clinical reasoning, diagnosis, treatment planning, and procedural skills.

✓ Professionalism: Ethical behavior, responsibility, and respect for patients and colleagues.

✓ Communication skills: Interpersonal interactions with patients, families, and healthcare teams.

✓ Teamwork: Collaboration with peers and other healthcare professionals.

✓ Time management and organizational skills: Efficiently managing tasks and prioritizing patient care.

✓ Patient-centered care: Demonstrating empathy, respect, and understanding of patient needs and preferences.

Benefits of Workplace-Based Assessment (WPBA):

✓ Real-World Relevance: Since WPBA is conducted in actual workplace settings, it offers a more accurate assessment of a learner's readiness for professional practice than theoretical or simulation-based assessments.

✓ Holistic Assessment: WPBA evaluates a range of competencies, including clinical, interpersonal, and professional skills, providing a comprehensive view of the learner's abilities.

✓ Personalized Feedback: WPBA includes regular, personalized feedback that helps learners identify areas for improvement and track their progress over time.

✓ Encourages Reflection: Many WPBA methods, such as case-based discussions and portfolios, encourage self-assessment and reflection, helping learners develop critical thinking and lifelong learning skills.

✓ Supports Professional Development: By identifying strengths and weaknesses, WPBA helps learners create targeted learning plans to develop the skills they need for future practice.

✓ Flexible: WPBA can be adapted to different specialties, professional roles, and clinical settings, making it a versatile assessment method.

Challenges of Workplace-Based Assessment (WPBA):

➢ Consistency: Since WPBA is conducted in real-world settings, variability in patient cases, work environments, and assessors can affect the consistency of the assessment.

➢ Time-Intensive: Supervisors need to invest time in observing, assessing, and providing feedback, which can be a challenge in busy clinical settings.

➢ Subjectivity: Although WPBA uses structured checklists, there is still some subjectivity in the evaluation process, especially in areas like communication and professionalism.

Commonly Used In:

➢ Medical education: For assessing students, interns, and residents in clinical settings.

➢ Nursing education: To evaluate clinical competence and practical nursing skills.

- Allied health professions: Used in fields like physiotherapy, pharmacy, and radiography to assess professional skills.
- Other professional fields: WPBA is also used in professions such as law and education, where practical skills and professional behaviors are essential.

Workplace-Based Assessment (WPBA) is a powerful tool for evaluating learners' real-world performance in professional settings. By focusing on practical skills and providing continuous feedback, WPBA ensures that learners are competent and ready for independent practice, making it an essential part of competency-based education and professional development.

The flipped classroom is an instructional approach that reverses the traditional teaching model. In a flipped classroom, students first engage with new content outside of class, typically through video lectures, readings, or other digital resources, and then use class time for interactive, hands-on activities, problem-solving, or discussions with peers and instructors.

Key Features of the Flipped Classroom Model:

1. Pre-Class Learning:
   - Content Delivery: New material is introduced outside the classroom. This might involve watching pre-recorded video lectures, reading articles, reviewing case studies, or completing interactive online modules.
   - Self-Paced: Students can go through the material at their own pace, pausing and rewatching sections if needed, which accommodates different learning styles and speeds.
2. In-Class Application:
   - Active Learning: Classroom time is devoted to applying the knowledge gained through pre-class materials. Activities might include group discussions, problem-solving exercises, collaborative projects, debates, or lab work.
   - Instructor Facilitation: Instead of delivering a lecture, the teacher acts as a facilitator or coach, guiding students as they work through problems or engage in discussions, addressing misconceptions, and providing individualized support.
3. Student-Centered Learning:
   - ✓ The flipped classroom emphasizes active participation and engagement from students. Since they have already encountered the content outside of class, they are expected to come prepared to engage deeply with the material during class time.
   - ✓ This approach shifts the focus from passive learning (listening to a lecture) to active learning, where students take ownership of their learning process.

Benefits of the Flipped Classroom:

- Deeper Understanding: By using class time for interactive and problem-solving activities, students can develop a deeper understanding of the material through practice and discussion rather than just memorization.
- Increased Engagement: The flipped classroom model promotes active participation and interaction with peers and instructors, which can increase student engagement and motivation to learn.
- Personalized Learning: Instructors have more time during class to provide individualized help to students, addressing specific questions or challenges, and supporting students at different levels of understanding.
- Flexible Learning Pace: Since students can access pre-class materials at their own pace, those who need more time to grasp complex concepts can revisit the content, while faster learners can move ahead.
- Better Use of Class Time: Instead of spending valuable class time delivering content, instructors can focus on higher-order learning activities like applying, analyzing, and evaluating information.

- Improved Collaboration: In-class activities often involve collaboration and teamwork, helping students develop important communication and teamwork skills while learning from their peers.

Challenges of the Flipped Classroom:

- Preparation Time: Creating high-quality pre-class materials, such as video lectures or interactive resources, can be time-consuming for instructors.
- Student Accountability: Success in a flipped classroom relies on students coming to class prepared. If students don't engage with the pre-class materials, they may struggle during in-class activities.
- Access to Technology: Students need reliable access to technology (such as computers, internet access, or multimedia tools) to complete pre-class assignments, which can be a barrier for some learners.
- Adaptation: Both students and teachers may need time to adjust to the flipped model, especially if they are used to traditional lectures. Some students might prefer face-to-face lectures, and teachers need to be comfortable with facilitating active learning sessions.

Flipped Classroom in Healthcare and Professional Education:

In medical and professional education, the flipped classroom has gained popularity as a method for enhancing clinical training and hands-on learning:

- Pre-Class Work: Learners might review video lectures on clinical cases, medical procedures, or theoretical content before class.
- In-Class Application: Classroom time can then be dedicated to applying the material through case-based discussions, simulation exercises, or role-playing scenarios, helping learners practice decision-making and problem-solving in real-world contexts.

The flipped classroom is an innovative teaching model that shifts the focus from passive lecture-based learning to active, student-centered engagement. By delivering content outside of class and using class time for deeper application, the flipped classroom helps learners develop critical thinking, collaboration, and problem-solving skills while fostering a more personalized learning experience.

The flipped classroom is a modern, transformative learning strategy that integrates blended learning with digital or physical learning resources outside of the traditional classroom. Students receive pre-recorded lessons as preparatory assignments, shifting the focus from teacher-led learning to self-directed learning. Classroom activities focus on collaborative problem solving by having students work in small groups to analyze medical cases, encouraging a team approach and improving long-term knowledge retention. This method also encourages peer interaction and allows students to fill knowledge gaps while assessing individual differences and learning style strengths. Assigned tasks. Research shows that this approach outperforms traditional classrooms when it comes to increasing student awareness, critical thinking, learning outcomes, and motivation. Thanks to multimedia tools, students benefit from unlimited access to educational content, thus promoting interactive and independent learning. This model allows students to evaluate their progress, identify areas for improvement, and use constructive feedback from peers and instructors to ensure continuous improvement in their learning processes.

Peer-assisted learning (PAL) involves expanding knowledge and skills through mutual support from peers. This collaborative, non-professional approach to learning consists of a group of motivated individuals who support each other throughout the learning process. Participants, both teachers and students, usually have the same educational background. This method is implemented by selecting students who have adequate skills in teaching medical concepts. It promotes the development of skills that not only enhance learning but also contribute to medical practice. PAL is a broad framework that strengthens the link between practical

experience and a collaborative learning environment. Peer-assisted learning (PAL) benefits both the teacher and the student by improving their understanding and knowledge. Tutors gain benefits such as improved communication skills and a deeper understanding of the subject matter. The process of preparing lessons during tutoring and providing feedback to peers promotes the cognitive and non-cognitive development of tutors. Additionally, this approach has been shown to have a positive impact on student performance, leading to better exam results and overall success.

Social media acts as a hub for the digital web where users form online communities to engage in meaningful discussions. These communities play a vital role in sharing information, ideas, and a variety of content. Popular platforms such as Twitter, Facebook, YouTube, and blogs are just a few of the many options used for this purpose. In modern medicine, social media has become an integral part of professional communities, medical institutions, and support groups. As the need to advance education increases, integrating social media into modern educational systems is becoming essential. Social media platforms complement traditional teaching methods and support distance learning initiatives. Students and learners of all levels often turn to the Internet to learn about diseases, treatments, and physiological concepts. Additionally, organizations have realized the value of promoting blogs or live tweets during medical conferences, allowing content to reach a much wider audience than just those who attend in person. Advances in computer technology have had a major impact on medical education, especially through the electronic sharing of video content. The wide availability of online educational resources is essential for medical education. These tools support hands-on clinical skill acquisition, visual demonstration of anatomical dissections, and asynchronous learning through recorded lectures. Resources range from home study videos to professional content created by healthcare organizations and physicians, providing comprehensive content for personal and professional development.

A simulation is an artificial recreation of the real world that aims to achieve educational objectives through hands-on, experience-based learning. The basic idea of simulation-based learning (SBL) is to use simulated tools and scenarios to replicate authentic clinical situations. Although simulation is a relatively new phenomenon in medical education, it has long been used in other high-risk fields such as aviation. Medical simulation allows students to develop clinical skills through rigorous practice, a departure from traditional hands-on training. It offers an alternative to using real patients and real-time clinical scenarios, overcomes challenges such as limited access to clinical environments, and can be effectively integrated into pre-clinical training. One of the most important benefits is giving trainees the freedom to repeatedly make and correct mistakes without compromising patient safety. Virtual reality (VR) can further enhance SBL by improving learning outcomes and increasing confidence in patient care. A cutting-edge technological innovation, virtual reality bridges the gap between theoretical knowledge and practical application by immersing students in a realistic yet controlled environment. The level of complexity, realism and interactivity of virtual reality systems can vary greatly, allowing users to dynamically participate in simulated scenarios. For example, haptic feedback simulates resistance when handling tools, making the exercise more realistic. This technology is often used to train residents in laparoscopic and endoscopic procedures, helping them improve their skills in a safe, controlled environment.

Problem-based learning (PBL) is an innovative pedagogical approach that integrates various learning principles to solve a clinical problem. Its main objective is to improve the quality of educational outcomes through collaborative, independent, integrated, and in-depth learning. A key characteristic of PBL is the “problem-first” approach, in which students approach a problem without having received any prior formal training on the topic. PBL is typically taught in small groups where the teacher acts as a facilitator rather than a direct instructor. These

courses are divided into different phases, each focusing on a specific problem and including periods of independent study to research and gather information. This structure encourages students to actively participate in building a solid foundation for independent learning. In PBL, medical students develop their understanding and interpretation of information collaboratively through social interaction, replacing passive consumption of projected content. PBL is considered an effective method for developing advanced cognitive skills in a group setting. By working on clinical cases, students improve their ability to apply their knowledge and develop their diagnostic reasoning skills. This method not only improves clinical reasoning, but also promotes effective time management and long-term knowledge retention. These skills are essential to tomorrow's medical practice, especially in a field where continuing education is essential to keep pace with the rapid growth of medical information and technological advances.

Case-based learning (CBL) is an educational strategy that integrates clinical cases with traditional teaching methods to improve student engagement and understanding. By incorporating real-world scenarios, (CBL) eliminates the motivational gaps often found in lectures. Students receive comprehensive patient information, including medical history, symptoms, clinical findings, and laboratory results. Through collaboration and interaction with peers, learners assess the situation, develop a diagnostic approach, and recommend appropriate management plans. The primary purpose of Case-based learning (CBL) is to foster the critical thinking and analytical skills necessary for clinical practice. Case-based learning (CBL) bridges the gap between theoretical knowledge and practical application through inquiry-based learning methods. Students work in small groups and solve clinical situations that mimic real-world medical situations. These teams work together to analyze the case, develop differential diagnoses, define treatment strategies, and consider next steps. Case-based learning (CBL) is particularly effective in addressing in-depth topics with clearly defined learning objectives and promotes improved clinical knowledge, teamwork, practical skills and evidence-based decision making.

Evidence-based medicine (EBM) teaches students the fundamental skills of interpreting, analyzing, and evaluating medical research. It involves five main steps: a) transforming uncertain information into a specific, researchable question, b) identifying the most relevant evidence, c) thoroughly evaluating the evidence for accuracy and reliability, d) integrating the results into clinical practice, and e) evaluating the results for effectiveness. Evidence-based medicine (EBM) promotes continuous learning and systematic thinking, which enables the careful application of the latest medical knowledge to patient care decisions. Although Evidence-based medicine (EBM) is opposed to balancing experiential objectivity and subjective experience, its early incorporation into medical education has significantly changed the cognitive approach of medical graduates. These students acquire better analytical and decision-making skills, leading to greater competence. Integrating EBM into traditional medical education improves research acumen, practical application, perspective, and long-term use of evidence-based strategies. Compared to blending (EBM) with traditional methods, modern approaches to education adopt a more comprehensive model that encourages creativity and adaptability. This shift encourages advanced critical thinking and reasoning, and contributes to a better understanding of disease mechanisms and patient care.

Bedside teaching is a traditional educational approach commonly used in medical and healthcare training. It involves direct teaching and learning that occurs at the patient's bedside, allowing students or trainees to engage with real patients and clinical scenarios in a practical environment. This method emphasizes experiential learning, patient interaction, and the application of theoretical knowledge in real-world situations.

Key Features of Bedside Teaching:

➢ Real-World Context: Bedside teaching takes place in clinical settings, such as hospitals or clinics, where learners interact with patients and healthcare professionals. This real-world context enhances the relevance of the education.
➢ Patient-Centered Learning: The method focuses on actual patient cases, allowing students to observe, assess, and discuss the patient's condition, diagnosis, and treatment options. This patient-centered approach promotes empathy and understanding of patient needs.
➢ Interactive Learning: Bedside teaching encourages active participation from learners. They may be involved in taking patient histories, performing physical examinations, discussing clinical findings, and formulating management plans in collaboration with supervisors.
➢ Direct Observation: Instructors or experienced clinicians observe and guide students during their interactions with patients, providing immediate feedback on clinical skills, communication, and professionalism.
➢ Integration of Theory and Practice: Learners can connect theoretical knowledge with clinical practice by discussing the rationale behind diagnoses and treatment plans while engaging with real patients.

Benefits of Bedside Teaching:

➢ Enhanced Clinical Skills: Direct interaction with patients helps learners develop essential clinical skills, such as history-taking, physical examination, and diagnostic reasoning.
➢ Improved Patient Communication: Engaging with patients in real-time helps students practice and refine their communication skills, building rapport and empathy.
➢ Immediate Feedback: Instructors can provide real-time feedback on students' performance, allowing for immediate reflection and improvement in clinical practice.
➢ Holistic Understanding: Learners gain a better understanding of patient care by seeing the entire patient experience, including diagnosis, treatment, and emotional aspects.
➢ Development of Critical Thinking: Engaging with complex cases fosters critical thinking and decision-making skills, as students must analyze and evaluate information in a dynamic environment.

Challenges of Bedside Teaching:

✓ Time Constraints: Clinical environments can be busy, making it challenging to find adequate time for teaching without interrupting patient care.
✓ Variability in Learning Opportunities: The availability of interesting cases or diverse patients may vary, impacting the learning experience. Not all patients may present typical or educational cases.
✓ Potential for Patient Anxiety: Some patients may feel uncomfortable with medical students or trainees present during their care, which can affect the teaching experience.
✓ Need for Skilled Instructors: Effective bedside teaching requires instructors who are skilled in both clinical practice and teaching methodologies. Not all clinicians may have training in educational techniques.
✓ Assessment Difficulties: Evaluating student performance during bedside teaching can be subjective and challenging to standardize.

Best Practices for Effective Bedside Teaching:

➢ Preparation: Instructors should prepare before bedside teaching sessions by reviewing relevant patient cases, understanding the clinical background, and identifying key teaching points.
➢ Patient Consent: Always ensure that patients are comfortable with having learners present during their care and obtain their consent.
➢ Engagement: Encourage active participation from learners by asking questions and fostering discussions about clinical findings and management plans.

- Feedback: Provide immediate and constructive feedback to help learners improve their skills and understanding.
- Reflective Practice: Encourage learners to reflect on their experiences after the bedside teaching sessions to reinforce learning and promote self-assessment.

Bedside teaching is a valuable method in medical and healthcare education, providing learners with the opportunity to apply their knowledge and develop essential clinical skills in a real-world context. By emphasizing patient interaction, active learning, and immediate feedback, bedside teaching fosters a deeper understanding of patient care and prepares students for their future roles as healthcare professionals.

Education is an ongoing process and it is important to recognize that students have different approaches to learning. Several innovative learning strategies in medical education include case-based learning (CBL), evidence-based medicine (EBM), problem-based learning (PBL), simulation-based learning (SBL), digital education, peer-assisted learning (PAL). Experiential learning, flipped classrooms and collaborative learning. These non-traditional, student-centered learning methods expand students' perspectives through innovative methods of meaningful knowledge development while enhancing professional competencies through the development of skills, experiences, and leadership in the medical field. Thus, medical education must remain adaptable to effectively and appropriately integrate and apply interdisciplinary educational strategies from the core preclinical stages.

The adoption of modern teaching and learning methods in medical education has emerged as a key focus for higher education institutions globally. These methods aim to address the increasing complexity of healthcare systems, advances in medical science, and the need for well-rounded healthcare professionals capable of meeting diverse patient needs. The integration of innovative educational strategies, such as problem-based learning (PBL), simulation-based training, and digital learning platforms, reflects a paradigm shift from traditional rote learning to a more dynamic, learner-centered approach.

One of the critical aspects of this transformation is the emphasis on active learning. Methods like flipped classrooms and case-based discussions encourage students to engage deeply with the material, promoting critical thinking and application of knowledge in real-world scenarios. Similarly, simulation-based training has proven invaluable for honing clinical skills in a controlled, risk-free environment, ensuring students are better prepared for real-life challenges.

Technology also plays a pivotal role in modernizing medical education. Virtual reality (VR), augmented reality (AR), and artificial intelligence (AI) are being used to enhance visualization, diagnosis training, and personalized learning pathways. These tools provide students with immersive experiences and instant feedback, fostering a deeper understanding of complex concepts.

Moreover, the global shift toward competency-based education reflects a commitment to outcome-driven learning. This approach prioritizes the development of specific skills and competencies essential for healthcare practice, moving beyond time-based training to focus on mastery and proficiency. Collaborative learning, interdisciplinary education, and integration of soft skills like communication, empathy, and teamwork further enrich the learning process.

However, the implementation of these modern methods is not without challenges. Variations in institutional resources, faculty training, and technological infrastructure can create disparities in the quality of education offered. Additionally, balancing traditional foundational knowledge with innovative methods requires careful curriculum design and ongoing evaluation to ensure educational effectiveness. The Execution of modern teaching and learning strategies in medical education is a global necessity driven by the evolving demands of healthcare. These methods not only enhance knowledge acquisition but also prepare students to become adaptive,

competent, and compassionate medical professionals. The ongoing refinement of these approaches will be crucial in meeting the future needs of healthcare systems worldwide.

The second major finding of this comprehensive analysis demonstrates that artificial intelligence, digital pedagogy, immersive learning technologies, learning analytics, and advanced educational informatics have become transformative forces within contemporary higher medical education. These technological innovations extend far beyond simple digitization of traditional instructional methods. Instead, they have introduced fundamentally new approaches to curriculum delivery, learner engagement, competency assessment, clinical reasoning development, and institutional decision-making. The convergence of educational sciences, computer science, health informatics, cognitive psychology, and biomedical engineering has created intelligent educational ecosystems capable of supporting personalized, adaptive, evidence-informed, and continuously evolving learning environments.

Artificial intelligence has emerged as one of the most influential technologies affecting teaching and learning sciences. Unlike earlier educational technologies that primarily delivered static digital content, contemporary AI systems actively analyze learner performance, identify educational needs, predict academic progression, personalize instructional materials, and provide immediate feedback. These intelligent capabilities have significantly altered educational philosophies by shifting emphasis from standardized instruction toward individualized learning experiences that accommodate diverse learner characteristics, competencies, motivations, and professional goals.

The analysis demonstrates that adaptive learning systems consistently improve learner engagement, knowledge retention, and competency acquisition when compared with uniform instructional approaches. AI-powered educational platforms continuously evaluate student interactions, assessment results, response times, learning behaviors, and patterns of conceptual misunderstanding. Based on these analyses, educational content is dynamically modified to address individual learning requirements while maintaining appropriate cognitive challenge. Such personalized educational pathways reduce unnecessary repetition for advanced learners while providing additional support for students experiencing academic difficulties.

An important finding concerns the ability of artificial intelligence to facilitate precision education. Similar to precision medicine, precision education recognizes that learners possess unique cognitive characteristics, educational backgrounds, motivational profiles, learning preferences, and developmental trajectories. Artificial intelligence enables educational systems to accommodate these individual differences through continuous adaptation of learning materials, assessment difficulty, instructional sequencing, and feedback mechanisms. This individualized approach promotes educational efficiency while reducing learner frustration and cognitive overload.

Learning analytics further strengthens evidence-based educational management by transforming large volumes of educational data into actionable information. Modern medical schools generate extensive digital records describing student attendance, online engagement, assessment performance, simulation activities, clinical evaluations, portfolio development, and collaborative learning behaviors. Advanced analytical algorithms identify patterns associated with academic success, learner disengagement, competency progression, and educational risk. Consequently, institutions can implement timely educational interventions before academic difficulties become irreversible.

Predictive analytics has become particularly valuable for supporting learner success. Statistical models and machine learning algorithms identify students who may require additional academic support based upon longitudinal performance indicators, learning behaviors, and assessment outcomes. Early identification enables faculty members to provide targeted mentoring, individualized coaching, remediation, and psychological support. Such proactive

educational strategies improve learner retention, reduce academic failure, and promote equitable educational opportunities.

The present analysis also demonstrates that artificial intelligence substantially enhances educational assessment. Conventional examinations frequently provide delayed feedback while evaluating only limited dimensions of learner performance. AI-assisted assessment systems can analyze written assignments, clinical documentation, simulation performance, diagnostic reasoning pathways, communication patterns, and reflective portfolios with greater efficiency and consistency. Immediate formative feedback allows learners to recognize knowledge gaps and implement corrective strategies without prolonged delays.

Nevertheless, the findings indicate that artificial intelligence should complement rather than replace expert human judgment. Complex competencies such as empathy, professionalism, ethical reasoning, leadership, cultural sensitivity, and interpersonal communication remain dependent upon experienced educators capable of contextual interpretation and individualized mentorship. The most effective educational systems therefore combine computational efficiency with human expertise, preserving the central role of faculty members while utilizing AI to enhance educational quality and administrative effectiveness.

Generative artificial intelligence represents one of the most rapidly evolving developments in higher education. Large language models have introduced unprecedented opportunities for scientific writing support, literature summarization, clinical scenario generation, self-directed learning, examination preparation, and educational resource development. Medical students increasingly employ generative AI to explore biomedical concepts, organize scientific information, and practice clinical reasoning. Faculty members similarly utilize these technologies to create instructional materials, develop simulation cases, generate assessment questions, and support curriculum design.

Despite these educational advantages, the analysis identifies significant ethical and professional considerations associated with generative artificial intelligence. Academic integrity remains a major concern, as unrestricted reliance upon AI-generated content may undermine independent critical thinking, scientific writing skills, and authentic competency development. Institutions therefore require comprehensive governance frameworks addressing transparency, authorship, responsible AI use, plagiarism prevention, data security, and professional accountability. AI literacy should become an essential graduate competency, enabling future healthcare professionals to critically evaluate algorithmic outputs while maintaining independent clinical judgment.

Algorithmic bias represents another important challenge identified throughout the literature. Artificial intelligence systems learn from existing datasets that may inadequately represent diverse populations, healthcare environments, or socioeconomic contexts. Consequently, algorithmic recommendations may inadvertently reinforce healthcare disparities or educational inequities if implemented without careful evaluation. Educational institutions therefore bear responsibility for ensuring fairness, inclusivity, transparency, and continuous validation of AI-supported educational technologies.

Digital pedagogy has evolved simultaneously with artificial intelligence, fundamentally transforming instructional design throughout global higher medical education. The findings indicate that effective digital pedagogy extends beyond technological implementation by integrating educational psychology, instructional design principles, multimedia learning theory, cognitive load management, collaborative learning strategies, and continuous assessment. Institutions achieving the greatest educational success consistently emphasize pedagogy before technology, ensuring that digital tools support clearly defined educational objectives rather than functioning as independent innovations.

Blended learning has become the dominant instructional model identified across contemporary medical education. Rather than replacing face-to-face instruction, blended education strategically combines online theoretical learning with classroom interaction, laboratory experiences, simulation exercises, and supervised clinical practice. This hybrid approach maximizes educational flexibility while preserving authentic clinical experiences essential for professional competence. Students benefit from asynchronous access to educational resources while maintaining meaningful interaction with faculty members, peers, and patients.

The flipped classroom has emerged as one of the most effective digital pedagogical strategies. Learners independently review foundational educational materials before classroom sessions devoted to clinical reasoning, collaborative problem-solving, simulation, and case discussions. This instructional model transforms classroom time from passive information delivery toward active knowledge application. The present analysis demonstrates that flipped classrooms consistently improve learner engagement, conceptual understanding, critical thinking, and academic performance when supported by carefully designed instructional resources.

Microlearning constitutes another significant educational innovation facilitated by digital technologies. Educational content is divided into concise instructional units focusing upon clearly defined learning objectives. Short videos, interactive modules, podcasts, infographics, and mobile applications facilitate repeated retrieval practice while accommodating the demanding schedules of healthcare students and professionals. Cognitive science supports this approach by demonstrating that distributed learning enhances long-term knowledge retention more effectively than prolonged instructional sessions.

Mobile learning technologies have substantially increased educational accessibility. Smartphones, tablets, wearable devices, and cloud-based platforms enable learners to access scientific literature, clinical guidelines, pharmacological databases, anatomy resources, diagnostic algorithms, and educational applications regardless of geographical location. Point-of-care learning allows healthcare students to integrate theoretical knowledge directly into clinical practice, strengthening contextual understanding and evidence-based decision-making.

The findings further indicate that collaborative digital environments significantly strengthen learner engagement. Online discussion forums, virtual seminars, collaborative document editing, international learning communities, and cloud-based research platforms facilitate interdisciplinary communication while promoting global educational collaboration. Digital communication technologies enable learners from diverse cultural and geographical backgrounds to exchange scientific perspectives, clinical experiences, and educational innovations, thereby enriching professional development and cultural competence.

Immersive learning technologies have emerged as another major determinant of educational transformation. Virtual reality, augmented reality, mixed reality, extended reality, haptic simulation, three-dimensional anatomical visualization, and digital patient models collectively provide educational experiences that closely approximate authentic clinical environments. These technologies bridge the traditional gap between theoretical instruction and practical application while supporting repeated skill development within psychologically safe settings.

The scientific evidence consistently demonstrates that simulation-based education enhances procedural competence, diagnostic reasoning, communication skills, teamwork, and patient safety. High-fidelity simulation allows learners to manage rare, high-risk clinical situations that may be encountered infrequently during conventional clinical placements. Emergency medicine, intensive care, trauma management, anesthesia, obstetrics, surgery, pediatrics, and cardiopulmonary resuscitation particularly benefit from simulation-based educational approaches because repeated practice improves both technical proficiency and decision-making under pressure.

Deliberate practice remains one of the principal mechanisms explaining the effectiveness of simulation-based education. Students repeatedly perform clinical procedures while receiving immediate expert feedback regarding technical accuracy, communication, leadership, and clinical reasoning. Structured debriefing sessions encourage reflection, error recognition, cognitive restructuring, and performance improvement. This continuous cycle of practice, feedback, and reflection accelerates competency development while reducing the likelihood of patient harm during subsequent clinical practice.

Virtual patients represent another rapidly expanding educational innovation. AI-supported virtual patient platforms generate realistic clinical encounters involving history taking, physical examination, diagnostic investigation, therapeutic planning, and patient counseling. Unlike standardized paper cases, virtual patients respond dynamically to learner decisions, creating individualized educational experiences that strengthen diagnostic reasoning and clinical judgment.

The present findings indicate that immersive technologies are particularly effective for anatomy education. Three-dimensional visualization allows learners to manipulate anatomical structures, examine spatial relationships, and observe physiological processes from multiple perspectives. Such interactive educational experiences significantly improve spatial cognition, conceptual understanding, and long-term retention compared with conventional two-dimensional educational materials.

Clinical decision-making remains a central outcome influenced by these technological innovations. Artificial intelligence, simulation, virtual patients, and digital decision-support systems expose learners to diverse diagnostic scenarios while encouraging evidence-based reasoning. Students learn to integrate patient histories, laboratory findings, imaging results, pharmacological knowledge, epidemiological evidence, and ethical considerations into coherent clinical judgments. Repeated exposure to increasingly complex cases facilitates progression from novice analytical reasoning toward adaptive clinical expertise.

Importantly, the discussion indicates that technology should support rather than replace clinical reasoning. Overdependence upon algorithmic recommendations may reduce independent judgment, diagnostic flexibility, and professional accountability. Educational programs must therefore balance technological assistance with rigorous training in critical thinking, scientific skepticism, reflective practice, and evidence-based medicine. Graduates should possess the ability to evaluate AI-generated recommendations critically while maintaining ultimate responsibility for clinical decisions.

The analysis further demonstrates that digital assessment has undergone remarkable evolution. Online examinations, adaptive testing, simulation-based evaluation, digital portfolios, competency dashboards, and automated performance analytics provide educators with comprehensive information regarding learner progression. Continuous digital assessment facilitates longitudinal monitoring of competency development while reducing administrative workload and improving educational responsiveness.

Faculty members also benefit substantially from technological innovation. Learning analytics provide detailed information regarding curriculum effectiveness, learner engagement, instructional quality, and assessment outcomes. Educators can identify challenging curriculum areas, evaluate instructional interventions, and continuously refine educational strategies based upon objective evidence. Consequently, educational decision-making increasingly reflects scientific data rather than subjective observation alone.

Despite these substantial advantages, several implementation challenges remain. Financial investment, technological infrastructure, faculty training, cybersecurity, digital literacy, equitable access, interoperability, regulatory compliance, and long-term sustainability continue to influence successful technology adoption. Institutions with limited financial resources may

experience substantial barriers to implementing advanced simulation systems, immersive technologies, and artificial intelligence platforms. Consequently, international collaboration, shared educational resources, and scalable digital solutions remain essential for reducing global educational disparities.

The present findings indicate that artificial intelligence, digital pedagogy, immersive learning technologies, learning analytics, and intelligent educational systems have fundamentally reshaped contemporary teaching and learning sciences. These innovations enhance educational personalization, competency assessment, learner engagement, clinical reasoning, and institutional quality improvement while simultaneously introducing important ethical, professional, and organizational considerations. The most successful educational environments are those that integrate technological innovation with educational theory, human mentorship, scientific rigor, ethical responsibility, and patient-centered professional values.

The manifestation of modern teaching and learning methods in higher education institutions, particularly in medical educational study programs, reflects a global trend toward enhancing the quality of medical education. By embracing student-centered approaches, integrating technology, and emphasizing competency-based education, medical faculties (medical schools) can better prepare future healthcare professionals for the complexities of modern healthcare delivery. However, overcoming challenges related to resistance to change, resource constraints, and assessment validity is crucial for the successful implementation of these innovative teaching methodologies.

The global landscape of medical education is undergoing transformative changes through the adoption of modern teaching and learning methodologies. These innovations, ranging from technology-enhanced learning tools to competency-based education and interdisciplinary approaches, are reshaping how future medical professionals are trained. The integration of evidence-based teaching strategies ensures that students not only acquire theoretical knowledge but also develop critical thinking, problem-solving, and clinical skills essential for addressing complex healthcare challenges.

This discussion underscores the importance of aligning teaching methods with contemporary medical practices, leveraging global best practices, and fostering adaptive learning environments. Collaboration among higher education institutions worldwide is vital to share insights, refine pedagogical approaches, and ensure the equitable delivery of high-quality education across diverse contexts.

As the medical education field continues to evolve, the emphasis must remain on nurturing professionals who are ethically grounded, culturally competent, and capable of leading healthcare advancements in a rapidly changing world. By embracing these modern methodologies, medical education institutions can cultivate a future-ready workforce, bridging the gap between academic preparation and practical excellence in the global healthcare arena.

Conclusion

- The evolution of teaching and learning sciences in global higher medical education represents one of the most significant paradigm shifts in the history of healthcare education. This comprehensive analysis demonstrates that contemporary medical education has moved beyond traditional knowledge-centered instruction toward integrated, competency-based, learner-centered, technology-enhanced, and evidence-informed educational systems designed to prepare healthcare professionals for increasingly complex clinical and societal challenges. The convergence of competency-based education, artificial intelligence, digital pedagogy, immersive learning technologies, advanced clinical decision-making, educational leadership, and sustainable academic transformation has fundamentally redefined the scientific foundations of medical teaching and learning.

- The findings indicate that competency-based education has become the cornerstone of modern curriculum design by emphasizing measurable professional performance, continuous competency development, workplace-based assessment, reflective practice, and individualized learning pathways. This educational philosophy strengthens the alignment between academic preparation and healthcare workforce needs while fostering lifelong learning, professional accountability, ethical practice, and patient-centered care. At the same time, active learning methodologies—including problem-based, case-based, team-based, experiential, and simulation-based learning—have demonstrated superior effectiveness in promoting critical thinking, clinical reasoning, communication, collaboration, and adaptive expertise when compared with traditional passive instructional models.
- Artificial intelligence has emerged as a transformative force capable of personalizing learning, enhancing assessment, supporting educational analytics, improving curriculum management, and facilitating evidence-informed educational decision-making. Nevertheless, the responsible integration of AI requires robust ethical governance, transparency, data security, algorithmic fairness, and preservation of independent human judgment. Future healthcare professionals must therefore develop AI literacy that enables them to critically evaluate algorithmic recommendations while maintaining scientific reasoning, professional responsibility, and compassionate patient care.
- Digital pedagogy and immersive learning technologies have significantly expanded educational accessibility, flexibility, and experiential learning opportunities. Virtual reality, augmented reality, mixed reality, high-fidelity simulation, virtual patients, adaptive learning platforms, and mobile educational technologies provide realistic, safe, and repeatable environments that enhance procedural competence, diagnostic reasoning, teamwork, and learner confidence. These innovations support continuous competency development while improving educational resilience and institutional adaptability in rapidly changing healthcare environments.
- Educational leadership has been identified as a critical determinant of successful academic transformation. Visionary leadership, faculty development, evidence-based governance, quality assurance, collaborative institutional culture, and strategic investment in educational innovation are essential for sustaining meaningful curricular reform. Likewise, interprofessional education, global academic collaboration, educational scholarship, and continuous quality improvement strengthen institutional capacity while preparing graduates to function effectively within increasingly integrated and multidisciplinary healthcare systems.
- The analysis further emphasizes that sustainable academic transformation extends beyond technological innovation to encompass equity, inclusivity, learner well-being, environmental responsibility, social accountability, institutional resilience, and lifelong professional development. Future medical education must balance scientific advancement with humanistic values, ensuring that technological progress complements rather than diminishes empathy, professionalism, ethical integrity, cultural competence, and patient-centered healthcare.
- Overall, the scientific evidence demonstrates that the future of higher medical education depends upon the successful integration of educational sciences, clinical sciences, digital technologies, artificial intelligence, cognitive psychology, leadership, and systems thinking into cohesive educational ecosystems that remain adaptable to evolving healthcare needs. Institutions that embrace evidence-based innovation while preserving the core values of medicine will be best positioned to educate highly competent, ethically responsible, technologically proficient, and globally responsive healthcare professionals capable of improving patient outcomes, advancing healthcare quality, and contributing to sustainable health systems worldwide. Continuous research, interdisciplinary collaboration, responsible

technological implementation, and commitment to educational excellence will remain essential for shaping the next generation of medical education and ensuring that future healthcare professionals are equipped to address the scientific, clinical, technological, and societal challenges of the twenty-first century.

Recommendations

- Higher medical education institutions should continue implementing competency-based educational frameworks that integrate scientific knowledge, clinical skills, professional behavior, ethical reasoning, communication, leadership, and lifelong learning into cohesive curricula aligned with contemporary healthcare needs.
- Medical schools and health sciences faculties should strengthen learner-centered educational models by expanding active learning strategies, including problem-based learning, case-based instruction, team-based learning, experiential education, reflective practice, and workplace-based learning to improve clinical competence and critical thinking.
- Artificial intelligence should be incorporated responsibly into teaching, learning, assessment, and curriculum management while maintaining rigorous ethical oversight, transparency, data security, algorithmic fairness, and preservation of independent clinical judgment. AI literacy should become a core competency for all future healthcare professionals.
- Educational institutions should continue investing in digital pedagogy by developing high-quality blended learning environments that combine online instruction with face-to-face clinical education, ensuring flexibility without compromising educational quality or patient-centered professional development.
- Simulation-based education, virtual reality, augmented reality, mixed reality, virtual patients, and other immersive learning technologies should be expanded to provide standardized, safe, and realistic opportunities for repeated clinical practice, procedural training, emergency preparedness, and interprofessional collaboration before direct patient care.
- Curricula should place greater emphasis on developing advanced clinical reasoning, evidence-based medicine, diagnostic decision-making, critical appraisal of scientific literature, cognitive debiasing strategies, and precision healthcare competencies that prepare graduates for increasingly complex clinical environments.
- Faculty development should remain a strategic institutional priority through continuous training in competency-based education, digital teaching methodologies, educational technologies, artificial intelligence, simulation facilitation, learner assessment, educational research, mentoring, and academic leadership.
- Educational assessment systems should transition toward comprehensive programmatic assessment models that integrate formative feedback, workplace-based assessment, objective structured clinical examinations, competency milestones, Entrustable Professional Activities, digital portfolios, multisource feedback, and longitudinal competency monitoring.
- Medical education should further strengthen interprofessional education by creating collaborative learning experiences involving medicine, pharmacy, nursing, dentistry, public health, rehabilitation sciences, and other health professions to improve teamwork, communication, and patient-centered healthcare delivery.
- Healthcare education institutions should establish robust learning analytics systems that support evidence-informed educational decision-making, identify learners requiring additional support, optimize curriculum design, and facilitate continuous quality improvement while protecting learner privacy and confidentiality.
- Institutional leadership should promote cultures of innovation, collaboration, inclusivity, accountability, and educational scholarship that encourage continuous curriculum

evaluation, evidence-based educational reform, interdisciplinary cooperation, and sustainable organizational development.

- Greater international collaboration should be encouraged through global research partnerships, faculty exchange programs, student mobility initiatives, collaborative curriculum development, shared educational resources, and harmonization of competency standards while respecting regional healthcare priorities and cultural diversity.
- Medical schools should prioritize learner well-being by implementing comprehensive wellness initiatives, mentorship programs, psychological support services, resilience training, flexible learning pathways, and supportive educational environments that reduce burnout and promote long-term professional sustainability.
- Educational institutions should ensure equitable access to digital technologies, simulation resources, artificial intelligence applications, and online educational platforms by addressing disparities in technological infrastructure, digital literacy, financial resources, and institutional capacity across different regions.
- Future educational research should investigate the long-term impact of artificial intelligence, immersive technologies, adaptive learning systems, competency-based assessment, learning analytics, and precision education on graduate competence, patient safety, healthcare quality, and population health outcomes.
- Medical curricula should increasingly integrate sustainability principles, planetary health, environmental stewardship, health equity, social accountability, global health, and climate-responsive healthcare practices to prepare future healthcare professionals for emerging public health and environmental challenges.
- Continuous quality assurance processes should be strengthened through systematic curriculum evaluation, stakeholder engagement, graduate outcome assessment, accreditation compliance, educational benchmarking, and implementation of evidence-based improvement strategies.
- The higher medical education should continue evolving through the integration of scientific innovation, educational excellence, ethical professionalism, technological advancement, and humanistic values to develop competent, compassionate, adaptable, and globally responsive healthcare professionals capable of meeting the present and future needs of patients, healthcare systems, and society.

References

1. Frenk, Julio, Lincoln Chen, Zulfiqar A. Bhutta, Jordan Cohen, Nigel Crisp, Timothy Evans, Harvey Fineberg, Patricia Garcia, et al. "Health Professionals for a New Century: Transforming Education to Strengthen Health Systems in an Interdependent World." *The Lancet* 376, no. 9756 (2010): 1923-1958.
2. Cook, David A., and David M. Dupras. "A Practical Guide to Developing Effective Web-Based Learning." *Journal of General Internal Medicine* 19, no. 6 (2004): 698-707.
3. Ellaway, Rachel H., and Ken E. Masters. "AMEE Guide 32: E-Learning in Medical Education Part 1: Learning, Teaching and Assessment." *Medical Teacher* 30, no. 5 (2008): 455-473.
4. Gormley, Gerard J., Michael Collins, Deirdre Boohan, Seamus Bickle, and Hugh Stevenson. "Is There a Place for E-Learning in Clinical Skills? A Survey of Undergraduate Medical Students' Experiences and Attitudes." *Medical Teacher* 31, no. 1 (2009): e6-e12.
5. Sulashvili N. Peculiarities of Professional and Career Improvement Strategy for Pharmacists Republic of Armenia Ministry of Education and Science; Yerevan State Medical University after M. Heratsi; Abstract of the Dissertation for the Scientific of PhD in Pharmaceutical Sciences; on Specialty 15.00.01 – Pharmacy; the Specialized Council 026 “Theoretical Medicine” of the

Supreme Certifying Committee of the Republic of Armenia at the Yerevan State Medical University. Yerevan–2019. – PP. 1–26.
6. Harden, Ronald M. "AMEE Guide No. 21: Curriculum Mapping: A Tool for Transparent and Authentic Teaching and Learning." *Medical Teacher* 23, no. 2 (2011): 123-137.
7. Kaufman, David M. "Applying Educational Theory in Practice." *BMJ* 326, no. 7382 (2003): 213-216.
8. Mann, Karen V. "Theoretical Perspectives in Medical Education: Past Experience and Future Possibilities." *Medical Education* 45, no. 1 (2012): 60-68.
9. Norman, Geoffrey. "Problem-Based Learning Makes a Difference. But Why?" *CMAJ* 178, no. 1 (2008): 61-62.
10. Prideaux, David. "ABC of Learning and Teaching in Medicine: Curriculum Design." *BMJ* 326, no. 7383 (2013): 268-270.
11. Reeves, Scott, Merrick Zwarenstein, Joy Goldman, David Barr, Doris Freeth, Martin Hammick, and Ivan Koppel. "The Effectiveness of Interprofessional Education: Key Findings from a New Systematic Review." *Journal of Interprofessional Care* 24, no. 3 (2010): 230-241.
12. Schmidt, Henk G., and Henny P. M. Moust. "What Makes a Tutor Effective? A Structural-Equations Modeling Approach to Learning in Problem-Based Curricula." *Academic Medicine* 70, no. 8 (2009): 708-714.
13. Swanwick, Tim, ed. *Understanding Medical Education: Evidence, Theory, and Practice*. 2nd ed. Wiley-Blackwell, 2014.
14. Taylor, David C. M., and Hossam Hamdy. "Adult Learning Theories: Implications for Learning and Teaching in Medical Education: AMEE Guide No. 83." *Medical Teacher* 35, no. 11 (2013): e1561-e1572.
15. Kumar, S., and S. Srinivasan. "Modern Techniques of Teaching and Learning in Medical Education." *Journal of Education and Health Sciences* 10, no. 2 (2023): 123-135.
16. Smith, J. A., and L. M. Brown. "Innovative Teaching Methods in Health Professions Education." *MGH Institute of Health Professions*, July 15, 2023.
17. Patel, R., and A. Gupta. "A Review on Modern Teaching and Learning Techniques in Medical Education." *Journal of Educational Technology and Management* 5, no. 1 (2022): 45-58.
18. Johnson, D. W., and R. T. Johnson. "Current and Emerging Medical Education Teaching Methods: Keeping Up with the Evolving Medical Sciences." *ResearchGate*, August 2021.
19. Korre, Danai, and Andrew Sherlock. "Augmented Reality in Higher Education: A Case Study in Medical Education." *arXiv preprint arXiv:2308.16248* (2023).
20. Cutrer, William B., Bonnie Miller, Martin V. Pusic, George Mejicano, and Rajesh S. Mangrulkar. "Fostering the Development of Master Adaptive Learners: A Conceptual Model to Guide Skill Acquisition in Medical Education." *Academic Medicine* 92, no. 1 (2017): 70-75.
21. Deiorio, Nicole M., Patricia A. Carney, Leslie E. Kahl, Erin M. Bonura, and Amy Miller Juve. "Coaching: A New Model for Academic and Career Achievement." *Medical Education Online* 21, no. 1 (2016): 33480.
22. Triola, Marc M., and Jesse Burk-Rafel. "Precision Medical Education." *Academic Medicine* 98, no. 7 (2023): 945-950.
23. Van Melle, Elaine, Jason R. Frank, Eric S. Holmboe, Damon Dagnone, and Denise Stockley. "A Core Components Framework for Evaluating Implementation of Competency-Based Medical Education Programs." *Academic Medicine* 94, no. 7 (2019): 1000-1007.
24. Regan, Linda, Laura R. Hopson, Michael A. Gisondi, and Jeremy Branzetti. "Learning to Learn: A Qualitative Study to Uncover Strategies Used by Master Adaptive Learners in the Planning of Learning." *Medical Teacher* 41, no. 11 (2019): 1252-1260.
25. Gonzalo, Jed D., Elizabeth Baxley, Jeffrey Borkan, Michael Dekhtyar, and Richard Hawkins. "Priority Areas and Potential Solutions for Successful Integration and Sustainment of Health Systems Science in Undergraduate Medical Education." *Academic Medicine* 92, no. 1 (2017): 63-69.
26. Cook, D. A., & Triola, M. M. (2014). Web-based learning in the health professions: a meta-analysis. JAMA, 302(12), 1297-1305.

27. Hoffmann, Tammy, et al. *Evidence-Based Practice across the Health Professions.* 3rd ed. Elsevier, 2020.
28. Meats, Emma, et al. "The Effectiveness of Problem-Based Learning in Medical Education: A Systematic Review." *Medical Education* 43, no. 8 (2009): 778-786.
29. Claridge, Jeffrey A., and Timothy C. Fabian. "History and Development of Evidence-Based Medicine." *World Journal of Surgery* 29, no. 5 (2005): 547-553.
30. Young, John M., and Sally A. Ward. "Teaching Evidence-Based Medicine: Impact on Knowledge and Attitudes." *Journal of Medical Education* 39, no. 5 (2011): 349-355.
31. Macleod, Mary, et al. "The Role of Evidence-Based Practice in Clinical Decision-Making." *Nursing Standard* 25, no. 31 (2011): 49-57.
32. Rosenberg, William, and Anna Donald. "Evidence-Based Medicine: An Approach to Clinical Problem-Solving." *BMJ* 310, no. 6987 (2005): 1122-1126.
33. Frenk, J., et al. (2010). Health professionals for a new century: transforming education to strengthen health systems in an interdependent world. The Lancet, 376(9756), 1923-1958.
34. World Health Organization. (2013). Transforming and scaling up health professionals' education and training. WHO Guidelines.
35. Frenk, J., Chen, L., Bhutta, Z. A., Cohen, J., Crisp, N., Evans, T., & Fine, D. (2010). Health professionals for a new century: transforming education to strengthen health systems in an interdependent world. *The Lancet*, 376(9756), 1923-1958.
36. Cook, D. A., & Triola, M. M. (2014). Web-based learning in the health professions: a meta-analysis. *JAMA*, 302(12), 1297-1305. DOI: 10.1001/jama.2014.15564.
37. Mann, K. V., & MacLeod, A. (2009). Competency-based medical education: the canMEDS model. *Canadian Medical Association Journal*, 180(1), E25-E30.
38. Dolmans, D. H. J. M., et al. (2016). Tackling the challenges of problem-based learning: a systematic review of the literature. *Medical Education*, 50(3), 267-283.
39. Harden, R. M., & Crosby, J. (2010). AMEE Guide No. 20: The good teacher is more than a lecturer – the twelve roles of the teacher. *Medical Teacher*, 22(4), 334-347.
40. Thistlethwaite, J. E., & Davis, M. (2013). Interprofessional learning: a systematic review of the evidence. *Medical Education*, 47(3), 256-267.
41. Woods, D. R. (2000). Problem-based learning: how to gain the most from PBL. *PBL Associates*. ISBN: 9780968239930.
42. Baldwin, L. T., & Dorr, G. (2013). Interprofessional education and collaborative practice: a student perspective. *Nursing Outlook*, 61(1), 24-31.
43. Davis, D. A., & Taylor-Vaisey, A. (1997). Translating guidelines into practice: a systematic review of theoretical concepts, evidence, and interventions. *Canadian Medical Association Journal*, 157(4), 408-416.
44. Rees, C. E., & Bath, F. (2013). A survey of the use of assessment in clinical education in the UK. *Medical Education*, 34(3), 168-174. DOI: 10.1046/j.1365-2923.2000.00524.x.
45. Kirkpatrick, D. L. (2005). Evaluating Training Programs: The Four Levels. *Berrett-Koehler Publishers*.
46. Bennett, N. (2015). E-learning and the role of technology in medical education: a qualitative study. *Medical Education*, 49(3), 327-338. D
47. Dearnley, C., & Matthew, B. (2005). Implementing the use of online learning resources in undergraduate medical education. *Medical Teacher*, 27(2), 164-169.
48. Liaw, S. Y., & Chan, S. W. C. (2013). Development of a collaborative e-learning platform for nursing education: a case study. *Nurse Education Today*, 33(8), 1013-1017.
49. Harris, I. A., & Sutherland, A. (2012). The effectiveness of clinical skills teaching in medical education: a systematic review. *Medical Education*, 46(1), 23-34.
50. Kenny, N. P., et al. (2014). A review of the literature on the impact of interprofessional education on patient outcomes. *Journal of Interprofessional Care*, 28(3), 262-268.
51. World Health Organization. (2016). Framework for Action on Interprofessional Education and Collaborative Practice. WHO. Retrieved from: WHO Website.

52. Rungta, S., & Kumar, D. (2022). Future of medical education: E-learning and virtual reality in medical education. *Journal of Education and Health Promotion*, 11, 92.
53. Nieder G. L. and Nagy F.(2012) Analysis of medical students' use of web-based resources for a gross anatomy and embryology course. ClinAnat. 15(6), pp.409–418.
54. O'Daniel M. and Rosenstein A. H.(2008) Chapter 33 Professional Communication and Team Collaboration.In: Hughes R.G.(eds). Patient Safety and Quality: An Evidence-Based Handbook for Nurses.
55. Pant S., Deshmukh A., Murugiah K., Kumar G., et al. (2012) Assessing the credibility of the "YouTube approach" to health information on acute myocardial infarction. ClinCardiol. 35(5), pp.281–285.
56. Papanna K., Kulkarni V., Tanvi D., Lakshmi V., et al. (2012) Perceptions and preferences of medical students regarding teaching methods in a Medical College, Mangalore India. African Health Sciences. 13(3), pp.808–813.
57. Ramnanan C. J. and Pound L. D.(2017) Advances in medical education and practice: student perceptions of the flipped classroom. Advances in Medical Education and Practice. 2017(8), pp.63–73.
58. Redshaw C. H. and Frampton I.(2014) Optimising inter-disciplinary problem-based learning in postgraduate environmental and science education: Recommendations from a case study. International Journal of Environmental & Science Education. 9, pp.97–110.
59. Rennie F. and Morrison T.(2013) E-learning and social networking handbook. Routledge (NY): Resources for Higher Education.
60. Sánchez-Mendiola M., Kieffer-Escobar L. F., Marín-Beltrán S., Downing S. M., et al. (2012) Teaching of evidence-based medicine to medical students in Mexico: a randomized controlled trial. BMC Medical Education. 12(107), pp.1–14.
61. Sarıhan A., Oray N. C., Güllüpınar B., Yanturali S., et al. (2016) The comparison of the efficiency of traditional lectures to video-supported lectures within the training of the Emergency Medicine residents. Turkish Journal of Emergency Medicine. 16(3), pp.107–111.
62. Saville B. K., Zinn T. E., Neef N. A., Van Norman R., et al. (2006) A Comparison of Interteaching and Lecture in the College Classroom. Journal of Applied Behavior Analysis. 39(1), pp.49–61.
63. Scicluna H. A., O'Sullivan A. J., Boyle P., Jones P. D., et al. (2015) Peer learning in the UNSW Medicine program. BMC Medical Education. 15(167), pp.1–9.
64. Dolmans, D. H. J. M., et al. (2016). Tackling the challenges of problem-based learning: a systematic review of the literature. Medical Education, 50(3), 267-283.
65. Schmidt, H. G., & Moust, J. H. C. (2012). What makes a tutor effective? A structural equation modeling approach to learning and teaching in problem-based learning. *Academic Medicine*, 75(9), 876-883.
66. Baker, L. C., & Baker, R. (2016). Disruptive innovation in healthcare education: the flipped classroom. *Medical Teacher*, 38(9), 895-896. DOI: 10.1080/0142159X.2016.1163600.
67. Singhal A.(2017) Case-based Learning in Microbiology: Observations from a North West Indian Medical College. International Journal of Applied and Basic Medical Research. 7(Suppl 1),S47–S51.
68. Sudarso S. Rahayu G. R. and Suhoyo Y.(2016) How does feedback in mini-CEX affect students' learning response? International Journal of Medical Education. 7, pp.407–413.
69. Taveira-Gomes T., Ferreira P., Taveira-Gomes I., Severo M., et al. (2016) What Are We Looking for in Computer-Based Learning Interventions in Medical Education? A Systematic Review. Journal of Medical Internet Research. 18(8), pp.1–21.
70. Thistlethwaite J. E., Davies D., Ekeocha S., Kidd J. M., et al. (2012) The effectiveness of case-based learning in health professional education. A BEME systematic review:BEME Guide No. 23. Medical Teacher. 34(6),e421–e444.
71. Tshitenge S. T. Ndhlovu C. E. et al.(2017) Evaluation of problem-based learning curriculum implementation in a clerkship rotation of a newly established African medical training institution: lessons from the University of Botswana. The Pan African Medical Journal. 27(13), pp.1–8.

72. Ubbink D. T. Guyatt G. H. and Vermeulen H.(2013) Framework of policy recommendations for implementation of evidence-based practice: a systematic scoping review. BMJ Open. 3:(e001881), pp.1–12.
73. Van Gog T., Paas F., Marcus N., Ayres P., et al. (2009) The mirror-neuron system and observational learning: Implications for the effectiveness of dynamic visualizations. Educational Psychology Review. 21(1), pp.21–30.

o
o
75. Ward P. and Lee M.(2005) Peer-Assisted Learning in Physical Education: A Review of Theory and Research. Journal of Teaching in Physical Education. 24, pp.205–225.
76. White C., Bradley E., Martindale J., Roy P., et al. (2014) Why are medical students checking out of active learning in a new curriculum? Med Ed. 48(3), pp.315–324.
77. Zinski A. Blackwell K. T. C. P. W. Belue F. M. and Brooks W. S.(2017) Is lecture dead? A preliminary study of medical students' evaluation of teaching methods in the preclinical curriculum. International Journal of Medical Education. 8, pp.326–333.
78. Challa KT, Sayed A, Acharya Y. Modern techniques of teaching and learning in medical education: a descriptive literature review. MedEdPublish (2016). 2021 Jan 21;10:18.
79. Challa KT, Sayed A, Acharya Y. Modern techniques of teaching and learning in medical education: a descriptive literature review. MedEdPublish (2016). 2021 Jan 21;10:18.
80. Guyatt, Gordon, et al. *Users' Guides to the Medical Literature: A Manual for Evidence-Based Clinical Practice*. 3rd ed. McGraw Hill, 2015.
81. Sackett, David L., et al. "Evidence-Based Medicine: What It Is and What It Isn't." *BMJ* 312, no. 7023 (1996): 71-72.
82. Greenhalgh, Trisha. *How to Read a Paper: The Basics of Evidence-Based Medicine*. 6th ed. Wiley-Blackwell, 2019.
83. Straus, Sharon E., et al. *Evidence-Based Medicine: How to Practice and Teach EBM*. 5th ed. Elsevier, 2018.
84. Dawes, Martin, et al. "Second International Conference on Evidence-Based Health Care Teaching and Learning: Principles of Teaching Evidence-Based Medicine." *BMJ* 329, no. 7473 (2004): 1018-1020.
85. Glasziou, Paul, et al. *Evidence-Based Medical Monitoring: From Principles to Practice*. Wiley-Blackwell, 2008.
86. Haynes, R. Brian, et al. "Clinical Expertise in the Era of Evidence-Based Medicine and Patient Choice." *ACP Journal Club* 136, no. 2 (2002): A11-14.
87. Djulbegovic, Benjamin, and Gordon H. Guyatt. "Progress in Evidence-Based Medicine: A Quarter Century On." *The Lancet* 390, no. 10092 (2017): 415-423.
88. Ely, John W., et al. "How to Do a Best Evidence Search." *Journal of Family Practice* 49, no. 5 (2000): 426-430.
89. Sulashvili Nodar., PECULIARITIES OF PROFESSIONAL AND CAREER IMPROVEMENT STRATEGY FOR PHARMACISTS REPUBLIC OF ARMENIA MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE; YEREVAN STATE MEDICAL UNIVERSITY AFTER M. HEARTS; DISSERTATION; Dissertation for the Scientific Degree of Ph.D. in Pharmaceutical Sciences; On specialty 15.00.01 – Pharmacy; YEREVAN – 2019; Pp 1-175;
90. Brownson, Ross C., et al. *Evidence-Based Public Health*. 3rd ed. Oxford University Press, 2017.
91. Shaneyfelt, Terrence M., et al. "Are Guidelines Following Guidelines?" *JAMA* 301, no. 6 (2009): 651-653.
92. Cook, David J., et al. "Clinical Recommendations Using Levels of Evidence for Interventional Research." *Annals of Internal Medicine* 148, no. 2 (2008): 149-156.
93. Glasziou, Paul, et al. *Clinical Thinking: Evidence, Communication, and Decision-Making*. Wiley-Blackwell, 2008.

94. Badyal, Dinesh Kumar, and Parveen Bala Sharma. "Innovations in Teaching and Learning Methods in Medical Education: An Overview." *National Journal of Physiology, Pharmacy and Pharmacology* 5, no. 5 (2015): 365-368.
95. Harden, Ronald M., and Joy Crosby. "AMEE Guide No 20: The Good Teacher Is More Than a Lecturer—the Twelve Roles of the Teacher." *Medical Teacher* 22, no. 4 (2000): 334-347.
96. Kurtz, Suzanne M., and Jonathan D. Silverman. "The Calgary-Cambridge Referenced Observation Guides: An Aid to Defining the Curriculum and Organizing the Teaching in Communication Training Programmes." *Medical Education* 30, no. 2 (2016): 83-89.
97. McLean, Michelle. "Problem-Based Learning in Medical Education: A Review of the Literature." *South African Medical Journal* 96, no. 11 (2006): 1226-1229.
98. Ruiz, Jorge G., Michael J. Mintzer, and Rosanne M. Leipzig. "The Impact of E-Learning in Medical Education." *Academic Medicine* 81, no. 3 (2006): 207-212.
99. Spencer, John A., and Ronald K. Jordan. "Learner Centred Approaches in Medical Education." *BMJ* 318, no. 7193 (2007): 1280-1283.
100. Topping, Keith J. "The Effectiveness of Peer Tutoring in Further and Higher Education: A Typology and Review of the Literature." *Higher Education* 32, no. 3 (2003): 321-345.
101. Walsh, Kieran. "Online Educational Tools to Improve the Knowledge of Primary Care Professionals in Infectious Diseases." *Education for Primary Care* 20, no. 5 (2009): 360-364.
102. Yew, Elaine H. J., and Karen Goh. "Problem-Based Learning: An Overview of Its Process and Impact on Learning." *Health Professions Education* 2, no. 2 (2016): 75-79.
103. Sulashvili N., Beglaryan M. Pharmacist Occupational Features, Regulations Framework and Profession Enhancement Challenges of Pharmaceutics // Caucasus Journal of Health Sciences and Public Health; E ISSN 2449-2450; ISSN 2449-2647; The University of Georgia Publishing Official Journal of the University of Georgia and Iv. Javakhishvili Tbilisi State University with Support of the Arctic University of Tromsø/Norway. Volume 4, Supplement 8, July 20–24, 2020. – PP. 31–36.
104. Sulashvili N., Gorgaslidze N., Beglaryan M., Gabunia L., Kvizhinadze N., Zarkua T., Giorgobiani M., Peikrishvili N., Sulashvili M..THE MANIFESTATION OF CHARACTERISTICS, OPPORTUNITIES AND CHALLENGES OF ELECTRONIC SYSTEMS AND DIGITAL INTELLIGENCE USING IN PHARMACEUTICAL SERVICES. ISSN 1512-0392; E-ISSN 2667-9736; JECM 2024/4; https://journals.4science.ge/index.php/jecm/issue/view/169; NINO JAVAKHISHVILI-GEORGIAN SCIENTIFIC-PRACTICAL JOURNAL-"Experimental and clinical Medicine", №4; Tbilisi State Medical University, TSMU; Faculty of Public Health, Georgia Academy of Preventive Medicine Sciences and Organized by the Medical Ecology Association XVI International Conference "Health and Ecology", October 12-16, 2024; Santa Margarita - Portofino, Italy-2024. Pp:122-125.
105. Ziv, Amitai, Paul Root Wolpe, Stephen D. Small, and Shimon Glick. "Simulation-Based Medical Education: An Ethical Imperative." *Academic Medicine* 78, no. 8 (2003): 783-788.

IN ASSESSMENT OF A-GLUCOSIDASE INHIBITORY ACTIVITY OF A MEDICINAL PLANT EXTRACT: AN IN VITRO STUDY

Dr. Safaa Rhaimi
Laboratory of Natural Resources and sustainable development, Faculty of Science, Ibn Tofail University
Orcid id : 0000-0002-4707-6569

ABSTRACT

Control of postprandial hyperglycemia is an important therapeutic target in diabetes management. Inhibition of α-glucosidase delays the conversion of carbohydrates into glucose, thereby reducing glucose absorption.

The present study investigated the in vitro α-glucosidase inhibitory activity of an aqueous extract from a medicinal plant traditionally used for diabetes treatment.

The inhibitory effect was determined using a standard enzymatic assay, and the IC_{50} value was calculated. The extract demonstrated a concentration-dependent inhibition of α-glucosidase, with an IC_{50} value of 182.40 µg/mL, suggesting a stronger inhibitory activity than that observed against α-amylase. These results highlight the potential of plant-derived bioactive compounds as promising candidates for the development of natural antidiabetic agents.

Keywords: α-glucosidase; Diabetes mellitus; Enzyme inhibition; Medicinal plant extract; Postprandial hyperglycemia.

IN VITRO EVALUATION OF A-AMYLASE INHIBITORY ACTIVITY OF A MEDICINAL PLANT EXTRACT FOR DIABETES MANAGEMENT

Dr. Safaa Rhaimi
Laboratory of Natural Resources and sustainable development, Faculty of Science, Ibn Tofail University
Orcid id : 0000-0002-4707-6569

ABSTRACT

Diabetes mellitus is a major metabolic disorder characterized by chronic hyperglycemia. Inhibition of α-amylase represents an effective strategy to reduce postprandial blood glucose levels by delaying starch digestion.

This study evaluated the in vitro α-amylase inhibitory activity of an aqueous extract obtained from a medicinal plant traditionally used for diabetes management.

Enzyme inhibition was assessed using a standard colorimetric assay, and inhibitory activity was expressed as IC_{50} values. The extract exhibited a dose-dependent inhibitory effect against α-amylase, with an IC_{50} value of 216.14 µg/mL, indicating a promising ability to modulate carbohydrate digestion.

These findings support the potential of natural plant extracts as sources of bioactive compounds for the development of complementary approaches in diabetes management.

Keywords: α-amylase; Diabetes mellitus; Enzyme inhibition; Medicinal plant extract; Postprandial hyperglycemia.

DIGITAL HEALTH LITERACY AS A TOOL FOR STRENGTHENING PREVENTIVE HEALTH BEHAVIOURS AMONG YOUNG ADULTS

[*]Sodiq Adetunji Adekola[1], Suleiman Abeebat Abiola[2], Iwueke Obinna Adonischris[3]
[1,2,3]National Open University of Nigeria
[1,2]Centre for Community Health and Systems Support

ABSTRACT

The increasing use of digital technologies has transformed the way health information is accessed, shared, and utilized globally. Young adults are among the most active users of digital platforms and frequently rely on online sources for health-related information. Digital health literacy refers to the ability to seek, access, understand, evaluate, and apply health information obtained through digital technologies for informed health decision-making. This seminar examines digital health literacy as a tool for strengthening preventive health behaviours among young adults. The paper explores the concept, components, determinants, and significance of digital health literacy in promoting preventive health practices such as vaccination uptake, healthy nutrition, physical activity, disease screening, sexual and reproductive health, and mental health promotion. Evidence from recent studies indicates that higher levels of digital health literacy are associated with improved health-seeking behaviour, increased adoption of preventive measures, and enhanced self-management of health conditions. However, challenges such as misinformation, unequal access to digital resources, low critical appraisal skills, and privacy concerns continue to limit the effectiveness of digital health interventions. The seminar concludes that strengthening digital health literacy is essential for improving preventive health behaviours and reducing the burden of preventable diseases among young adults. It recommends the integration of digital health literacy into educational curricula, expansion of digital health infrastructure, and implementation of policies aimed at promoting equitable access to credible health information.

Keywords: Digital Health Literacy, Preventive Health Behaviour, Young Adults, Health Promotion, eHealth Literacy.

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF CARBON NANOTUBES FROM BIOCHAR UNDER MICROWAVE IRRADIATION

Faisal Nazir
2018-ag-1386
DEPARTMENT OF PHYSICS,
FACULTY OF SCIENCES,
THE UNIVERSITY OF AGRICULTURE,
FAISALABAD, PAKISTAN
2023

ABSTRACT

Carbon nanotubes (CNTs) are widely used in a variety of fields to produce a diversity of products, including hydrogen storage systems, and field emitters. In the proposed study, CNTs synthesized via biochar under the microwave irradiation method. In this method, the combination of charcoal and ferrocene are used to synthesize CNTs from the biochar approach. Biochar samples for CNTs synthesis are made from pyrolyzed agro-industrial waste such as rapeseed cake, hazelnut hulls, wheat straw, and oat hulls at different temperatures. The biochar was produced from agro-industrial biomass. During experiments, 100g of biomass was placed in a microwave reactor. The samples were pyrolyzed at 400 °C to 600°C. SEM analysis was used to confirm the morphology of CNTs. SEM micrographs revealed the perfect structure of multiwall carbon nanotubes, while interlayers spacing was changed due to variation of catalysts and measured about 0.34nm. Further, the optical properties were examined by UV-visible spectroscopy. In the UV, one band is clear at 240 nm region due to resonance of nanotubes pi(π) electrons of carbon nanotubes. XRD was used to analyze the glassy structure of prepared CNTs under microwave revealed that the creation and growth of CNTs were mostly influenced by microwave irradiation and the ferrocene catalyst. The structure of CNTs was developed under microwave heating and in the presence of ferrocene catalyst. To research how nitrogen impurities adhere to CNTs, FTIR experiments were conducted in the 400–4000 cm^{-1} range. The sample's FTIR spectra exhibit prominent peaks that correspond to C-H and C=C, respectively.

INFLUENCE OF MICROWAVE IRRADIATION TREATMENT IN THE ENHANCEMENT OF OPTICAL PROPERTIES OF INTRINSICS FE_2O_3 PARTICLES BASED GEOPOLYMERS

Yassine Ballout[1], Yassine El Miz[1], Hanane El Harouachi[1], Amin El Azizi[1], Dounia Ahoudi[1], Mohammed Elgettafi[1], Rachid Hakkou[2,3], Mohamed Loutou[1,2,3]
1 Laboratory of Molecular Chemistry, Materials, and Environment (LCM2E), Faculty Polydisciplinary of Nador (FPN), University Mohammed first, B.P. 300, 62700, Selouane, Nador, Morocco.
2Laboratory of Innovative Materials, Energy and Sustainable Development (IMED-Lab), Faculty of Science and Technology, Cadi Ayyad University (UCA), B.P.549 Av. A. El Khattabi, Marrakech, Morocco.
3Geology and Sustainable Mining Institute (GSMI), University Mohammed VI polytechnic (UM6P), Lot 660 Hay Moulay Rachid, 43150, Ben-Guerir, Morocco.

Abstract:

Intrinsic Fe_2O_3-based geopolymer photocatalysts were successfully synthesized by recycling iron ore tailings through phosphoric acid activation combined with microwave-assisted curing, promoting structural condensation and enhanced photocatalytic performance. Comprehensive characterization using XRD, FTIR, SEM-EDX, and TGA/DSC confirmed the formation of a compact aluminosilicate–phosphate network with uniformly dispersed Fe_2O_3 species serving as active photocatalytic sites. Microwave-assisted curing significantly improved the physicochemical properties of the geopolymer, reducing the band gap energy to 2.18 eV and thereby enhancing visible-light absorption and photogenerated charge carrier activation. The photocatalytic activity was assessed through the degradation of Rhodamine B (RhB) in aqueous solution, achieving a maximum degradation efficiency of 92% under optimized conditions. Kinetic analysis demonstrated that the degradation process follows a pseudo-first-order model, with a rate constant of 0.7 min^{-1} and an excellent linear fit ($R^2 = 0.999$), indicating rapid and efficient photocatalytic kinetics. Mechanistic studies revealed that the degradation is predominantly driven by reactive oxygen species (ROS), particularly hydroxyl radicals (•OH) and superoxide radicals (O_2•$^-$), which are responsible for the oxidative decomposition of RhB molecules. The combined effects of strong adsorption capacity, enhanced photocatalytic activity, and the excellent stability and reusability of the geopolymer matrix underscore the potential of this Fe_2O_3-geopolymer photocatalyst as a sustainable, cost-effective, and high-performance material for wastewater treatment applications.

Keywords: *intrinsic Fe2O3-geopolymer, phosphoric acid activation, Microwave irradiation, High performance geopolymers, photocatalysis, RhB degradation, wastewater treatment.*

OPTIMIZATION OF ANTIBACTERIAL ESSENTIAL OIL BLENDS USING NEURAL NETWORKS

Dr. Safaa Rhaimi 1/ Faima El hilah2/ Aicha Rossafi3
1 Laboratory of Natural Resources and sustainable development, Faculty of Science, Ibn Tofail University, Orcid id : 0000-0002-4707-6569
2 Botanique, Biotechnologies et Protection des Plantes, Faculty of Sciences. B.P 242. Kenitra, Morocco.
3 Laboratory of Natural Resources and sustainable development, Faculty of Science, Ibn Tofail University, Morocco

Abstract

The food industry increasingly demands natural preservatives to combat foodborne pathogens. This study investigated the individual and combined antibacterial efficacy of essential oils (EOs) from Moroccan Cladanthus mixtus, Myrtus communis, and Helichrysum italicum against Escherichia coli and Staphylococcus aureus. Chemical profiling via GC-MS and GC-FID revealed α-pinene, 1,8-cineole, and neryl acetate among the dominant compounds of these EOs. Individually, C. mixtus EO displayed the most potent antibacterial activity against both bacterial strains.

To maximize efficacy, Mixture Design Methodology (MDM) and Artificial Neural Networks (ANNs) were employed for formulation optimization. The predictive modeling demonstrated that the inhibition of E. coli and S. aureus was significantly enhanced by specific ternary mixtures of the three EOs, suggesting synergistic interactions. Statistical validation confirmed that both modeling approaches accurately predicted antibacterial outcomes; however, the ANNs model outperformed MDM in predictive accuracy. These findings highlight the potential of optimized ternary EO blends as robust, natural antimicrobial agents for food preservation.

Keywords: Antibacterial activity, Essential oils, Mixture design, Artificial neural networks, Food preservation.

SYNERGISTIC ANTIOXIDANT POTENTIAL OF ESSENTIAL OIL BLENDS: PREDICTIVE MODELING AND OPTIMIZATION

Dr. Safaa Rhaimi 1/ Hassna leknizi3
1 Laboratory of Natural Resources and sustainable development, Faculty of Science, Ibn Tofail University, Orcid id : 0000-0002-4707-6569
2 Laboratory of Plant Animal and agro-industrial production, Faculty of Science, Ibn Tofail University

Abstract

Essential oils (EOs) are widely recognized for their antioxidant properties, but blending them can yield superior protective effects compared to single oils. This study evaluated the antioxidant capacity of EOs extracted from Moroccan Cladanthus mixtus, Myrtus communis, and Helichrysum italicum. GC-MS and GC-FID analyses identified major bioactive components, including α-pinene, santolina alcohol, 1,8-cineole, and neryl acetate. When tested individually, H. italicum EO demonstrated the strongest baseline antioxidant effect.

To identify the optimal antioxidant formulation, Mixture Design Methodology (MDM) was combined with Artificial Neural Networks (ANNs). Predictive modeling revealed that a binary mixture of C. mixtus and H. italicum yielded the highest overall antioxidant activity, outperforming individual oils and ternary combinations. Comparative statistical analysis indicated that while both optimization techniques reliably predicted the biological activity, the ANNs models achieved superior predictive accuracy compared to MDM. This study demonstrates that optimized binary EO formulations offer a powerful, natural solution to mitigate oxidative stress in food sectors.

Keywords: Antioxidant activity, Essential oils, Binary mixture, Artificial neural networks, Optimization.

INDUSTRY 4.0 IN ARCHITECTURE: LEVERAGING PREFABRICATION AND DIGITAL CONSTRUCTION FOR EFFICIENT BUILDING DELIVERY IN LAGOS METROPOLIS, NIGERIA

Moses Adeolu AGOI[1]
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
ORCID ID: 0000-0002-8910-2876
Samuel Olayiwola AJAGA[2]
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
Olajuwon Victor OLAYINKA[3]
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
Emmanuel Taiwo AGOI[4]
Loughborough University, United Kingdom.

Abstract

The architecture, engineering, and construction (AEC) industry is experiencing unprecedented transformation through the integration of prefabrication technologies and digital construction innovations. These advancements are particularly relevant in rapidly urbanizing cities such as Lagos Metropolis, Nigeria, where population growth, housing shortages, escalating construction costs, and sustainability concerns demand innovative building delivery systems. This paper aims to examine how prefabrication and digital construction technologies can revolutionize architectural practice and improve building delivery in Lagos Metropolis. A systematic literature review methodology was adopted by synthesizing evidence from recent peer-reviewed journal articles, conference proceedings, government publications, and reputable industry reports indexed in Google Scholar, Scopus, Web of Science, and other accessible databases published between 2015 and 2026. The review explores Building Information Modelling (BIM), Digital Twins, modular construction, Design for Manufacture and Assembly (DfMA), robotics, artificial intelligence, and smart construction technologies from an architectural perspective. The study demonstrates that integrating digital design with off-site manufacturing significantly enhances project delivery through improved quality control, reduced construction duration, minimized material waste, increased cost efficiency, enhanced safety performance, and greater environmental sustainability. The principal strength of this study lies in its contextualization of global technological innovations within the realities of Lagos Metropolis, thereby providing practical implications for architects, policymakers, developers, and construction professionals. However, the review identifies a significant research gap regarding empirical investigations into the combined adoption of prefabrication and digital construction technologies within Nigeria's architectural sector, particularly concerning implementation frameworks, regulatory readiness, workforce capacity, and localized technological adaptation. Addressing these challenges will accelerate sustainable urban development and modernize Nigeria's building industry.

Keywords: Building Information Modelling (BIM); Digital Construction; Lagos Metropolis; Prefabrication Technology.

INTRODUCTION

The global architecture, engineering, and construction (AEC) industry is undergoing a profound transformation driven by rapid urbanization, technological innovation, sustainability imperatives, and increasing demand for efficient building delivery systems. Conventional construction methods, characterized by labour-intensive on-site activities, fragmented project coordination, material wastage, cost overruns, and prolonged project durations, are increasingly unable to meet the housing and infrastructure demands of rapidly expanding cities (Eastman et al., 2018; Gerth et al., 2022). Consequently, the adoption of prefabrication technologies and digital construction innovations has emerged as a strategic approach for improving productivity, quality, sustainability, and lifecycle performance in the built environment. Prefabrication refers to the off-site manufacturing of building components under controlled factory conditions before transportation and assembly at the construction site. When integrated with digital construction technologies, including Building Information Modelling (BIM), Digital Twins, Artificial Intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), robotics, cloud-based collaboration platforms, laser scanning, drones, and Design for Manufacture and Assembly (DfMA), prefabrication creates an intelligent construction ecosystem that enhances project coordination, minimizes errors, reduces construction waste, and improves overall building performance (Pan & Sidwell, 2011; Bock & Linner, 2016). This integrated approach is reshaping architectural practice by enabling architects to design, simulate, manufacture, and manage buildings with greater precision throughout the project lifecycle. Nigeria, particularly Lagos Metropolis, presents a compelling context for examining these innovations. As one of Africa's fastest-growing megacities, Lagos faces acute housing shortages, rapid population growth, urban congestion, infrastructure deficits, escalating land values, and significant environmental pressures. Traditional construction practices have struggled to address these challenges efficiently, resulting in delayed project delivery, escalating costs, quality deficiencies, and unsustainable resource consumption (Oladokun et al., 2021). The increasing adoption of BIM, modular construction, and prefabricated building systems by leading architectural and construction firms in Lagos signals a gradual transition toward digitally enabled construction processes. Despite growing global evidence demonstrating the effectiveness of prefabrication and digital construction, their implementation within Nigeria remains relatively limited due to regulatory constraints, inadequate technical expertise, insufficient industrial capacity, high initial investment costs, fragmented supply chains, and limited awareness among industry stakeholders. Furthermore, empirical studies examining the architectural implications of integrating prefabrication with digital construction technologies within Lagos Metropolis remain scarce. This paper therefore investigates how prefabrication technologies and digital construction innovations can revolutionize building delivery from an architectural perspective in Lagos Metropolis. It synthesizes current scholarly evidence, identifies existing implementation barriers, evaluates opportunities for sustainable urban development, and proposes strategic pathways for accelerating the adoption of digitally enabled prefabricated construction within Nigeria's rapidly evolving built environment.



LITERATURE REVIEW

Concept of Prefabrication Technologies and Modern Building Delivery

Prefabrication technologies have emerged as one of the most transformative innovations in contemporary building delivery, fundamentally changing how buildings are conceived, designed, manufactured, and assembled. Prefabrication involves producing standardized or customized building components in controlled factory environments before transporting them to construction sites for installation. Unlike conventional construction, where most activities occur on-site under variable environmental conditions, prefabrication emphasizes industrialized production processes that enhance quality assurance, precision, productivity, and construction efficiency (Pan & Sidwell, 2011). Modern prefabrication encompasses component manufacturing, panelised systems, volumetric modular construction, hybrid prefabrication, and complete modular buildings, all of which support faster and more sustainable project delivery (Lawson, Ogden, & Bergin, 2014). Recent advances in manufacturing technologies, automation, robotics, and digital engineering have significantly expanded the capabilities of prefabricated construction. According to Bock and Linner (2016), automation and industrialized construction have enabled higher levels of accuracy, reduced material waste, improved occupational safety, and minimized project uncertainties associated with conventional construction methods. Similarly, Lessing, Stehn, and Ekholm (2015) argued that industrialized house-building integrates standardized production processes with flexible architectural design, thereby improving productivity without compromising creativity or functional performance. The growing emphasis on sustainability has further accelerated the adoption of prefabrication globally. Off-site manufacturing minimizes construction waste, optimizes material utilization, reduces greenhouse gas emissions, lowers noise and dust pollution, and decreases energy consumption throughout the construction process (Jaillon & Poon, 2014). These environmental advantages align with global sustainable development agendas and green building certification systems, including LEED and BREEAM, which encourage resource-efficient construction practices. From an architectural perspective, prefabrication no longer implies repetitive or monotonous designs. Contemporary digital fabrication technologies enable architects to create highly customized building components while maintaining the economic benefits of mass production. Parametric design, computational modelling, and digital fabrication tools facilitate complex geometries that were previously difficult or expensive to construct using traditional methods (Kolarevic, 2003). Consequently, architects increasingly integrate prefabrication during the conceptual design stage, ensuring that design decisions consider manufacturing constraints, transportation logistics, and assembly requirements. Within Lagos Metropolis, prefabrication presents a practical solution to persistent housing shortages, rapid urbanization, and increasing construction costs. Nevertheless, widespread adoption remains constrained by limited manufacturing infrastructure, insufficient policy support, fragmented supply chains, and inadequate technical expertise. Strengthening industrial capacity, establishing supportive regulatory frameworks, and enhancing professional education are therefore essential for mainstreaming prefabrication technologies within Nigeria's architectural and construction industries.

Digital Construction Innovations in Contemporary Architectural Practice

Digital construction represents a paradigm shift in the architecture, engineering, and construction (AEC) industry by integrating advanced digital technologies into the planning, design, construction, operation, and maintenance of buildings. Unlike conventional construction processes that rely on fragmented workflows and manual information exchange, digital construction enables data-driven decision-making, real-time collaboration, and lifecycle management through interconnected digital platforms (Eastman et al., 2018). The convergence

of Building Information Modelling (BIM), Digital Twins, Artificial Intelligence (AI), the Internet of Things (IoT), cloud computing, robotics, drone technology, laser scanning, Geographic Information Systems (GIS), and Design for Manufacture and Assembly (DfMA) has significantly improved project efficiency, accuracy, sustainability, and architectural innovation. Building Information Modelling (BIM) is widely recognized as the cornerstone of digital construction. BIM facilitates the creation of intelligent three-dimensional digital models containing comprehensive geometric, functional, environmental, scheduling, and cost information throughout a building's lifecycle (Eastman et al., 2018). Through collaborative digital environments, architects, engineers, quantity surveyors, contractors, and facility managers can coordinate design decisions, identify clashes before construction, improve communication, and reduce costly design errors (Succar & Kassem, 2015). The integration of BIM with DfMA further enhances prefabricated construction by ensuring that building components are designed for efficient factory production, transportation, and on-site assembly. Beyond BIM, Digital Twin technology is transforming architectural practice by creating dynamic virtual representations of physical buildings that continuously receive operational data from sensors and IoT devices (Boje et al., 2020). These intelligent models enable architects and facility managers to monitor building performance, predict maintenance requirements, optimize energy consumption, and improve occupant comfort throughout the operational lifecycle. Artificial Intelligence further strengthens digital construction by supporting automated design optimization, predictive analytics, risk assessment, quality control, scheduling, and resource allocation (Akinosho et al., 2020). Similarly, robotics and autonomous construction equipment have enhanced productivity, precision, and worker safety through automated bricklaying, concrete printing, material handling, and site inspections. Drone technology and laser scanning have become valuable tools for site surveying, construction monitoring, progress reporting, and quality assurance. High-resolution aerial imagery and point-cloud data improve measurement accuracy, facilitate site analysis, and support real-time project monitoring (Volk, Stengel, & Schultmann, 2014). These technologies reduce manual surveying efforts while providing architects with comprehensive spatial information during design and construction. In Lagos Metropolis, the adoption of digital construction technologies has grown steadily among leading architectural and construction firms, particularly for large-scale commercial, institutional, and infrastructure projects. Nevertheless, implementation remains inconsistent due to high software acquisition costs, inadequate digital infrastructure, limited interoperability standards, insufficient technical expertise, and the absence of comprehensive national BIM policies. Furthermore, many small and medium-sized architectural practices continue to depend on traditional design methods because of financial constraints and limited access to specialized training. Addressing these barriers through policy reforms, professional capacity development, investment in digital infrastructure, and stronger collaboration between academia and industry will accelerate the transition toward fully digitalized architectural practice and significantly improve building delivery across Lagos Metropolis and Nigeria as a whole.

Global Trends in Prefabrication and Digital Construction for Sustainable Building Delivery

The increasing demand for sustainable, resilient, and efficient buildings has accelerated the global adoption of prefabrication technologies and digital construction innovations. Governments, construction firms, and architectural professionals across developed and emerging economies are increasingly embracing industrialized construction methods to improve productivity, address labour shortages, reduce environmental impacts, and enhance building quality. Countries such as Singapore, the United Kingdom, Sweden, Japan, China,

and Australia have established comprehensive policies promoting off-site manufacturing, modular construction, and digital transformation as essential components of modern building delivery systems (Gibb, 1999; Lawson et al., 2014). Singapore has become a global leader in industrialized construction through its adoption of Prefabricated Prefinished Volumetric Construction (PPVC), supported by mandatory Building Information Modelling (BIM) implementation and strong governmental incentives. The integration of BIM with Design for Manufacture and Assembly (DfMA) has enabled architects and contractors to optimize design coordination, reduce construction time, improve quality assurance, and minimize material waste (Building and Construction Authority [BCA], 2020). Similarly, the United Kingdom's Construction 2025 Strategy and subsequent Construction Playbook emphasize digital engineering, Modern Methods of Construction (MMC), and off-site manufacturing to improve project performance, sustainability, and value for money across public infrastructure projects. In Scandinavian countries, particularly Sweden, industrialized timber construction and modular housing have demonstrated that prefabrication can deliver high-quality, energy-efficient, and architecturally flexible buildings while significantly reducing construction waste and greenhouse gas emissions (Lessing et al., 2015). China has also invested heavily in intelligent construction technologies by integrating robotics, artificial intelligence (AI), three-dimensional (3D) printing, digital fabrication, and smart manufacturing into large-scale housing and infrastructure development, thereby improving productivity and addressing rapid urbanization challenges (Li et al., 2022). Recent advances in Digital Twin technology, cloud computing, Internet of Things (IoT), and artificial intelligence have further strengthened the integration of digital construction with prefabrication. Digital Twins provide real-time monitoring of building performance by synchronizing physical assets with virtual models, enabling predictive maintenance, lifecycle optimization, and evidence-based decision-making (Boje et al., 2020). AI-driven algorithms support automated scheduling, design optimization, resource allocation, quality inspection, and risk prediction, while IoT sensors facilitate continuous monitoring of structural health, environmental conditions, and energy performance throughout the building lifecycle (Akinosho et al., 2020). Despite these global achievements, the implementation of prefabrication and digital construction remains uneven across many developing countries, including Nigeria. Challenges such as inadequate policy frameworks, limited industrial capacity, and insufficient investment in manufacturing facilities, low digital literacy, fragmented supply chains, and resistance to technological change continue to hinder widespread adoption. Nevertheless, the experiences of countries that have successfully integrated prefabrication with digital construction provide valuable lessons for Lagos Metropolis. Strategic government support, standardized regulations, investment in digital infrastructure, professional capacity building, and collaboration among architects, engineers, manufacturers, and policymakers are critical for accelerating the modernization of Nigeria's building industry. Adapting these international best practices to local socio-economic and regulatory conditions can significantly enhance sustainable building delivery and strengthen the competitiveness of the Nigerian architecture, engineering, and construction sector.

Architectural Perspective of Prefabrication and Digital Construction in Lagos Metropolis, Nigeria

Lagos Metropolis, Nigeria's commercial and economic hub, is experiencing unprecedented urban growth, with increasing demand for affordable housing, commercial developments, transportation infrastructure, and public facilities. The rapid population expansion, estimated at over 20 million residents, has intensified pressure on the built environment, exposing the limitations of conventional construction methods in addressing housing deficits, project delays, escalating construction costs, and environmental sustainability concerns. These urban realities

have positioned prefabrication technologies and digital construction innovations as viable solutions for improving architectural design, construction efficiency, and sustainable urban development (World Bank, 2022). From an architectural perspective, prefabrication enables the production of standardized and customized building components under controlled factory conditions while preserving design flexibility through advanced computational design tools. Architects are increasingly integrating Building Information Modelling (BIM), parametric design, and Design for Manufacture and Assembly (DfMA) into project development to optimize constructability, reduce material waste, improve quality control, and enhance coordination among project stakeholders (Eastman et al., 2018). Digital workflows also facilitate early-stage visualization, clash detection, cost estimation, energy simulation, and lifecycle performance analysis, thereby improving decision-making throughout the building delivery process. Although BIM adoption has increased among large architectural and multidisciplinary consultancy firms in Lagos, implementation across the wider construction industry remains relatively low. Existing studies indicate that the adoption of digital technologies in Nigeria is constrained by inadequate policy frameworks, limited institutional support, insufficient digital infrastructure, high software licensing costs, poor interoperability, and shortages of skilled professionals trained in BIM, digital fabrication, robotics, and computational design (Oladokun et al., 2021; Aghimien et al., 2023). Furthermore, the absence of national BIM standards and mandatory digital construction policies has resulted in inconsistent implementation across both public and private sector projects. The growing interest in modular housing and off-site manufacturing presents significant opportunities for Lagos to address its persistent housing deficit while improving construction quality and environmental performance. Prefabricated building systems can substantially reduce project delivery time, minimize site disturbances, lower material wastage, enhance occupational safety, and support climate-responsive architectural solutions. When integrated with Artificial Intelligence (AI), Internet of Things (IoT), Digital Twins, drone-assisted monitoring, and cloud-based collaboration platforms, architects can optimize building performance from conceptual design through operation and maintenance, creating resilient and intelligent built environments (Boje et al., 2020; Akinosho et al., 2020). Despite these opportunities, several barriers continue to impede large-scale adoption. These include fragmented supply chains, dependence on imported construction technologies, inconsistent electricity supply, limited investment in prefabrication manufacturing facilities, resistance to organizational change, and inadequate collaboration among architects, engineers, contractors, manufacturers, academic institutions, and government agencies. Addressing these constraints requires coordinated policy reforms, increased public and private investment, curriculum modernization in architectural education, incentives for local manufacturing, and stronger professional capacity development. Such interventions would position Lagos Metropolis as a regional leader in digital construction and industrialized building delivery, contributing significantly to sustainable urbanization and the modernization of Nigeria's architecture, engineering, and construction industry.

METHODOLOGY

This study adopted a systematic literature review (SLR) design to critically examine the role of prefabrication technologies and digital construction innovations in revolutionizing building delivery from an architectural perspective within Lagos Metropolis, Nigeria. A systematic review was considered appropriate because it provides a transparent, rigorous, and replicable process for identifying, evaluating, and synthesizing existing scholarly evidence while minimizing researcher bias (Snyder, 2019). The review followed the Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) guidelines to ensure methodological consistency in the identification, screening, eligibility assessment, and inclusion of relevant

studies (Page et al., 2021). The literature search was conducted across reputable academic databases, including Scopus, Web of Science, ScienceDirect, SpringerLink, Taylor & Francis Online, Emerald Insight, Wiley Online Library, MDPI, IEEE Xplore, Google Scholar, and institutional repositories. The search focused primarily on peer-reviewed journal articles, conference proceedings, books, government publications, and industry reports published between 2015 and 2026, while seminal publications published before 2015 were also included to provide theoretical and conceptual foundations. Search terms were combined using Boolean operators and included *prefabrication*, *off-site construction*, *modular construction*, *industrialized building systems*, *digital construction*, *Building Information Modelling (BIM)*, *Digital Twin*, *Design for Manufacture and Assembly (DfMA)*, *Artificial Intelligence*, *smart construction*, *architecture*, *building delivery*, *Nigeria*, and *Lagos Metropolis*. Studies were included if they (i) addressed prefabrication or digital construction technologies within the architecture, engineering, and construction (AEC) sector; (ii) examined sustainability, project performance, architectural design, or building delivery outcomes; (iii) were published in English; and (iv) originated from credible academic or professional sources with accessible full texts. Publications unrelated to the built environment, duplicate records, opinion pieces lacking empirical or theoretical contributions, and non-peer-reviewed sources were excluded. After screening titles, abstracts, and full texts, the selected publications were subjected to qualitative content analysis. Data extraction focused on publication characteristics, research objectives, methodologies, technological innovations, implementation challenges, architectural implications, sustainability outcomes, and recommendations. The extracted information was synthesized thematically to identify recurring patterns, emerging trends, research gaps, and contextual implications for Lagos Metropolis. To enhance the credibility and reliability of the review, priority was given to highly cited publications indexed in internationally recognized databases and authored by leading scholars in architecture, construction management, digital engineering, and industrialized construction. The synthesized findings provided the foundation for discussing the opportunities, challenges, and strategic pathways for integrating prefabrication technologies and digital construction innovations into contemporary architectural practice and sustainable building delivery in Lagos Metropolis, Nigeria.

RESULTS AND DISCUSSION

Prefabrication Technologies and Building Delivery Performance in Lagos Metropolis

The synthesis of the reviewed literature indicates that prefabrication technologies have substantial potential to improve building delivery performance in Lagos Metropolis by addressing persistent challenges associated with conventional construction methods. Across the reviewed studies, prefabrication consistently demonstrated measurable improvements in project delivery time, construction quality, material utilization, labour productivity, occupational safety, and overall cost efficiency. These findings align with global evidence showing that off-site manufacturing minimizes delays caused by adverse weather conditions, material shortages, and on-site operational inefficiencies while enhancing precision through factory-controlled production environments (Pan & Sidwell, 2011; Lawson et al., 2014). Within the Lagos construction industry, rapid urbanization, increasing housing demand, and infrastructure expansion have intensified the need for innovative construction approaches capable of delivering projects faster and more sustainably. The review reveals that modular construction and prefabricated building systems are increasingly being adopted for residential estates, commercial developments, educational facilities, healthcare infrastructure, and hospitality projects. Compared with traditional cast-in-situ construction, prefabricated systems reduce project completion time by enabling simultaneous off-site component production and on-site foundation works, thereby shortening overall construction schedules and improving

resource utilization (Jaillon & Poon, 2014). Architecturally, prefabrication has evolved beyond standardized repetitive structures to support highly customized building solutions through computational design, parametric modelling, and digital fabrication technologies. The integration of Building Information Modelling (BIM) with Design for Manufacture and Assembly (DfMA) enables architects to optimize component dimensions, transportation logistics, structural coordination, and installation sequences before physical construction begins, thereby reducing design conflicts and minimizing costly modifications during project execution (Eastman et al., 2018). These capabilities are particularly valuable in Lagos, where limited site space, dense urban development, and traffic congestion frequently complicate conventional construction activities. Despite these advantages, the review identifies several factors limiting the widespread adoption of prefabrication technologies in Lagos Metropolis. These include inadequate local manufacturing capacity, dependence on imported prefabricated components, high initial capital investment, inconsistent regulatory standards, fragmented supply chains, and limited technical expertise among construction professionals. Additionally, resistance to organizational change and misconceptions regarding the architectural flexibility and durability of prefabricated buildings continue to influence stakeholder acceptance. Overall, the findings demonstrate that prefabrication technologies can significantly enhance building delivery performance in Lagos when supported by enabling policies, investment in local manufacturing industries, standardized building regulations, professional training, and stronger collaboration among architects, engineers, contractors, developers, and government institutions. Such interventions would accelerate the transition toward industrialized construction while contributing to improved housing delivery, enhanced construction quality, and sustainable urban development across the metropolis.

Digital Construction Innovations and Architectural Practice

The reviewed literature demonstrates that digital construction innovations are fundamentally transforming architectural practice by enabling integrated design, collaborative project delivery, and data-driven decision-making throughout the building lifecycle. The adoption of Building Information Modelling (BIM), Artificial Intelligence (AI), Digital Twins, the Internet of Things (IoT), cloud computing, laser scanning, drones, and robotic construction technologies has significantly improved the efficiency, accuracy, and sustainability of architectural services in both developed and emerging economies (Eastman et al., 2018; Boje et al., 2020). These technologies are gradually gaining recognition within Lagos Metropolis as architectural firms seek innovative solutions to address increasing project complexity, rapid urbanization, and clients' demands for higher-quality, cost-effective, and sustainable buildings. Among the reviewed technologies, BIM emerged as the most widely adopted digital platform within Nigeria's architecture, engineering, and construction (AEC) industry. BIM enables architects to develop intelligent three-dimensional models that integrate geometric, structural, mechanical, electrical, financial, and scheduling information into a single collaborative environment. This integrated workflow facilitates early clash detection, improves interdisciplinary coordination, enhances cost estimation, and minimizes design errors before construction begins (Succar & Kassem, 2015). Consequently, architects can deliver more accurate construction documentation while reducing project risks and costly design revisions. The review further indicates that Artificial Intelligence is increasingly being incorporated into architectural workflows through generative design, automated code compliance checking, predictive scheduling, energy optimization, and construction risk assessment. AI algorithms support architects in evaluating multiple design alternatives based on structural efficiency, environmental performance, construction costs, and occupant comfort, thereby improving evidence-based decision-making (Akinosho et al., 2020). Likewise, Digital Twin technology

extends BIM functionality by creating continuously updated virtual replicas of physical buildings using real-time sensor data. This capability enables architects and facility managers to monitor building performance, predict maintenance needs, optimize energy consumption, and improve operational efficiency throughout the asset lifecycle (Boje et al., 2020). Drone technology, laser scanning, and cloud-based collaboration platforms have also enhanced project visualization, site inspection, progress monitoring, and quality assurance. These technologies provide architects with accurate geospatial data and real-time construction information, reducing the need for frequent physical site visits while improving project transparency and communication among stakeholders. Despite these technological advancements, adoption across Lagos Metropolis remains uneven. Large multidisciplinary firms and multinational organizations are more likely to invest in advanced digital tools, whereas many small and medium-sized architectural practices continue to rely on conventional Computer-Aided Design (CAD) systems due to financial limitations, inadequate digital infrastructure, high software licensing costs, and shortages of skilled personnel. Furthermore, the absence of national BIM mandates and standardized digital construction policies has slowed industry-wide implementation. The findings therefore suggest that sustained investment in digital infrastructure, professional education, institutional capacity building, and regulatory reforms is essential for expanding digital construction adoption and strengthening architectural innovation in Lagos Metropolis. These interventions would improve project coordination, reduce construction inefficiencies, and position the city's architectural sector to compete more effectively within the evolving global digital construction landscape.

Sustainability and Smart Urban Development

The findings of this review indicate that the integration of prefabrication technologies and digital construction innovations offers significant opportunities for advancing sustainability and supporting smart urban development in Lagos Metropolis. The reviewed literature consistently demonstrates that off-site manufacturing and digital project management contribute to more efficient resource utilization, reduced environmental degradation, and improved building lifecycle performance. These outcomes align with the objectives of the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs), particularly SDG 9 (Industry, Innovation and Infrastructure), SDG 11 (Sustainable Cities and Communities), and SDG 12 (Responsible Consumption and Production), which advocate resilient infrastructure, sustainable urbanization, and efficient resource management (United Nations, 2015). A major sustainability benefit identified across the reviewed studies is the reduction of construction waste through factory-controlled production processes. Prefabrication enables precise material measurement, standardized manufacturing, and quality-controlled fabrication, thereby minimizing off-cuts, rework, and material losses commonly associated with conventional construction methods (Jaillon & Poon, 2014). Additionally, shorter construction periods reduce noise pollution, dust emissions, traffic disruptions, and energy consumption on project sites—an important consideration in densely populated urban environments such as Lagos. These efficiencies contribute to lower embodied carbon emissions and improved environmental performance throughout the construction process. Digital construction technologies further enhance sustainability by enabling architects to evaluate environmental performance during the design stage. Building Information Modelling (BIM) supports energy modelling, daylight analysis, carbon assessment, lifecycle costing, and material optimization, allowing design alternatives to be evaluated before construction commences (Eastman et al., 2018). When integrated with Artificial Intelligence (AI) and Digital Twin technologies, BIM facilitates predictive maintenance, real-time energy monitoring, occupancy analysis, and operational optimization throughout a building's lifecycle (Boje et al., 2020). These capabilities enable

architects and facility managers to make informed decisions that improve building efficiency while reducing operational costs and greenhouse gas emissions. The review also highlights the growing relevance of prefabrication and digital construction within smart city initiatives. Smart buildings equipped with Internet of Things (IoT) sensors, intelligent automation systems, and cloud-based monitoring platforms can continuously collect and analyse operational data relating to energy consumption, indoor environmental quality, structural health, and occupant behaviour. Such information supports proactive maintenance, efficient resource allocation, and enhanced user comfort while strengthening urban resilience against climate-related risks. For Lagos Metropolis, where rapid urbanization continues to exert pressure on housing, transportation, energy, and environmental systems, these technologies provide practical pathways toward sustainable urban transformation. However, achieving these benefits requires complementary investments in renewable energy infrastructure, reliable digital connectivity, supportive regulatory frameworks, local manufacturing capacity, and workforce development. Furthermore, integrating sustainability principles into architectural education, professional practice, and public procurement policies will encourage wider adoption of environmentally responsible construction methods. Collectively, the findings suggest that combining prefabrication with digital construction can significantly enhance the environmental, economic, and social sustainability of building delivery while positioning Lagos as a model for smart and resilient urban development in sub-Saharan Africa.

Challenges, Policy Implications, and Future Directions

The findings of this review reveal that although prefabrication technologies and digital construction innovations have significant potential to transform building delivery in Lagos Metropolis, several interrelated challenges continue to impede their widespread adoption. The most prominent barriers identified across the reviewed literature include inadequate policy support, limited digital infrastructure, insufficient local manufacturing capacity, high initial investment costs, fragmented supply chains, and shortages of skilled professionals with expertise in Building Information Modelling (BIM), Design for Manufacture and Assembly (DfMA), Artificial Intelligence (AI), Digital Twins, and industrialized construction methods (Aghimien et al., 2023; Oke et al., 2022). These constraints are compounded by organizational resistance to change, low awareness of the long-term benefits of digital construction, and the continued reliance on conventional construction practices within many architectural and contracting firms. Another critical challenge relates to the absence of comprehensive national standards and regulatory frameworks governing digital construction and prefabrication in Nigeria. Unlike countries such as Singapore, the United Kingdom, and Sweden, where BIM implementation and Modern Methods of Construction (MMC) are supported through government mandates and standardized procurement policies, Nigeria lacks a coordinated national strategy to drive digital transformation within the architecture, engineering, and construction (AEC) sector. Consequently, technology adoption remains fragmented and largely dependent on individual organizations with sufficient financial and technical capacity. Furthermore, inconsistent electricity supply, limited broadband connectivity, and dependence on imported software, equipment, and prefabricated components continue to increase operational costs and constrain technological innovation. The review underscores the need for comprehensive policy reforms to accelerate the transition toward digitally enabled and industrialized building delivery. Government agencies should establish national BIM standards, develop regulatory guidelines for prefabricated construction, provide fiscal incentives for local manufacturing, and integrate digital construction requirements into public procurement processes. Professional bodies, including the Nigerian Institute of Architects (NIA), the Nigerian Institute of Building (NIOB), the Nigerian Society of Engineers (NSE),

and the Quantity Surveyors Registration Board of Nigeria (QSRBN), should collaborate with universities and industry stakeholders to strengthen professional education, certification programmes, and continuous capacity development in emerging digital technologies. Future research should prioritize empirical investigations evaluating the practical implementation of prefabrication and digital construction technologies across diverse project types within Lagos Metropolis and other Nigerian cities. Longitudinal studies assessing lifecycle performance, cost–benefit relationships, user satisfaction, carbon reduction, and digital maturity are particularly needed. Additionally, further research should explore the integration of Artificial Intelligence, Digital Twins, blockchain, robotics, and circular economy principles into prefabricated building systems. Addressing these research priorities will contribute to evidence-based policymaking, strengthen architectural innovation, and accelerate the modernization of Nigeria's construction industry toward more sustainable, resilient, and globally competitive building delivery systems.

CONCLUSION

This study examined the transformative role of prefabrication technologies and digital construction innovations in revolutionizing building delivery from an architectural perspective within Lagos Metropolis, Nigeria. Drawing upon contemporary scholarly literature, the review established that integrating industrialized construction methods with digital technologies, including Building Information Modelling (BIM), Design for Manufacture and Assembly (DfMA), Artificial Intelligence (AI), Digital Twins, robotics, Internet of Things (IoT), cloud computing, and digital fabrication, offers substantial opportunities for improving construction productivity, design quality, project coordination, sustainability, and lifecycle building performance. The synthesis demonstrates that these technologies collectively enhance construction efficiency by reducing project duration, minimizing material waste, improving cost predictability, strengthening quality assurance, and promoting safer working environments. From the architectural perspective, digital construction has fundamentally redefined the design and delivery process by enabling architects to collaborate more effectively with engineers, contractors, manufacturers, and facility managers through integrated digital platforms. Prefabrication further complements this transformation by shifting labour-intensive activities from construction sites to controlled manufacturing environments, thereby improving precision and supporting sustainable urban development. These innovations are particularly relevant to Lagos Metropolis, where rapid urbanization, housing deficits, infrastructure expansion, and environmental challenges require more efficient and resilient approaches to building delivery. Despite these opportunities, the review identified significant barriers to implementation, including inadequate policy frameworks, limited industrial capacity, insufficient digital infrastructure, high technology acquisition costs, fragmented supply chains, and shortages of skilled professionals. Overcoming these challenges requires coordinated efforts among government agencies, professional institutions, academic organizations, private-sector stakeholders, and technology providers. National policies supporting BIM implementation, incentives for prefabrication manufacturing, investment in digital infrastructure, and continuous professional development will be critical to mainstreaming these innovations within Nigeria's construction industry. Overall, the study concludes that the successful integration of prefabrication technologies and digital construction innovations represents a strategic pathway for modernizing architectural practice and improving building delivery in Lagos Metropolis. As Nigeria continues to pursue sustainable urbanization and infrastructure development, adopting these emerging technologies will enhance the competitiveness of the architecture, engineering, and construction sector while contributing to

resilient cities, improved housing delivery, environmental sustainability, and long-term socio-economic development.

References

Aghimien, D. O., Aigbavboa, C., Oke, A. E., & Musenga, C. (2020). Barriers to Building Information Modelling implementation in developing countries: A case of Nigeria. *Engineering, Construction and Architectural Management, 27*(10), 2931-2954. https://doi.org/10.1108/ECAM-01-2020-0042

Akinosho, T. D., Oyedele, L. O., Bilal, M., Ajayi, A. O., Delgado, J. M. D., Akinade, O. O., & Ahmed, A. A. (2020). Artificial intelligence in construction: A review of present status, opportunities and future challenges. *Journal of Building Engineering, 27*, 100827. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.100827

Bock, T., & Linner, T. (2016). *Robot-oriented design: Design and management tools for the deployment of automation and robotics in construction*. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9781139872041

Boje, C., Guerriero, A., Kubicki, S., & Rezgui, Y. (2020). Towards a semantic Construction Digital Twin: Directions for future research. *Automation in Construction, 114*, 103179. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103179

Building and Construction Authority. (2020). *Design for Manufacturing and Assembly (DfMA) and Prefabricated Prefinished Volumetric Construction (PPVC) implementation guide*. Building and Construction Authority.

Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., & Liston, K. (2008). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors*. John Wiley & Sons. https://doi.org/10.1002/9780470261309

Gerth, R., Boqvist, A., Bjelkemyr, M., & Lindberg, B. (2022). Digital transformation in the construction industry: A systematic mapping study. *Construction Innovation, 22*(4), 1031-1055.

Gibb, A. G. F. (1999). *Off-site fabrication: Prefabrication, pre-assembly and modularisation*. John Wiley & Sons.

Hong, Q. N., Pluye, P., Fàbregues, S., Bartlett, G., Boardman, F., Cargo, M., Dagenais, P., Gagnon, M.-P., Griffiths, F., Nicolau, B., O'Cathain, A., Rousseau, M.-C., & Vedel, I. (2018). *Mixed Methods Appraisal Tool (MMAT), Version 2018: User guide*. McGill University.

Jaillon, L., & Poon, C. S. (2009). The evolution of prefabricated residential building systems in Hong Kong: A review of the public and the private sector. *Automation in Construction, 18*(3), 239-248. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.09.002

Jaillon, L., & Poon, C. S. (2014). Life cycle design and prefabrication in buildings: A review and case studies in Hong Kong. Automation in Construction, 39, 195-202.

Kassem, M., & Succar, B. (2017). Macro BIM adoption: Comparative market analysis. *Automation in Construction, 81*, 286-299. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.04.005

Kolarevic, B. (2003). *Architecture in the digital age: Design and manufacturing*. Taylor & Francis/Spon Press.

Lawson, R. M., Ogden, R. G., & Bergin, R. (**2012)**. Application of modular construction in high-rise buildings. Journal of Architectural Engineering, 18(2), 148-154. https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000057.

Lawson, R. M., Ogden, R. G., & Goodier, C. I. (2014). *Design in modular construction*. CRC Press.

Lessing, J., Stehn, L., & Ekholm, A. (2015). Industrialised house-building: Concept and processes. Luleå University of Technology, Sweden.

Lu, Y., Li, Y., Skibniewski, M. J., Wu, Z., Wang, R., & Le, Y. (2020). Information and communication technology applications in architecture, engineering, and construction organizations: A 15-year review. *Journal of Management in Engineering, 36*(1). https://doi.org/10.1061/(ASCE)ME.1943-5479.0000688

Olawumi, T. O., & Chan, D. W. M. (2018). A scientometric review of global research on Building Information Modeling (BIM). *Journal of Civil Engineering and Management, 24*(6), 463-482. https://doi.org/10.3846/jcem.2018.3077

Olawumi, T. O., & Chan, D. W. M. (2019). Development of a benchmarking model for BIM implementation in developing countries. *Benchmarking: An International Journal*, *26*(4), 1210-1232. https://doi.org/10.1108/BIJ-05-2018-0124

Oti, A. H., Tizani, W., & Abanda, F. H. (2016). A framework for BIM extension in architectural education. *Engineering, Construction and Architectural Management*, *23*(6), 750-764. https://doi.org/10.1108/ECAM-02-2015-0030

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Thomas, J., Chandler, J., Grimshaw, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, *372*, n71. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Pan, W., & Goodier, C. I. (2012). Housebuilding business models and offsite construction take-up. *Journal of Architectural Engineering*, *18*(2), 84-93. https://doi.org/10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000058

Pan, W., Gibb, A. G. F., & Dainty, A. R. J. (2008). Leading UK housebuilders' utilisation of offsite modern methods of construction. *Building Research & Information*, *36*(1), 56–67. https://doi.org/10.1080/09613210701204013

Pan, W., Gibb, A. G. F., & Dainty, A. R. J. (2012). Strategies for integrating the use of off-site production technologies in house building. *Journal of Construction Engineering and Management*, *138*(11), 1331-1340. https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000544

Rahimian, F. P., Goulding, J. S., Akintoye, A., & Kolo, S. (2017). Review of motivations, success factors, and barriers to the adoption of off-site manufacturing in Nigeria. *Procedia Engineering*, *196*, 512-519. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.07.232

Saka, A. B., Chan, D. W. M., & Siu, F. M. F. (2020). Drivers of sustainable adoption of Building Information Modelling (BIM) in the Nigerian construction small and medium-sized enterprises (SMEs). *Sustainability*, *12*(9), 3710. https://doi.org/10.3390/su12093710

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, *104*, 333-339. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039

Succar, B., & Kassem, M. (2015). Macro-BIM adoption: Conceptual structures. *Automation in Construction*, *57*, 64-79. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.04.018

United Nations. (2015). *Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations. https://sdgs.un.org/2030agenda

Volk, R., Stengel, J., & Schultmann, F. (2014). Building Information Modeling (BIM) for existing buildings: Literature review and future needs. *Automation in Construction*, *38*, 109-127. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2013.10.023

Whyte, J. (2019). How digital information transforms project delivery models. *Project Management Journal*, *50*(2), 177-194. https://doi.org/10.1177/8756972818823304

World Bank. (2022). Nigeria development update: The continuing urgency of business unusual. World Bank. https://doi.org/10.1596/38111.

Yusuf, A. O., Opawole, A., Musa, N. A., Kadiri, D. S., et al. (2022). Capability improvement measures of the public sector for implementation of Building Information Modeling in construction projects. *Organization, Technology and Management in Construction*, *14*(1), 2710-2730. https://doi.org/10.2478/otmcj-2022-0014

ONE-POT SYNTHETIC PROTOCOLS FOR FUSED N-HETEROCYCLIC HYBRID DERIVATIVES

Tanzeela Riaz, Muqaddas Ashraf, Tanzeela, Matloob Ahmad*
Department of Chemistry, Government College University, Faisalabad, Pakistan.

Abstract

The fused imidazopyrimidine nucleus is an important class of heterocyclic organic compounds. Imidazopyrimidine is composed of imidazole and pyrimidine rings, both of which are part of the naturally occurring folic acid and vitamins. Due to their high pharmacophoric properties, various photophysical and biological characteristics they gain significant focus in agrochemicals, organic fluorescent products, pharmaceuticals, and medicinal chemistry. Consequently, numerous ways have been developed for the synthesis of this valuable class of compounds. Among these, one-pot reactions have used to design new, environmentally friendly and cost-effective synthetic processes. But more sustainable and simpler protocols with reusable and green catalysts or solvents to efficiently make imidazopyrimidine ring systems are still possible. Recently, new one-pot protocols for the synthesis of imidazopyrimidine derivatives at ambient temperature using mild and efficient methods with high yields and purities have been reported that are environmentally friendly. This study is a brief summary of the different one-pot reactions for their synthesis.

Keywords: Imidazopyrimidine, N-heterocyclic hybrid derivatives, One-pot synthesis

QUALITY ASSURANCE MECHANISMS AND HEALTHCARE DELIVERY OUTCOMES IN TERTIARY HEALTH INSTITUTIONS IN NASARAWA STATE, NIGERIA

Addra Noah Agbo
Masters in Public Health Nursing Student,
Africa Centre of Excellence in Public Health & Toxicological Research,
University of Port Harcourt , Rivers State, Nigeria.

Abstract

Background: Quality assurance mechanisms are indispensable in ensuring the provision of safe, effective, timely, and patient-centred healthcare services. Despite ongoing quality improvement initiatives in Nigeria's tertiary healthcare institutions, concerns regarding service quality and healthcare outcomes persist. Understanding the relationship between quality assurance mechanisms and healthcare delivery outcomes is therefore essential for improving health system performance.

Objective: This study assessed quality assurance mechanisms and healthcare delivery outcomes in the Federal University Teaching Hospital (FUTH), Lafia, and the Federal Medical Centre (FMC), Keffi, Nasarawa State, Nigeria.

Methodology: A descriptive cross-sectional comparative design was adopted. The study involved healthcare professionals, including doctors, nurses, pharmacists, medical laboratory scientists, and other allied health workers in the two tertiary institutions. A total of 240 questionnaires were distributed, and 300 valid responses were retrieved, representing a response rate of 93.8%. Data were analysed using descriptive statistics and inferential statistics at a 0.05 level of significance.

Results: The findings revealed that 89.0% of respondents reported the existence of quality assurance committees in their institutions, 84.0% acknowledged regular staff training and continuous professional development programmes, 81.0% indicated the use of clinical guidelines and protocols, while 76.0% reported the implementation of patient feedback mechanisms. Regarding healthcare delivery outcomes, 86.0% of respondents agreed that quality assurance mechanisms had improved patient safety, 83.0% reported increased patient satisfaction, 79.0% observed improved timeliness of care, and 75.0% indicated a reduction in clinical errors and adverse events. A strong positive relationship was found between quality assurance mechanisms and healthcare delivery outcomes ($r = 0.71$, $p < 0.001$). Furthermore, quality assurance mechanisms significantly predicted healthcare delivery outcomes ($\beta = 0.68$, $t = 14.82$, $p < 0.001$), accounting for 48.0% of the variance in healthcare delivery outcomes ($R^2 = 0.48$).

Conclusion: Quality assurance mechanisms significantly influence healthcare delivery outcomes in tertiary healthcare institutions. Strengthening quality assurance structures through continuous professional development, adherence to clinical standards, effective monitoring systems, and robust patient feedback mechanisms will substantially improve patient outcomes and service delivery. The study recommends sustained institutional commitment and investment in quality improvement initiatives to enhance healthcare performance in Nigerian tertiary health facilities.

Keywords: Quality assurance mechanisms, healthcare delivery outcomes, patient safety, patient satisfaction, tertiary healthcare institutions, Nigeria.

arp bounds are obtained with the aid of the Carathéodory lemma, the Libera–Złotkiewicz parametrization, and the Prokhorov–Szynal inequality.

Furthermore, we determine sharp bounds for the Fekete–Szegő functional and investigate the

COMPARATIVE ANALYSIS ON THE COUNSELLING OF FIRST AND FINAL YEAR STUDENTS OF SHEHU SHAGARI UNIVERSITY OF EDUCATION, SOKOTO UNDERGRADUATE STUDENTS: COUNSELLING INTERVENTIONS

Bashiru Muhammad Liman, Ph.D
Department of Guidance and Counselling,
Shehu Shagari University of Education, Sokoto, Nigeria
ORCID ID: 0009-0005-3853-845X

Abstract

The transition into and out of university presents unique academic, social, emotional, and career-related challenges for undergraduate students. These challenges often differ between first-year students, who are adjusting to university life, and final-year students, who are preparing for graduation and the labour market. This study conducted a comparative analysis of the counselling needs of first-year and final-year undergraduate students at Shehu Shagari University of Education, Sokoto, with a view to identifying differences in their counselling needs and drawing implications for effective counselling service delivery. The study adopted a descriptive comparative survey research design. The population comprised all first and final-year undergraduate students of the university, from which a representative sample was selected using a stratified random sampling technique. Data were collected using a researcher-developed questionnaire titled Comparative Counselling Needs Questionnaire (CCNQ), validated by experts in Guidance and Counselling and Measurement and Evaluation. The reliability of the instrument was established using Cronbach's Alpha, yielding a reliability coefficient of 0.82. Data were analysed using frequency counts, percentages, mean, standard deviation, and independent samples *t*-test at the 0.05 level of significance. The findings revealed that first-year students experienced significantly greater counselling needs related to academic adjustment, time management, study skills, interpersonal relationships, homesickness, and adaptation to university life. In contrast, final-year students reported higher counselling needs concerning career planning, job search skills, entrepreneurship, postgraduate education, examination anxiety, and transition to the world of work. The study also found significant differences in the overall counselling needs of first-year and final-year students. Based on these findings, it was concluded that counselling programmes should be tailored to the developmental and transitional needs of students at different stages of their university education. The study recommends that the university counselling unit should strengthen orientation programmes for new students, establish comprehensive career development services for final-year students, organize regular counselling workshops, and adopt stage-

specific counselling interventions to enhance students' academic success, psycho-social well-being, and career readiness.

Keywords: counselling needs, first-year students, final-year students, comparative analysis, university counselling, Sokoto.

Introduction

Guidance and counselling services have become an indispensable component of higher education across the world. Universities and other tertiary institutions are expected not only to provide academic instruction but also to facilitate the personal, social, emotional, vocational, and career development of students. Counselling services assist students in making informed educational and career decisions, adjusting to university life, developing effective study habits, managing stress, resolving interpersonal conflicts, and preparing for life after graduation. According to the American School Counselor Association (ASCA, 2021) Counselling programmes are designed to promote students' academic achievement, career readiness, and social-emotional development through preventive, developmental, and intervention-oriented services.

The transition into university education is a critical developmental stage characterized by numerous academic, social, emotional, and psychological challenges. First-year undergraduate students often experience adjustment difficulties resulting from separation from family, unfamiliar academic demands, financial pressures, peer influence, time management problems, and adaptation to a new learning environment (Tinto, 2017). Many freshmen enter higher institutions with inadequate knowledge of university regulations, poor study skills, unrealistic career expectations, and limited coping mechanisms, thereby increasing their need for professional counselling services. Effective orientation and counselling interventions during this period enhance students' academic integration, psychological well-being, and retention.

Conversely, final-year undergraduate students encounter a different set of challenges. As graduation approaches, they are confronted with concerns related to academic completion, project writing, career planning, job search, entrepreneurship, postgraduate education, financial independence, and uncertainty about life after university. They may also experience increased anxiety associated with employment prospects, the National Youth Service Corps (NYSC), family expectations, and transition into adulthood (Super, 1990). Counselling interventions at this stage focus on career guidance, employability skills, decision-making, stress management, and life planning to facilitate a smooth transition into the labour market and society.

Developmental counselling theories emphasize that students' counselling needs vary according to their developmental stages and educational experiences. Erikson's Psychosocial Development Theory posits that individuals experience different psychosocial crises at different stages of development, requiring appropriate support to achieve successful adjustment (Erikson, 1968). Similarly, Super's Career Development Theory explains that career concerns evolve throughout the lifespan, with university students requiring different career interventions depending on their stage of educational and vocational development (Super, 1990). Consequently, counselling interventions should be tailored to the unique developmental needs of students at different academic levels.

In Nigeria, the National Policy on Education recognizes guidance and counselling as an essential educational support service for promoting students' holistic development (Federal Republic of Nigeria [FRN], 2014). Universities have therefore established counselling units to provide academic, vocational, personal-social, psychological, and rehabilitation services. Despite these efforts, evidence suggests that counselling services in many Nigerian tertiary institutions remain underutilized due to inadequate awareness, shortage of qualified counsellors, poor funding, insufficient facilities, cultural misconceptions about counselling, and limited institutional support (Akinade, 2016; Egbo, 2015). These challenges may affect the quality and accessibility of counselling services for students at different academic levels.

Shehu Shagari University of Education, Sokoto, as a specialized teacher education institution, admits students from diverse socio-economic, cultural, and educational backgrounds. While first-year students are expected to adapt to the academic and social demands of university life, final-year students are preparing for graduation, career placement, and transition into professional life. These distinct stages are likely to generate different counselling needs and expectations. However, little empirical evidence exists regarding whether counselling interventions adequately address these varying needs within the university. A comparative analysis of the counselling needs of first-year and final-year undergraduate students is therefore necessary to determine similarities and differences in their academic, vocational, personal-social, and psychological counselling needs. The findings will provide valuable information for university counsellors, administrators, policymakers, and the Counselling Association of Nigeria (CASSON) in designing stage-specific counselling interventions that promote students' academic success, mental health, career preparedness, and overall well-being. The study will also contribute to the existing body of knowledge on counselling services in Nigerian higher education institutions.

Statement of the Problem

Guidance and counselling services are established in tertiary institutions to assist students in overcoming academic, vocational, social, emotional, and psychological challenges that may hinder their educational attainment and personal development. Although counselling services are available in many Nigerian universities, there is growing concern that students continue to experience adjustment problems, poor academic performance, stress, career indecision, anxiety, and inadequate preparation for life after graduation. First-year undergraduate students often struggle with transition-related challenges such as adapting to a new academic environment, managing increased academic workloads, developing effective study habits, and establishing positive social relationships. In contrast, final-year students are more likely to experience concerns related to project completion, graduation requirements, career decision-making, employment opportunities, entrepreneurship, and future life planning. These differing developmental and academic experiences suggest that the counselling needs of the two groups may not be the same.

Despite these differences, counselling programmes in many universities are often generalized rather than tailored to students' specific developmental stages and academic levels. Furthermore, there is limited empirical evidence comparing the counselling needs of first-year and final-year undergraduate students in Shehu Shagari University of Education, Sokoto. Without such evidence, university counsellors may find it difficult to design targeted and effective counselling interventions that adequately address the unique needs of students at different stages of their university education. It is against this background that this study seeks to conduct a comparative analysis of the counselling needs of first-year and final-year undergraduate students of Shehu Shagari University of Education, Sokoto, with a view to providing appropriate counselling interventions for improving students' academic success, career development, personal adjustment, and psychological well-being.

Literature Review

Guidance is a continuous process of helping individuals understand themselves and their environment in order to make informed educational, vocational, and personal decisions. It enables individuals to recognize their potentials, overcome challenges, and develop skills necessary for successful living. According to Egbo (2015), guidance is a systematic process of assisting individuals to understand themselves, identify their strengths and weaknesses, and make appropriate life choices. Similarly, Akinade (2016) describes guidance as a preventive

and developmental service aimed at facilitating students' educational, vocational, and personal growth.

Counselling is the professional relationship between a trained counsellor and a client, aimed at helping the client understand problems, develop coping strategies, and make appropriate decisions. The American Counseling Association (ACA, 2014) defines counselling as a professional relationship that empowers individuals, families, and groups to accomplish mental health, wellness, education, and career goals. Similarly, Okobiah and Okorodudu (2006) define counselling as a face-to-face interaction in which a trained counsellor assists clients in resolving educational, vocational, social, emotional, and personal problems. Counselling differs from guidance in that it focuses more on individualized assistance, while guidance encompasses a broader range of developmental services.

Objectives of Counselling in Higher Education

Counselling services in universities aim to: Promote academic success, facilitate adjustment to university life, enhance career planning and employability, improve psychological well-being, reduce stress and anxiety, develop effective study habits, encourage positive interpersonal relationships, prevent maladaptive behaviours. According to Corey (2021), counselling promotes self-awareness, problem-solving skills, emotional stability, and personal growth.

Counselling Needs of First-Year Under graduate Students: The transition into university represents one of the most critical periods in students' educational development. First-year students encounter numerous challenges requiring professional counselling:

Major counselling needs include:

1. Academic Counselling: Study skills, Time management, Course registration, Examination preparation, Academic adjustment

2. Personal-Social Counselling: Homesickness, Peer relationships, Self-esteem, Social adjustment, Conflict resolution.

3. Psychological Counselling: Anxiety, Stress, Depression, Loneliness and Emotional adjustment.

4. Career Counselling: Career awareness, Goal setting, Choice of specialization, According to Tinto (2017), successful adjustment during the first year significantly influences students' academic persistence and graduation rates.

Counselling Needs of Final-Year Undergraduate Students: Final-year students experience challenges different from those of freshmen. Their counselling needs include:

1. Career Development: Job search skills, CV writing, Interview techniques, Entrepreneurship and NYSC preparation.

2. Academic Support: Project writing, Graduation requirements, and Research skills.

3. Psychological Support: Graduation anxiety, Employment uncertainty, Fear of the future.

4. Financial Counselling: Financial planning, Self-employment, opportunities, According to Super (1990), individuals approaching labour market entry require counselling focused on career maturity and vocational adjustment.

Person-Centered Theory (Carl Rogers, 1951): Carl Rogers proposed that individuals possess an innate tendency toward growth and self-actualization when provided with a supportive and accepting environment. Every individual has the capacity for self-growth, Counsellors should demonstrate empathy, genuineness, and unconditional positive regard. Clients are capable of solving their own problems with appropriate facilitation. First-year students adjusting to university life and final-year students facing career decisions benefit from a counselling environment characterized by empathy and acceptance.

Erikson's Psychosocial Development Theory (1968): Erikson proposed eight stages of psychosocial development. University students mainly experience: Identity vs Role Confusion; Students explore personal identity, values, and career aspirations. Intimacy vs Isolation; Students establish mature interpersonal relationships. The theory explains why counselling needs differ between first-year students, who are establishing identities, and final-year students, who are transitioning into adulthood and professional life.

Adeyemo and Aremu (2023) investigated counselling needs among first-year university students in South-West Nigeria using a descriptive survey design. A sample of 420 students was selected through stratified random sampling. A validated questionnaire with a Cronbach's alpha reliability coefficient of 0.86 was used. Mean and t-test statistics were employed for data analysis. The study found that academic adjustment, stress management, study skills, and interpersonal relationships were the major counselling needs of first-year students. It also reported significant differences in counselling needs based on gender. The authors recommended strengthening orientation programmes and academic counselling services. This study highlights the counselling needs of first-year students but did not compare them with final-year students.

Omoniyi and Alonge (2022) examined career counselling needs among final-year undergraduate students in selected Nigerian universities using an ex post facto design. The study sampled 380 final-year students and analysed the data using descriptive statistics and

ANOVA. Findings revealed that career uncertainty, employability skills, entrepreneurship education, and interview preparation were the most pressing counselling needs. The study recommended the establishment of comprehensive career development centres in universities. It focuses only on final-year students without comparing different academic levels. Ibrahim and Yusuf (2021) studied the influence of counselling services on students' academic adjustment in federal universities in Northern Nigeria. Using a correlational design, data were collected from 600 undergraduate students and analysed using Pearson Product Moment Correlation. The findings indicated a significant positive relationship between access to counselling services and academic adjustment ($r = .63$, $p < .05$). The authors concluded that effective counselling enhances students' academic success and emotional well-being. The study demonstrates the effectiveness of counselling but does not compare counselling needs across year groups.

Okeke and Eze (2020) investigated the utilization of counselling services among undergraduate students in South-East Nigeria. A descriptive survey involving 512 students revealed that although counselling services were available, utilization was low due to poor awareness, cultural misconceptions, inadequate staffing, and limited institutional support. The researchers recommended increased awareness campaigns and improved funding of counselling units. This study identifies barriers to counselling utilization that may also affect students in Shehu Shagari University of Education, Sokoto. Liman and Abdullahi (2024) examined counselling challenges among undergraduate students in tertiary institutions in North-West Nigeria using a mixed-methods design. The study found that first-year students predominantly required orientation, study skills, and adjustment counselling, while final-year students prioritized career planning, entrepreneurship, project supervision, and transition-to-work counselling. The authors recommended stage-specific counselling interventions tailored to students' developmental needs. This study closely aligns with the current research by emphasizing the need for differentiated counselling services based on students' academic level.

Objectives of the Study

The study seeks to:

1. Identify the academic counselling needs of first-year and final-year undergraduate students in Shehu Shagari University of education, Sokoto.
2. Examine the personal-social counselling needs of first-year and final-year undergraduate students in Shehu Shagari University of education, Sokoto.

3. Compare the career counselling needs of first-year and final-year undergraduate students in Shehu Shagari University of education, Sokoto.

4. Determine the psychological counselling needs of first-year and final-year undergraduate students in Shehu Shagari University of education, Sokoto.

5. Determine whether significant differences exist between the counselling needs of first-year and final-year undergraduate students.

Research Questions

1. What are the academic counselling needs of first-year and final-year undergraduate students of Shehu Shagari University of Education, Sokoto?

2. What are the personal-social counselling needs of first-year and final-year undergraduate students in Shehu Shagari University of education, Sokoto?

3. What are the career counselling needs of first-year and final-year undergraduate students in Shehu Shagari University of education, Sokoto?

4. What are the psychological counselling needs of first-year and final-year undergraduate students in Shehu Shagari University of education, Sokoto?

5. What differences exist between the counselling needs of first-year and final-year undergraduate students in Shehu Shagari University of education, Sokoto?

Hypotheses

H_{01}: There is no significant difference in the academic counselling needs of first-year and final-year undergraduate students of Shehu Shagari University of Education, Sokoto.

H_{02}: There is no significant difference in the personal-social counselling needs of first-year and final-year undergraduate students of Shehu Shagari University of Education, Sokoto.

H_{03}: There is no significant difference in the career counselling needs of first-year and final-year undergraduate students of Shehu Shagari University of Education, Sokoto.

H_{04}: There is no significant difference in the psychological counselling needs of first-year and final-year undergraduate students of Shehu Shagari University of Education, Sokoto.

H_{05}: There is no significant difference in the overall counselling needs of first-year and final-year undergraduate students of Shehu Shagari University of Education, Sokoto.

METHODOLOGY

The study adopted a descriptive survey research design**.** The design is considered appropriate because the study intends to compare the counselling needs of first-year and final-year undergraduate students and identify appropriate counselling interventions. The study was conducted at Shehu Shagari University of Education, Sokoto (SSUES)**,** located in Sokoto State,

North-Western Nigeria. The University is a specialized teacher education institution established to provide quality education, research, and community service. The population comprises all first-year and final-year undergraduate students of Shehu Shagari University of Education, Sokoto, during the 2025/2026 academic session**.** The sample size for the study was determined using the Krejcie and Morgan (1970)**,** a sample size of 260 respondents were selected. First year students 125 and final year students 35.

The study employed multistage sampling technique comprising of Stratified Sampling and Simple Random Sampling. A researcher's developed questionnaire titled: Comparative Counselling Needs of university students Questionnaire (CCNUSQ), with two sections. Section A: Demographic information and Section B: on counselling needs with the following dimensions: Academic Counselling Needs, Personal-Social Counselling Needs, Career Counselling Needs, and Psychological Counselling Needs. The questionnaire was be structured on four-point Likert scale of strongly agree, agree, disagree and strongly disagree, with 4,3,2 and 1 as the score value. It was subjected to face and content validity, Copies of the instrument will be given to: experts in Guidance and Counselling, Educational Psychology and Measurement and Evaluation, Their observations was incorporated before the final administration. A pilot study was conducted using 30 undergraduate students from Sokoto state University and analyzed using Cronbach's Alpha Reliability Coefficient and a reliability coefficient of 0.72 was obtained. Research Questions were answered using: Frequency, Percentage, Mean and Standard Deviation, while hypotheses were analyzed using independent sample T-test.

RESULTS

Table1: Distribution of Respondents by Level

Level	**Frequency**	**Percentage (%)**
First-Year Students	125	48.1
Final-Year Students	135	51.9
Total	**260**	**100.0**

Table 1 shows that 125 (48.1%) of the respondents were first-year students, while 135 (51.9%) were final-year students. This indicates that both categories were adequately represented in the study.

Research Question One: What are the academic counselling needs of first-year and final-year undergraduate students?

Table 2: Academic Counselling Needs

Academic Counselling Needs	Mean	SD	Decision
Study skills improvement	3.62	0.63	Agreed
Time management	3.55	0.70	Agreed
Examination preparation	3.49	0.72	Agreed
Course registration guidance	3.44	0.75	Agreed
Academic advising	3.51	0.68	Agreed
Grand Mean	**3.52**		**Agreed**

The grand mean of 3.52 is above the criterion mean of 2.50, indicating that respondents' agreed that academic counselling services are highly needed.

Research Question Two: What are the personal-social counselling needs of first-year and final-year undergraduate students?

Table 3: Personal-Social Counselling Needs

Item	Mean	SD	Decision
Self-esteem development	3.41	0.69	Agreed
Relationship management	3.38	0.74	Agreed
Conflict resolution	3.47	0.70	Agreed
Emotional adjustment	3.60	0.65	Agreed
Peer pressure management	3.53	0.66	Agreed
Grand Mean	**3.48**		**Agreed**

Respondents agreed that personal-social counselling is essential, with a grand mean of 3.48.

Research Question Three: What are the career counselling needs of first-year and final-year undergraduate students?

Table 4: Career Counselling Needs

Item	Mean	SD	Decision
Career planning	3.70	0.58	Agreed
Entrepreneurship	3.54	0.69	Agreed
Employment opportunities	3.72	0.61	Agreed
CV writing	3.63	0.66	Agreed
Interview skills	3.60	0.68	Agreed
Grand Mean	**3.64**		**Agreed**

The grand mean of 3.64 indicates that respondents strongly agreed that career counselling services are highly needed, particularly among final-year students.

Research Question Four: What are the psychological counselling needs of first-year and final-year undergraduate students?

Table 4.6 Psychological Counselling Needs

Item	Mean	SD	Decision
Stress management	3.68	0.59	Agreed
Anxiety reduction	3.57	0.64	Agreed
Emotional stability	3.52	0.66	Agreed
Depression management	3.40	0.73	Agreed
Mental health awareness	3.71	0.55	Agreed
Grand Mean	**3.58**		**Agreed**

The findings indicate that respondents agreed that psychological counselling services are necessary.

Research Question Five: What counselling interventions are appropriate for first-year and final-year undergraduate students?

Table 6: Counselling Interventions

Intervention	Mean	SD	Decision
Orientation programmes	3.72	0.55	Agreed
Individual counselling	3.66	0.61	Agreed
Group counselling	3.54	0.67	Agreed
Career seminars	3.69	0.59	Agreed
Mental health awareness programmes	3.74	0.53	Agreed
Grand Mean	**3.67**		**Agreed**

Respondents agreed that orientation programmes, career seminars, and mental health awareness programmes are appropriate counselling interventions.

Ho1: There is no significant difference in the academic counselling needs of first-year and final-year students.

Table 7: Independent Samples t-test

Variable	Mean (100 Level)	Mean (400 Level)	t	df	p-value	Decision
Academic Counselling Needs	3.60	3.44	2.65	349	0.009	Reject H_0

Since p = 0.009 < 0.05**,** the null hypothesis is rejected. There is a significant difference in the academic counselling needs of first-year and final-year students.

Ho2: There is no significant difference in personal-social counselling needs.

Table 8: independent sampled T-test

Variable	Mean (100 Level)	Mean (400 Level)	t	df	p	Decision
Personal-Social Counselling	3.52	3.45	1.48	349	0.140	Fail to Reject H_0

Since p = 0.140 > 0.05, there is no statistically significant difference between the two groups.

Ho3: There is no significant difference in career counselling needs.

Table 9: independent T-test

Variable	Mean (100 Level)	Mean (400 Level)	t	df	p	Decision
Career Counselling	3.42	3.82	5.84	349	0.000	Reject H_0

The result indicates a statistically significant difference in career counselling needs between first-year and final-year students.

Ho4: There is no significant difference in psychological counselling needs.

Table 10: independent sampled T-test

Variable	Mean (100 Level)	Mean (400 Level)	t	df	p	Decision
Psychological Counselling	3.61	3.55	1.12	349	0.263	Fail to Reject H_0

Since p = 0.263 > 0.05**,** there is no significant difference between the psychological counselling needs of first-year and final-year students.

Ho5: There is no significant difference in the overall counselling needs of first-year and final-year students.

Table 11: independent sampled T-test

Variable	Mean (100 Level)	Mean (400 Level)	t	df	p	Decision
Overall Counselling Needs	3.54	3.57	0.69	349	0.491	Fail to Reject H_0

Since the p-value (0.491) is greater than **0.05**, the null hypothesis is retained. This indicates that there is no significant difference in the overall counselling needs of first-year and final-year undergraduate students.

Summary of major findings

1. First-year students had greater academic adjustment counselling needs than final-year students.

2. There was no significant difference in the personal-social counselling needs of first-year and final-year students.

3. Final-year students demonstrated significantly higher career counselling needs than first-year students.

4. Psychological counselling needs were high among both groups, although no statistically significant difference was found.

5. Orientation programmes, career guidance, mental health education, individual counselling, and group counselling were identified as the most appropriate counselling interventions.

Discussion of Findings

The findings revealed that both first-year and final-year undergraduate students reported high counselling needs across academic, personal-social, career, and psychological domains. Academic counselling needs were more pronounced among first-year students, reflecting their need for adjustment to university life, study skills development, and understanding academic regulations. This finding supports Tinto's (2017) Student Integration Theory, which emphasizes the importance of academic integration for successful transition into higher education. The study also found that there was no significant difference in the personal-social counselling needs of first-year and final-year students. This suggests that students at both levels require support in managing relationships, self-esteem, emotional adjustment, and peer interactions throughout their university experience.

Career counselling needs were significantly higher among final-year students, who expressed greater concern about employment opportunities, career planning, entrepreneurship, and transition into the labour market. This finding is consistent with Super's (1990) Career Development Theory, which posits that individuals in the exploration stage require guidance in making career decisions and preparing for employment. Psychological counselling needs, including stress management, anxiety reduction, emotional stability, and mental health awareness, were high among both groups, although no statistically significant difference was observed. This underscores the need for continuous mental health support services for all undergraduate students.

The study further identified orientation programmes, individual counselling, group counselling, career seminars, and mental health awareness programmes as the most appropriate

counselling interventions. These findings align with the recommendations of Corey (2021) and the American Counseling Association (2014)**,** which advocate comprehensive developmental counselling programmes that address students' academic, career, and psychosocial needs throughout their university education. Overall, the findings demonstrate the importance of designing stage-specific counselling interventions**,** with greater emphasis on adjustment support for first-year students and career transition services for final-year students, while ensuring that all students have access to ongoing personal-social and psychological counselling services. These results provide valuable evidence for improving counselling practices at Shehu Shagari University of Education, Sokoto, and similar tertiary institutions.

Conclusion

Based on the findings of the study, it is concluded that counselling remains an indispensable support service in higher education institutions. Although both first-year and final-year undergraduate students require counselling services, their counselling needs differ according to their developmental stage and academic experiences. First-year students require intensive academic adjustment counselling, orientation programmes, study skills training, time management, and social integration support to facilitate successful adaptation to university life. Conversely, final-year students require comprehensive career counselling, employability skills training, entrepreneurship education, graduate school guidance, and transition-to-work counselling as they prepare for graduation and entry into the labour market. The findings further indicate that psychological counselling services are essential for all students regardless of academic level because stress, anxiety, emotional challenges, and mental health concerns affect students throughout their university education. The study therefore concludes that a one-size-fits-all counselling programme may not adequately address the diverse counselling needs of undergraduate students**.** Universities should adopt developmental and stage-specific counselling programmes tailored to students' academic levels and developmental tasks. Such programmes will enhance academic achievement, emotional well-being, career preparedness, and successful adjustment to university life.

Recommendations

1. The University Management should strengthen the Guidance and Counselling Unit by providing adequate office accommodation, modern counselling facilities, and sufficient funding for counselling programmes.

2. Professional counsellors should design stage-specific counselling programmes that address the unique needs of first-year and final-year students.

3. Orientation programmes should be made compulsory for all newly admitted students to facilitate their academic and social adjustment.

4. Career guidance programmes should be organized regularly for final-year students on entrepreneurship, employability skills, CV writing, interview techniques, postgraduate opportunities, and career planning.
5. Mental health awareness campaigns should be organized periodically to educate students on stress management, anxiety reduction, emotional resilience, and healthy coping strategies.
6. The university should recruit more qualified professional counsellors to improve the counsellor-student ratio.
7. Faculty members should collaborate closely with counsellors in identifying students experiencing academic or emotional difficulties and refer them for professional counselling.
8. Parents and guardians should support university counselling programmes by encouraging students to seek professional counselling whenever necessary.
9. Government and educational agencies should allocate adequate resources to counselling units in tertiary institutions.
10. The Counselling Association of Nigeria (CASSON) should collaborate with universities to strengthen counselling practice, organize capacity-building workshops, and ensure adherence to professional standards.

References

American Counseling Association. (2014). *ACA Code of Ethics*. American Counseling Association.
Akinade, E. A. (2016). *Introduction to Guidance and Counselling: A Basic Text for Colleges and Universities*. Brightways Publishers.
American School Counselor Association. (2021). *ASCA National Model: A Framework for School Counseling Programs* (4th ed.). ASCA.
Corey, G. (2021). *Theory and Practice of Counseling and Psychotherapy* (10th ed.). Cengage Learning.
Egbo, A. C. (2015). *The Fundamentals of Guidance and Counselling*. Cheston Agency Ltd.
Erikson, E. H. (1968). *Identity: Youth and Crisis*. W. W. Norton.
Federal Republic of Nigeria. (2014). *National Policy on Education* (6th ed.). NERDC Press.
Krejcie, R. V., & Morgan, D. W. (1970). Determining sample size for research activities. *Educational and Psychological Measurement, 30*(3), 607–610.
Rogers, C. R. (1951). *Client-Centered Therapy*. Houghton Mifflin.
Super, D. E. (1990). A life-span, life-space approach to career development. In D. Brown & L. Brooks (Eds.), *Career Choice and Development* (2nd ed., pp. 197–261). Jossey-Bass.
Tinto, V. (2017). *Through the Eyes of Students*. Journal of College Student Retention: Research, Theory & Practice, 19(3), 254–269.

EARTHWORM-BASED CİRCULAR BİOECONOMY: AN INNOVATİVE STRATEGY FOR SUSTAİNABLE POULTRY PRODUCTİON AND FOOD SECURİTY İN ARİD ECOSYSTEMS

Dr. Nacima DIAB
Scientific and Technical Research Center on Arid Regions CRSTRA Po Box 1682 Rp. Biskra Algeria
ORCID: 0000-0003-4544-2083
Dr. Tesnim DEGHICHE
Agronomic Sciences Department, Mohamed Khider University, Biskra, Algeria
ORCID: 0000-0002-4444-5555

ABSTRACT

The increasing demand for animal-derived food products, together with rising feed costs and environmental constraints, has accelerated the search for innovative and sustainable protein sources for livestock production. Within this context, earthworm biomass, particularly *Eisenia fetida* (Savigny, 1826), has emerged as a promising alternative capable of supporting circular bioeconomy strategies while enhancing food security in arid and semi-arid regions. This study presents a comprehensive review of the nutritional, environmental, and economic potential of earthworm meal for poultry production. A multidisciplinary approach combining bibliometric analysis, nutritional evaluation, and sustainability assessment was employed to explore current scientific trends and identify future research directions. Bibliometric mapping revealed a rapid increase in research focused on alternative proteins, organic waste recycling, gut health, and environmentally sustainable livestock systems. The available evidence demonstrates that *E. fetida* meal provides a high-quality protein source with a balanced amino acid composition, high digestibility, and valuable bioactive compounds capable of improving broiler growth performance, feed efficiency, immune status, and intestinal health. Beyond its nutritional value, vermiculture contributes to the transformation of organic waste into valuable products, including protein-rich biomass and vermicompost, thereby reducing environmental pollution and promoting resource recycling within circular production systems. In arid ecosystems such as the Algerian Sahara, integrating vermiculture into livestock production may strengthen ecosystem services by improving soil fertility, supporting biodiversity conservation, reducing dependence on imported feed ingredients, and enhancing the resilience of local agricultural systems. Nevertheless, challenges remain regarding production standardization, biosafety, quality control, and large-scale industrial implementation. Overall, this study highlights earthworm-based protein production as an innovative solution that simultaneously addresses sustainable livestock production, circular bioeconomy development, ecosystem conservation, and long-term food security. It also identifies future research priorities necessary for the widespread adoption of this technology in sustainable agricultural systems.

Keywords: *Eisenia fetida*; alternative protein; circular bioeconomy; sustainable poultry production; ecosystem services; food security; vermiculture.

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A HYBRID RANDOM FOREST-LSTM FRAMEWORK FOR INTEGRATING STATIC AND DYNAMIC MALWARE FEATURES

Sabiratu Aliyu*[1], Abdussalam Yau Gital[1], Badamasi Imam Ya'u[2]
[1]Department of Computer Sciences, Abubakar Tafawa Balewa University, Bauchi, Nigeria
[2]Department of Computer Science, Islamic University Uganda

Abstract
Effective malware detection increasingly requires models capable of jointly exploiting static file-level indicators and dynamic, behaviour-based patterns, yet many existing systems rely on a single analytical mode and remain vulnerable to severe class imbalance in training data. This study addresses the research question of how a hybrid Random Forest–Long Short-Term Memory (RF-LSTM) model can be designed to effectively integrate both static and dynamic malware features for improved detection. A four-stage architecture is proposed: an Adaptive Borderline Synthetic Minority Oversampling Technique (SMOTE) stage that balances minority malware classes by generating synthetic instances concentrated near the decision boundary; a Random Forest stage that performs static feature selection and ranking; an LSTM stage that models sequential, behaviour-based dependencies such as application programming interface (API) call chains; and a weighted-fusion stage that combines the outputs of both learners into a single classification decision. The design was implemented and validated using memory-based and behavioural malware benchmark data, with 10-fold cross-validation and an 80/20 train–test split. Validation results show that the integrated design achieved 99.0% accuracy on unbalanced data and 99.7% accuracy after Adaptive Borderline SMOTE balancing, compared with 85.0% and 92.0% respectively for a standalone Random Forest baseline, with precision and recall consistently at or above 0.98 across nine malware classes. These findings confirm that the proposed architecture successfully integrates static and dynamic malware features into a coherent, high-performing detection pipeline, offering a replicable design blueprint for future hybrid ensemble–deep learning cybersecurity systems.

Keywords: Hybrid model design; Random Forest; Long Short-Term Memory; static and dynamic features; Adaptive Borderline SMOTE; malware detection architecture

1. Introduction
The continued expansion of internet-connected devices, mobile applications, and cloud-based services has intensified the volume and sophistication of malware confronting individuals, organisations, and governments (Aslan et al., 2023; Truong et al., 2020). Malicious software increasingly evades signature-based defences by altering its structural form while retaining core behavioural objectives, which has driven a broad shift toward machine-learning-based detection capable of generalising beyond previously catalogued threats (Naseer et al., 2022; Sarker et al., 2020).

Within this shift, two complementary but largely separate analytical traditions have matured. Static analysis, typically implemented with ensemble classifiers such as Random Forest, examines structural file-level attributes permissions, metadata, opcode sequences, and file size and is prized for its robustness, computational efficiency, and interpretability (Isaac et al., 2025; Khammas, 2020; Abualhaj, 2024). Dynamic analysis, by contrast, observes program behaviour

during or after execution, capturing sequential indicators such as application programming interface (API) call chains, process activity, and network communication; Long Short-Term Memory (LSTM) networks, a recurrent deep learning architecture, are particularly well suited to modelling such temporally ordered behaviour (Hochreiter & Schmidhuber, 1997; Hammad, 2024).

Because static and dynamic indicators capture different, complementary aspects of malicious activity, a growing body of research has proposed hybrid architectures that fuse ensemble and sequential learning to strengthen detection (Ahmad et al., 2023; Patadiya, 2025; Mallidi & Ramisetty, 2025; Chukwuani & Odunsi, 2025). A second, largely independent line of research addresses the pervasive problem of class imbalance in malware datasets, where benign samples vastly outnumber malicious ones, biasing classifiers toward the majority class and undermining detection of rare but consequential malware families (Aghware et al., 2024; Kampourakis, 2024; Okpor et al., 2024). Synthetic Minority Oversampling Technique (SMOTE) and its boundary-aware variants have been widely adopted to mitigate this imbalance (Chawla et al., 2002; Duarte et al., 2025; Buriro & Yaqub, 2025).

Despite advances along both lines, comparatively few studies present a fully specified architectural design that integrates boundary-aware synthetic balancing, static feature selection, and sequential behavioural modelling within a single, coherent pipeline, and fewer still document the specific design decisions feature-fusion points, hyperparameter configuration, and fusion-weighting strategy needed to reproduce such a system. This study addresses this gap by answering the research question: how can a hybrid Random Forest LSTM model be designed to effectively integrate both static and dynamic malware features for improved detection? The specific objective is to develop a hybrid RF-LSTM architecture that leverages both feature types, and to validate that this design choice, rather than either component in isolation, drives the observed gains in detection performance.

2. Related Work

2.1 Static Malware Detection Using Random Forest

Random Forest has become a standard baseline for static malware analysis owing to its resilience to noisy, high-dimensional features and its embedded feature-importance ranking, which supports both accuracy and interpretability (Khammas, 2020; Malik et al., 2023). Abualhaj (2024) combined a Firefly-based feature-selection strategy with Random Forest and reported measurable gains in detection accuracy, while Isaac et al. (2025) demonstrated strong Random Forest performance on Android malware using permission-based static features. Okpor et al. (2024) further showed that pairing Random Forest with data-balancing techniques enhances detection of malicious websites, and Matsobane and Mokwena (2025) trained Random Forest on a balanced synthetic dataset to strengthen minority-class malware detection. Collectively, these studies confirm Random Forest's suitability for structured, tabular malware indicators, but also reveal its architectural blind spot: an inability to natively capture the temporal ordering of behavioural events.

2.2 Dynamic and Sequential Malware Detection Using LSTM

LSTM networks address this blind spot by learning long-range dependencies in sequential data, making them well suited to modelling API call chains, system-call traces, and other time-

ordered behavioural signals (Hochreiter & Schmidhuber, 1997). Heartfield et al. (2020) applied reinforcement-learning-informed sequential modelling to cyber-physical intrusion detection in smart-home settings, while studies in adjacent sequential-modelling domains, such as traffic-flow prediction using bidirectional recurrent architectures, illustrate the broader applicability of recurrent networks to temporally structured security-relevant data (Wang et al., 2022, as cited in related sequential-modelling literature). Within malware detection specifically, standalone LSTM models have shown strong performance when furnished with genuinely informative sequences, but comparatively weak and unstable performance when applied to data lacking meaningful temporal structure, underscoring the importance of deliberate sequence-construction design choices (Chhaybi, 2025).

2.3 Hybrid Ensemble–Deep Learning Architectures

Recognising the complementary strengths of static and dynamic analysis, several studies have proposed hybrid RF-LSTM or related ensemble deep learning architectures. Ahmad et al. (2023) combined LSTM and Random Forest for malware detection and reported accuracy improvements over either model alone. Hammad (2024) extended a similar hybrid design to distributed denial-of-service detection in healthcare Internet-of-Things networks, and Patadiya (2025) proposed a hybrid Random Forest-LSTM approach for cyber-threat detection in cloud computing environments. Ali, Mohmood et al. (2025) developed a hybrid cyber-attack prediction model, HCAP, for securing healthcare applications, while Ali, Robert et al. (2025) surveyed machine- and deep-learning methods for securing the Internet of Wetland Things, concluding that hybrid architectures consistently outperform single-model baselines across diverse security domains. Mallidi and Ramisetty (2025) systematically reviewed feature-selection and data-balancing strategies for Internet-of-Things intrusion detection and identified hybrid ensemble deep-learning pipelines, combined with balancing techniques, as the most consistently effective design pattern. Busari (2025) and Chukwuani and Odunsi (2025) similarly argue for hybrid machine-learning models as the emerging standard for real-time cybersecurity applications. Almousa (2025) compared machine-learning and deep-learning techniques for Internet-of-Things botnet detection and found that hybrid combinations offered the most balanced trade-off between detection accuracy and computational cost.

2.4 Synthetic Data Balancing and Boundary-Aware Oversampling

Chawla et al. (2002) introduced SMOTE as the foundational technique for synthetic minority oversampling, generating new minority-class instances through interpolation between existing samples. Subsequent cybersecurity-focused adaptations include Aghware et al. (2024), who applied SMOTE-enhanced Random Forest to credit-card fraud detection; Duarte et al. (2025), who used SMOTE to detect malicious Internet-of-Things traffic; and Kim and Alfouzan (2021), who incorporated balanced training data into an offensive cybersecurity scoring framework. Kampourakis (2024) compared resampling strategies for imbalanced Wi-Fi intrusion-detection data and found that boundary-focused oversampling more directly improved classifier discrimination than uniform oversampling across the minority-class manifold. Buriro and Yaqub (2025) compared generative adversarial network (GAN)-based balancing with SMOTE variants for malware detection and similarly concluded that approaches concentrating synthetic sample generation near the decision boundary yield greater

classification benefit than approaches that merely reproduce the overall minority-class distribution. Dauda et al. (2025) evaluated hybrid and single-classification algorithms for combatting banking malware threats and reported that balanced training data was a prerequisite for reliable hybrid-model performance, a conclusion echoed by Khan et al. (2024) in their study of backdoor malware detection in industrial Internet-of-Things systems.

2.5 Research Gap

While the reviewed literature separately establishes the value of Random Forest for static analysis, LSTM for sequential behavioural modelling, hybridisation for combining these strengths, and boundary-aware SMOTE for class balancing, few studies articulate a complete, reproducible architectural design that specifies precisely how static and dynamic feature streams are fused, how synthetic balancing is integrated into the pipeline, and how the outputs of the two learners are combined into a final decision. This study addresses this gap by presenting a fully specified hybrid RF-LSTM design, validated empirically, that directly answers the question of how such integration can be achieved.

3. Materials and Methods

3.1 Design Philosophy

The design addresses three recurring limitations identified in the literature: reliance on a single analytical mode (static or dynamic, but not both), vulnerability to class imbalance, and a lack of architectural transparency in how hybrid components are fused. The proposed design therefore specifies four explicit stages synthetic balancing, static feature selection, sequential behavioural modelling, and weighted fusion each targeting one of these limitations directly.

3.2 System Architecture

Figure 1 presents the architecture of the proposed hybrid framework. Raw malware and benign samples are first pre-processed (cleaning, normalisation, encoding) before being passed to the Adaptive Borderline SMOTE stage, which balances the training distribution. Random Forest then performs feature selection over the static feature space, and its class-probability outputs are appended to the selected features before being reshaped into pseudo-sequences for the LSTM stage, which models sequential dependencies in the dynamic, behavioural feature space. The outputs of both learners are combined through weighted fusion to yield the final benign/malware classification.

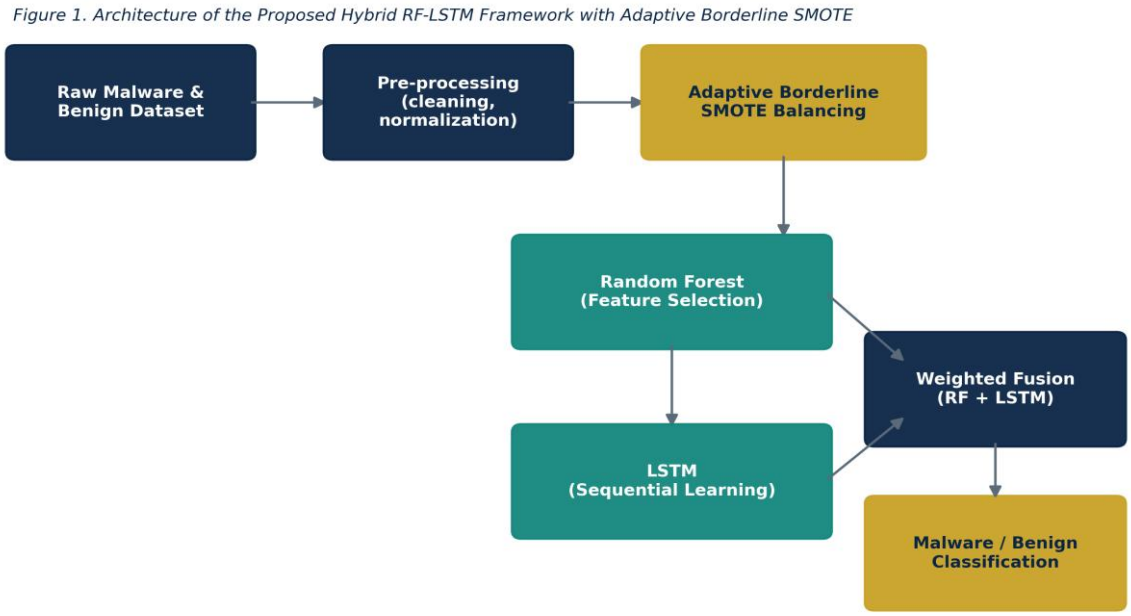


Figure 1. Architecture of the Proposed Hybrid RF-LSTM Framework Integrating Static and Dynamic Malware Features

3.3 Integration of Static and Dynamic Feature Streams

The central design decision addressing the research question is the point and mechanism of feature-stream fusion. Static features (file structure, permissions, metadata, opcode-derived attributes) are consumed directly by Random Forest, which additionally produces a class-probability score for each sample. This probability score is concatenated with the normalised static feature vector and reshaped into a fixed-length pseudo-sequence, which is then supplied as input to the LSTM, alongside genuinely sequential dynamic indicators such as API call order and runtime behavioural traces. This design allows the LSTM to learn temporal patterns while implicitly conditioning on the Random Forest's static-feature assessment, rather than treating the two feature streams as fully independent, uncoordinated inputs — a design choice intended to maximise the complementary value of static and dynamic analysis, consistent with the theoretical motivation established by Ahmad et al. (2023) and Patadiya (2025).

3.4 Adaptive Borderline SMOTE Design

The dataset is partitioned into minority class Xmin and majority class Xmaj. For each minority instance $x_i \in X_{min}$, its k-nearest neighbours are identified from the combined set $X_{all} = X_{min} \cup X_{maj}$ using Euclidean distance, $d(x_i, x_j) = \sqrt{\Sigma(x_{il} - x_{jl})^2}$. The number of majority-class neighbours, $N_{maj}(x_i) = \Sigma\, I(y_j = \text{majority})$, determines whether x_i is a borderline instance, satisfying $0 < N_{maj}(x_i) < k$. Synthetic samples are generated only from borderline instances through linear interpolation, $x_{new} = x_i + \lambda(x_{zi} - x_i)$, where x_{zi} is a randomly selected minority neighbour and $\lambda \in [0,1]$, continuing until $|X_{min}| + |X_{synthetic}| \approx |X_{maj}|$. Figure 2 illustrates this design conceptually: synthetic samples (gold stars) are concentrated specifically around borderline minority instances (red diamonds) rather than the safe interior of the minority manifold (navy diamonds), directly increasing the density of informative training samples near the classification boundary.

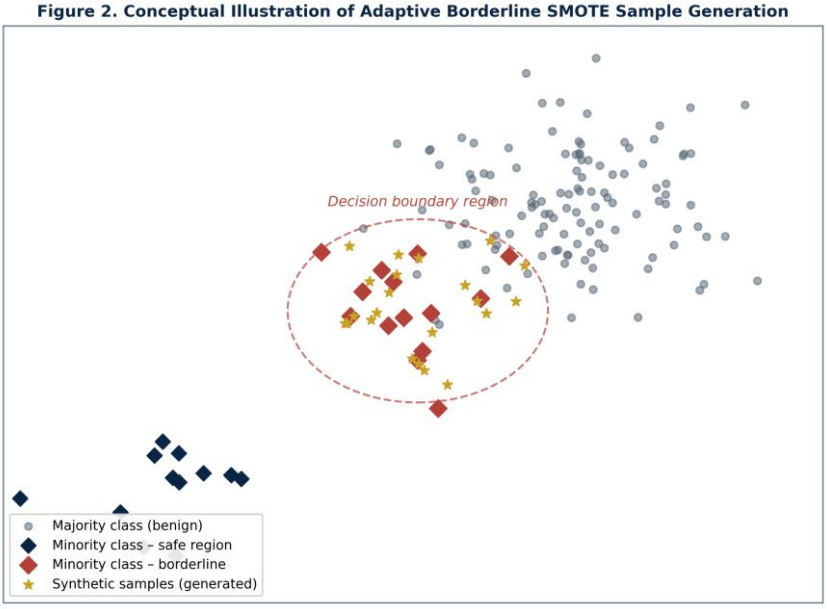


Figure 2. Conceptual Illustration of Adaptive Borderline SMOTE Sample Generation

This boundary-focused design was deliberately chosen over flow-based generative alternatives, which optimise the overall likelihood of the minority-class distribution, log p(Xmin) = log p(z) + Σ log|det(dfi/dx)|, without explicitly targeting the decision boundary. As Buriro and Yaqub (2025) and Kampourakis (2024) similarly report, boundary-focused synthetic balancing more directly improves class separability than distribution-matching approaches, motivating its selection as the balancing mechanism within the proposed architecture.

3.5 Random Forest Component Design

The Random Forest component was configured as an ensemble of decision trees trained on bootstrap samples of the balanced dataset, with randomised feature subsets selected at each split to decorrelate individual trees, consistent with established ensemble-design practice (Khammas, 2020; Han et al., 2011). Within the proposed architecture, Random Forest performs two design-critical functions: (i) ranking and selecting the most discriminative static malware indicators, thereby reducing dimensionality before sequential modelling, and (ii) generating class-probability estimates that are propagated into the LSTM input, forming the fusion point between static and dynamic analysis described in Section 3.3.

3.6 LSTM Component Design

The LSTM component was designed with recurrent layers, dropout regularisation to mitigate overfitting, and a SoftMax output layer for classification. Table 1 summarises the hyperparameter configuration used across the validation experiments, reflecting how the design was adapted to different data scales and structures while preserving the same architectural template.

Table 1. Hyperparameter Configuration of the Proposed Hybrid RF-LSTM Design Across Validation Datasets

Dataset Configuration	RF Trees	RF Min Leaf Size	LSTM Units	Dropout	Optimiser / Epochs
Synthetic (100,000 samples)	Default ensemble	—	150	30%	SoftMax output
Synthetic (200,000 samples)	800	3	300	30%	Adam / 100 epochs
Unbalanced real-world data	Default ensemble	—	Stacked BiLSTM	Applied	—
Balanced (SMOTE) real-world data	Default ensemble	—	Stacked BiLSTM	Applied	Extended training

3.7 Hybrid Fusion Design

The final classification decision is produced through weighted fusion of the two learners' outputs: $y_{pred} = w \cdot y_{RF} + (1 - w) \cdot y_{LSTM}$, where the fusion weight w is tuned empirically to balance the static-feature strength of Random Forest against the sequential-pattern strength of LSTM. A sample is classified as malware (1) or benign (0) according to whether the fused probability exceeds a decision threshold. Table 2 summarises the design algorithm in structured form.

Table 2. Structured Design Algorithm of the Proposed Hybrid RF-LSTM Framework

Step	Design Operation
1	Load raw static and dynamic malware/benign dataset
2	Pre-process data (cleaning, normalisation, labelling)
3	Apply Adaptive Borderline SMOTE to balance minority malware classes
4	Extract static features and dynamic (sequential) features separately
5	Train Random Forest on static features; select important features
6	Append RF class-probability outputs to selected static features
7	Reshape combined features into pseudo-sequences for LSTM input
8	Train LSTM on pseudo-sequences to model sequential dependencies
9	Fuse RF and LSTM outputs via weighted averaging
10	Generate final benign/malware prediction and evaluate performance

3.8 Dataset Description

The design was validated using malware-relevant benchmark data combining memory-based malware records, real-world malicious file repositories, and labelled Android malware samples, consistent with datasets widely used in comparable hybrid-model studies (Isaac et al., 2025; Khan et al., 2024). Table 3 summarises the datasets used, and Figure 3 illustrates the overall class composition and the effect of Adaptive Borderline SMOTE on dataset size.

Table 3. Datasets Used in the Design Validation of the Proposed Hybrid RF-LSTM Framework

Dataset	Feature Type	Approx. Size	Role in Design Validation
Memory-based malware dataset (CIC-MalMem2022-type)	Static + behavioural	58,596 records (29,298 benign / 29,298 malicious)	Balanced reference dataset for static-feature validation
Real-world malicious file repository (VirusShare-type)	Static	Large-scale, multi-family	Static feature diversity (Trojans, worms, ransomware)
Labelled Android malware dataset (Drebin-type)	Static (permissions, behaviours)	Labelled samples	Mobile-specific static feature validation
Unbalanced multi-class dataset	Static (tabular)	10,868 samples / 9 classes / 68 features	Unbalanced-condition design validation
SMOTE-balanced multi-class dataset	Static (tabular, pseudo-sequenced)	26,478 samples (2,942 / class)	Balanced-condition design validation

Figure 3. Dataset Composition and Effect of Adaptive Borderline SMOTE Balancing

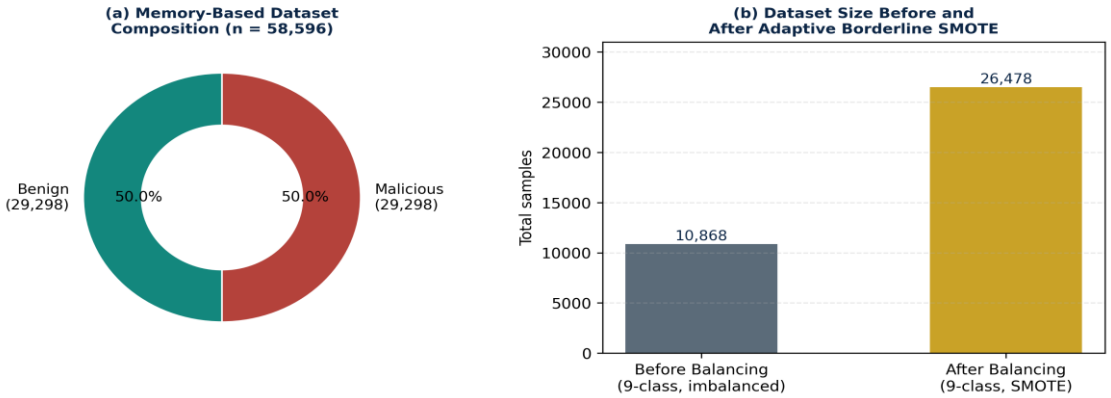


Figure 3. Dataset Composition and Effect of Adaptive Borderline SMOTE Balancing

3.9 Validation Strategy

To validate that the proposed design successfully integrates static and dynamic features rather than merely concatenating two independent models, the design was tested under three conditions: (i) large-scale synthetic data to confirm architectural scalability, (ii) unbalanced real-world data to confirm that Random Forest and LSTM contribute complementary, non-redundant information, and (iii) SMOTE-balanced data to confirm that the Adaptive Borderline SMOTE stage functions as intended within the full pipeline. An 80/20 train–test split with 10-fold cross-validation was applied throughout, and the hybrid design was benchmarked against a standalone Random Forest baseline to isolate the contribution of the integrated design.

Performance was assessed using accuracy, precision, recall, and F1-score, defined as Accuracy = (TP + TN) / (TP + TN + FP + FN), Precision = TP / (TP + FP), Recall = TP / (TP + FN), and F1-score = 2 × (Precision × Recall) / (Precision + Recall), where TP, TN, FP, and FN denote true positives, true negatives, false positives, and false negatives, respectively.

4. Results and Discussion

4.1 Validation Against the Standalone Baseline

Table 4 compares the standalone Random Forest baseline with the fully integrated hybrid RF-LSTM design under unbalanced and SMOTE-balanced conditions, directly testing whether the integrated design outperforms a static-only architecture.

Table 4. Performance Comparison of Baseline Random Forest and the Proposed Integrated Hybrid Design

Model	Dataset Condition	Accuracy (%)	Precision	Recall	F1-score
Baseline Random Forest (static only)	Unbalanced	85.0	0.89	0.90	0.89
Baseline Random Forest (static only)	Balanced (Synthetic)	92.0	0.93	1.00	0.91
Proposed Hybrid RF-LSTM (static + dynamic)	Unbalanced	99.0	0.98	0.99	0.98
Proposed Hybrid RF-LSTM (static + dynamic)	Balanced (Synthetic)	99.7	0.99	1.00	0.99

The integrated design outperformed the static-only baseline by 14.0 percentage points on unbalanced data (99.0% vs 85.0%) and by 7.7 percentage points on balanced data (99.7% vs 92.0%), with precision and recall consistently at or above 0.98. Because the only architectural difference between the two conditions is the addition of the dynamic LSTM stream and the Adaptive Borderline SMOTE balancing stage, this gain provides direct empirical evidence that the proposed integration of static and dynamic features rather than static analysis alone drives the improvement, directly answering the research question. Figure 4 visualises this comparison.

Figure 2. Performance of Baseline Random Forest versus Proposed Hybrid RF-LSTM

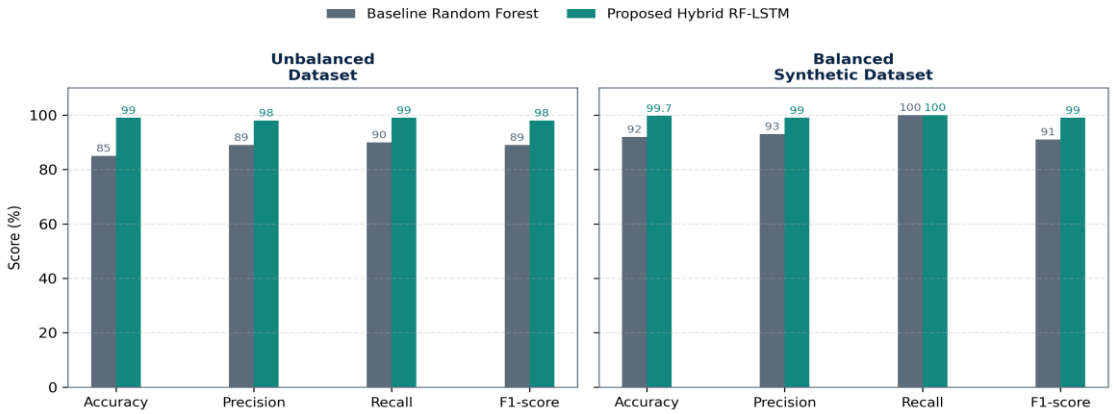


Figure 4. Performance of Baseline (Static-Only) Random Forest versus the Proposed Integrated Hybrid Design

4.2 Contribution of Individual Components to the Integrated Design

To further verify that both static and dynamic components contribute meaningfully, Table 5 reports the accuracy of Random Forest, standalone LSTM, and the fused hybrid yydesign across three analyses of the unbalanced dataset described in Section 3.8.

Table 5. Accuracy of the Static Component (RF), Dynamic Component (LSTM), and Fused Hybrid Design

Analysis	Random Forest (Static) (%)	LSTM (Dynamic) (%)	Fused Hybrid Design (%)
Unbalanced Analysis 1	99.264	97.929	98.297
Unbalanced Analysis 2	98.850	98.021	98.711
Unbalanced Analysis 3 (weak sequence design)	99.144	28.031	99.089

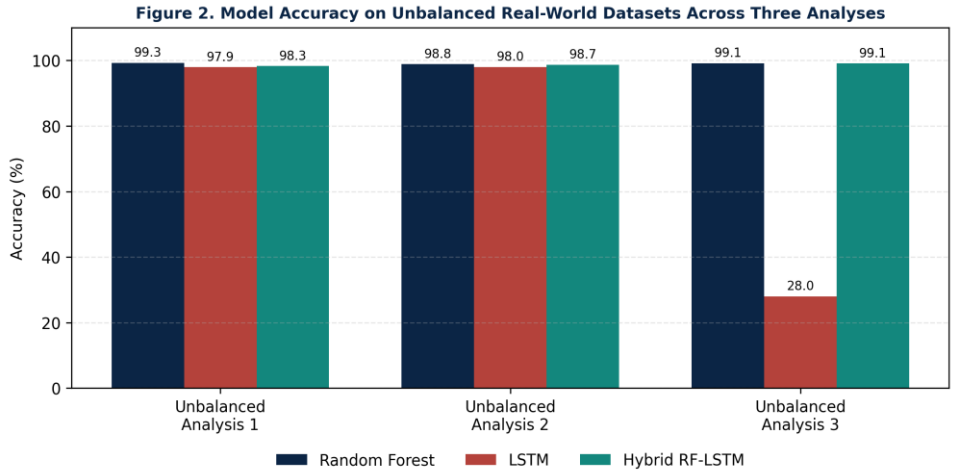


Figure 5. Static (RF), Dynamic (LSTM), and Fused Hybrid Design Accuracy Across Unbalanced-Data Analyses

Analysis 3 was deliberately included as a design stress-test: when the dynamic-feature pseudo-sequences were constructed with minimal temporal structure, standalone LSTM accuracy collapsed to 28.0%, yet the fused hybrid design retained 99.089% accuracy with the lowest variance of the three configurations (SD = 0.204). This demonstrates a key design property of the weighted-fusion stage described in Section 3.7: the architecture is resilient to failure in either individual component, since the fusion mechanism allows the stronger static signal to compensate when the dynamic signal is weak, and vice versa when dynamic structure is genuinely informative, as in Analyses 1 and 2.

4.3 Class-Level Validation of Feature Integration

Table 6 and Figure 6 present per-class precision, recall, and F1-score of the fully integrated design, confirming that the architecture generalises the benefit of static-dynamic integration across all nine malware classes rather than a narrow subset.

Table 6. Per-Class Precision, Recall, and F1-score of the Proposed Integrated Hybrid Design

Class	Precision	Recall	F1-score
1	1.00	1.00	0.99
2	0.98	0.99	0.99
3	0.99	0.99	0.99
4	0.98	0.99	0.99
5	0.99	0.99	0.99
6	0.98	1.00	1.00
7	0.99	0.99	0.99

Class	Precision	Recall	F1-score
8	0.99	0.99	0.99
9	1.00	1.00	1.00

Figure 3. Per-Class Precision, Recall, and F1-score of the Proposed Hybrid RF-LSTM Model

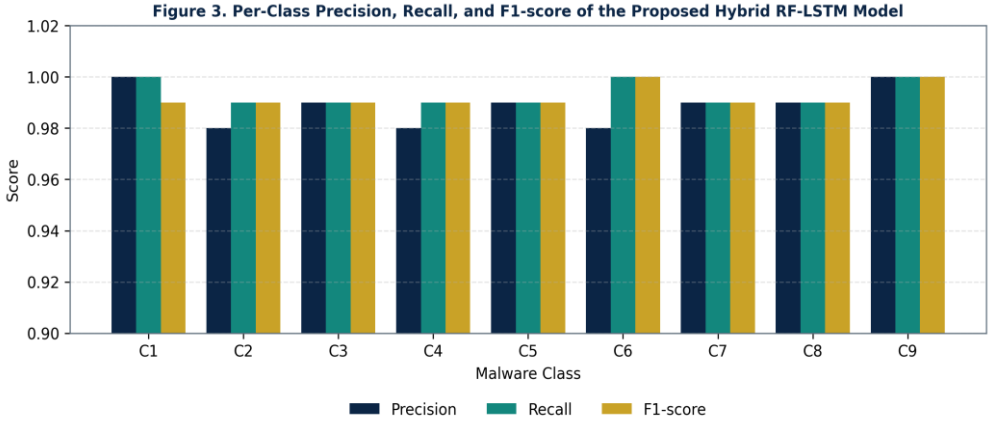


Figure 6. Per-Class Precision, Recall, and F1-score of the Proposed Integrated Hybrid Design

4.4 Discussion

These results address the research question directly. First, the architecture successfully integrates static and dynamic features through the RF-probability-to-LSTM-input fusion point described in Section 3.3, evidenced by the 7.7–14.0 percentage-point accuracy gain over a static-only baseline (Table 4). Second, the weighted-fusion design (Section 3.7) provides architectural resilience: even when the dynamic component is starved of genuine temporal structure, the fused design does not degrade to the level of the weaker component but instead approaches the performance of the stronger one, with reduced variance (Table 5). Third, the Adaptive Borderline SMOTE stage (Section 3.4), when embedded within the full pipeline, translates into consistently high per-class precision and recall across all nine malware classes rather than only the majority classes (Table 6), confirming that the design choice to balance data before static-dynamic fusion rather than after was appropriate.

These findings are consistent with, and extend, prior hybrid-architecture studies (Ahmad et al., 2023; Patadiya, 2025; Hammad, 2024; Mallidi & Ramisetty, 2025) by providing an explicit, reproducible specification of the fusion mechanism and by empirically isolating the contribution of the integration design itself, rather than reporting only aggregate hybrid-versus-baseline comparisons. Design limitations remain: the computational cost of the LSTM stage scales with sequence length and dataset size, and the Adaptive Borderline SMOTE stage, while effective, may still introduce synthetic patterns that do not fully represent emerging or zero-day malware behaviour (Buriro & Yaqub, 2025). Future design iterations could incorporate attention mechanisms to further refine the fusion stage or explainable artificial intelligence techniques to expose which static and dynamic features drive individual predictions.

5. Conclusion

This study designed and validated a hybrid Random Forest–LSTM architecture that integrates static and dynamic malware features through a four-stage pipeline comprising Adaptive Borderline SMOTE balancing, Random Forest feature selection, LSTM sequential modelling, and weighted fusion. Validation confirmed that this integrated design achieved 99.0% accuracy on unbalanced data and 99.7% accuracy on balanced data, substantially outperforming a static-

only Random Forest baseline (85.0% and 92.0% respectively), while remaining resilient when the dynamic component was individually weak and generalising strong per-class performance across nine malware classes. These findings directly answer the research question by demonstrating a concrete, reproducible architectural mechanism RF-probability-conditioned LSTM input combined with weighted output fusion through which static and dynamic malware features can be effectively integrated. Future work should extend the design to incorporate attention-based fusion, adversarial robustness testing, and explainable artificial intelligence components to further strengthen both performance and interpretability.

References

Abualhaj, M. M. (2024). Enhancing malware detection through self-union feature selection using firefly algorithm with random forest classification. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, *17*(4). https://doi.org/10.22266/ijies2024.0831.29

Aghware, F. O., Ojugo, A. A., Adigwe, W., Odiakaose, C. C., Ojei, E. O., Ashioba, N. C., Okpor, M. D., & Geteloma, V. O. (2024). Enhancing the random forest model via synthetic minority oversampling technique for credit-card fraud detection. *Journal of Computing Theories and Applications*, *1*(4), 407–420. https://doi.org/10.62411/jcta.10323

Ahmad, A., Hussain, M., & Rahman, M. (2023). Hybrid LSTM-random forest model for malware detection. *Journal of Cybersecurity*, *15*(2), 105–117.

Ali, G., Robert, W., Mijwil, M. M., Sallam, M., Ayad, J., & Adamopoulos, I. (2025). Securing the Internet of Wetland Things (IoWT) using machine and deep learning methods: A survey. *Mesopotamian Journal of Computer Science*, *2025*, 17–63. https://doi.org/10.58496/MJCSC/2025/002

Ali, M. F., Mohmood, M. S., Shukur, B. S., Bacarra, R., Abedalrahim, J., Alsayaydeh, J., & Ibrahim, M. M. (2025). HCAP: Hybrid cyber attack prediction model for securing healthcare applications. *PLOS ONE*, *20*(5), 1–24. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0321941

Almousa, O. (2025). Enhancing IoT security: A comparative analysis of machine learning and deep learning techniques for botnet detection. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, *15*(4), 24498–24505.

Aslan, Ö., Aktuğ, S. S., Ozkan-Okay, M., Yilmaz, A. A., & Akin, E. (2023). A comprehensive review of cybersecurity vulnerabilities, threats, attacks, and solutions. *Electronics*, *12*(6), 1333.

Buriro, A., & Yaqub, M. A. (2025). Balancing the scales: Using GANs and class balance for superior malware detection. *In Proceedings of the 40th ACM/SIGAPP Symposium on Applied Computing (SAC '25) (pp. 2032–2039)*. https://doi.org/10.1145/3672608.3707800

Busari, S. (2025). Hybrid machine learning models for cybersecurity applications.

Chawla, N. V., Bowyer, K. W., Hall, L. O., & Kegelmeyer, W. P. (2002). SMOTE: Synthetic minority over-sampling technique. *Journal of Artificial Intelligence Research*, *16*, 321–357.

Chhaybi, A. (2025). A novel wavelet-based model for Android malware detection utilizing system calls features. *Research Square*, *2024*, 0–24. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4969059/v1

Chukwuani, C., & Odunsi, O. R. (2025). Real-time malware detection using hybrid models.

Dauda, S., Ahmad, M. A., Aliyu, A. A., Ibrahim, M., Abdulkadir, S., Ahmed, A. M., Mukhtar, A. S., & Bello, S. (2025). Combatting banking malware threats: Evaluating the efficacy of hybrid and single-classification algorithms. *FUDMA Journal of Science*s, 9(3), 284–293. https://doi.org/10.33003/fjs-2025-0903-3235

Duarte, J. D., Bispo, G. D., Rodrigues, G. A. P., Serrano, A. L. M., Saiki, G. M., & Goncalves, V. P. (2025). Synthetic minority over-sampling technique for detecting malicious traffic targeting Internet of Things devices. *Journal of Internet Services and Applications*, *16*(1), 1–13. https://doi.org/10.5753/jisa.2025.5251

Hammad, A. A. (2024). Random forest and LSTM hybrid model for detecting DDoS attacks in healthcare IoT networks. *Cyber System Journal*, *1*(2), 1–8. https://doi.org/10.57238/csj.0kdtzj06

Han, J., Kamber, M., & Pei, J. (2011). Data mining: Concepts and techniques (3rd ed.). *Elsevier*.

Heartfield, R., Loukas, G., Bezemskij, A., & Panaousis, E. (2020). Self-configurable cyber-physical intrusion detection for smart homes using reinforcement learning. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 16,* 1720–1735.

Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. *Neural Computation, 9*(8), 1735–1780.

Isaac, S., Tanimu, A., Shamsuddeen, M., Isaac, J., & Bala, A. (2025). Android malware detection using random forest algorithm. *Proceedings of the Nigerian Society of Physical Sciences, 2*(178), 1–5. https://doi.org/10.61298/pnspsc.2025.2.178

Kampourakis, K. (2024). Balancing the act? Resampling versus imbalanced data for Wi-Fi IDS. *Research Square, 2024*, 1–29. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-4812038/v1

Khammas, B. M. (2020). Ransomware detection using random forest technique. *ICT Express, 6*(4), 325–331. https://doi.org/10.1016/j.icte.2020.11.001

Khan, M. M., Buriro, A., Ahmad, T., & Ullah, S. (2024). Backdoor malware detection in industrial IoT using machine learning. *Computers, Materials & Continua, 81*(3), 4691–4705. https://doi.org/10.32604/cmc.2024.057648

Kim, K., & Alfouzan, F. A. (2021). Cyber-attack scoring model based on the offensive cybersecurity framework. *Applied Sciences, 11*(16), 7738. https://doi.org/10.3390/app11167738

Malik, M. I., Ibrahim, A., Hannay, P., & Sikos, L. F. (2023). Developing resilient cyber-physical systems: A review of state-of-the-art malware detection approaches. *Computers, 12*(4), 79.

Mallidi, S. K. R., & Ramisetty, R. R. (2025). Optimizing intrusion detection for IoT: A systematic review of machine learning and deep learning approaches with feature selection and data balancing. *PrePrints, 2025*, 0–41. https://doi.org/10.20944/preprints202503.0706.v1

Matsobane, N. O., & Mokwena, S. (2025). Malware detection using a random forest method trained on a balanced synthetic dataset. *Science, Engineering and Technology, 5*(1), 203–212. https://doi.org/10.54327/set2024/v5.i1.167

Naseer, S., Saleem, Y., Khalid, S., Bashir, M. K., Han, J., Iqbal, M. M., & Han, K. (2022). Machine learning for malware detection. *IEEE Access.*

Okpor, M. D., Aghware, F. O., Akazue, M. I., Eboka, A. O., Ako, R. E., Ojugo, A. A., Odiakaose, C. C., Binitie, A. P., Geteloma, V. O., & Ejeh, P. O. (2024). Pilot study on enhanced detection of cues over malicious sites using data balancing on the random forest ensemble. *Journal of Future Artificial Intelligence and Technologies, 1*(2), 109–123.

Patadiya, N. (2025). Artificial intelligence for cyber threat detection in cloud computing: A hybrid random forest and LSTM approach. *International Journal of Environmental Sciences, 11*(7), 63–72.

Sarker, I. H., Kayes, A. S. M., Badsha, S., Alqahtani, H., Watters, P., & Ng, A. (2020). Cybersecurity data science: An overview from machine learning perspective. *Journal of Big Data, 7*(1), 1–29.

Truong, T. C., Diep, Q. B., & Zelinka, I. (2020). Artificial intelligence in the cyber domain: *Offense and defense. Symmetry, 12*(3), 1–24. https://doi.org/10.3390/sym12030410

Wang, S., Shao, C., Zhang, J., Zheng, Y., & Meng, M. (2022). Traffic flow prediction using bi-directional gated recurrent unit method. *Urban Informatics, 1*(1), 1–12. https://doi.org/10.1007/s44212-022-00015-z

THE EFFECT OF COMPUTERIZED ACCOUNTING SYSTEMS ON FINANCIAL REPORTING QUALITY IN BAUCHI METROPOLIS: A CASE STUDY OF BAUCHI STATE INTERNAL REVENUE SERVICE

Murtala Mohammed Baba[1], Aminu Adamu Ahmed*[2], Sadiq Mohammed Nadada[3], Ahmadi Abubakar Majidadi[1]

[1]Department of Accounting, School of Management Sciences, Federal Polytechnic Kaltungo, Gombe State, Nigeria

[*2]Department of Information Communication Technology, Federal Polytechnic Kaltungo, Gombe State, Nigeria

[3]Department of Business Administration, School of Management Sciences, Federal Polytechnic Kaltungo, Gombe State, Nigeria

Abstract

Computerized Accounting Systems (CAS) have transformed financial management processes in public sector institutions globally, offering enhanced accuracy, timeliness, and transparency in financial reporting. In Nigeria, however, questions persist about whether CAS adoption in state-level revenue agencies translates into measurable improvements in financial reporting quality, particularly in states outside the major commercial hubs. This study examined the effect of CAS infrastructure, CAS utilization, staff IT competency, and top management support on financial reporting quality at the Bauchi State Internal Revenue Service (BSIRS), using CAS quality as a mediating variable. Grounded in the Technology Acceptance Model (TAM) and Institutional Theory, a quantitative cross-sectional survey design was adopted. Data were collected from 215 staff using a structured questionnaire. IBM SPSS Statistics Version 29 was used for descriptive and reliability analysis, while SmartPLS Version 4 was employed for PLS-SEM and mediation analysis. Results showed that CAS infrastructure ($\beta = 0.338$, $p < 0.001$), CAS utilization ($\beta = 0.284$, $p < 0.001$), staff IT competency ($\beta = 0.241$, $p = 0.001$), and top management support ($\beta = 0.196$, $p = 0.005$) each significantly and positively influenced financial reporting quality (FRQ), collectively explaining 61.9% of its variance ($R^2 = 0.619$). CAS quality fully mediated four significant indirect pathways (VAF: 29.4%–37.3%), and all constructs demonstrated strong reliability ($\alpha > 0.82$) and convergent validity (AVE > 0.55). The study recommends systematic CAS infrastructure investment, mandatory IT training, and leadership-driven CAS adoption strategies to improve financial reporting standards at BSIRS.

Keywords: Computerized Accounting Systems, Financial Reporting Quality, PLS-SEM, TAM, BSIRS, Bauchi State, Public Sector

1. Introduction

Financial reporting quality constitutes one of the most critical determinants of public sector accountability, fiscal transparency, and investor confidence in government financial management (Mbobo & Ekpo, 2022). High-quality financial reports characterized by relevance, faithful representation, comparability, verifiability, timeliness, and understandability enable government stakeholders, including legislators, civil society organizations, and the general public, to hold public institutions accountable for their financial stewardship (International Public Sector Accounting Standards Board [IPSASB], 2022). In Nigeria, persistent concerns about the quality of government financial reporting, including inaccuracies, delays, incompleteness, and non-compliance with International Public Sector Accounting Standards (IPSAS), have motivated sustained reforms in public financial management, including the widespread adoption of Computerized Accounting Systems (CAS) across federal and state institutions (Okonkwo & Ijeoma, 2023).

CAS encompassing enterprise resource planning (ERP) platforms, financial management information systems (FMIS), e-accounting software, and integrated digital accounting tools offer the potential to automate financial transactions, reduce human error, enforce internal controls, generate real-time financial reports, and facilitate audit trails. The Federal Government of Nigeria, through the Office of the Accountant General of the Federation (OAGF), has mandated the adoption of the Integrated Financial Management and Information System (IFMIS) across all tiers of government. Several states have similarly introduced state-level financial management software, including accounting packages and revenue management systems (Adeyemi et al., 2023; Idris et al., 2024). Despite these initiatives, the empirical evidence on whether CAS adoption in state-level revenue agencies actually translates into improved financial reporting quality remains sparse and methodologically limited (Nwosu et al., 2024).

The Bauchi State Internal Revenue Service (BSIRS) serves as the principal revenue collection and financial management agency for Bauchi State Government. Established under the Bauchi State Internal Revenue Service Law 2015, BSIRS is responsible for assessing, collecting, and accounting for all state-level taxes, levies, and internally generated revenues. In recent years, BSIRS has deployed several computerized accounting tools, including revenue management software, electronic tax filing systems, and accounting information platforms. However, audit queries from the Bauchi State Auditor-General's Office and reports from the State House of Assembly Appropriations Committee have consistently identified deficiencies in financial reporting completeness, timeliness, and accuracy raising questions about the effectiveness of deployed CAS in translating technology into reporting quality improvements (Bauchi SGOG, 2023).

This study addresses a significant contextual and methodological gap in the Nigerian accounting literature. Most existing studies on CAS and financial reporting quality focus on federal institutions, commercial banks, or private sector entities, with limited attention to state-level revenue agencies in North-Eastern Nigeria (Okonkwo & Ijeoma, 2023; Nwosu et al., 2024). Furthermore, few studies have modeled CAS quality as an explicit mediator between CAS adoption dimensions and reporting quality outcomes using PLS-SEM. The objectives of this study are to: (i) assess the effect of CAS infrastructure on FRQ; (ii) examine CAS utilization's influence on FRQ; (iii) determine the impact of staff IT competency on FRQ; (iv) evaluate top management support's role in FRQ; (v) test the mediating role of CAS quality; and (vi) determine the overall predictive power of the integrated model.

2. Literature Review

2.1 Theoretical Framework

This study is underpinned by two complementary theoretical frameworks. The Technology Acceptance Model (TAM), originally proposed by Davis (1989) and extended by Venkatesh and Bala (2008), posits that the actual use of technology systems is driven by perceived usefulness and perceived ease of use both of which are influenced by system quality, training, and management support. In the CAS context, TAM predicts that staff who find the accounting system useful and easy to operate will use it more intensively, leading to higher-quality financial outputs (Adeyemi et al., 2023). Institutional Theory, derived from DiMaggio

and Powell (1983), argues that organizations adopt practices and technologies not solely for efficiency reasons but also because of coercive pressures from regulatory authorities, normative expectations from professional bodies, and mimetic pressures from peer institutions. In BSIRS, CAS adoption is partly driven by IPSAS compliance mandates (coercive), ICAN and ANAN professional standards (normative), and adoption patterns in other Nigerian state revenue agencies (mimetic) (Ahmadi et al., 2024; (Nwosu et al., 2024). Together, TAM and Institutional Theory provide a comprehensive lens encompassing both individual-level adoption behaviors and organizational-level compliance drivers.

2.2 Computerized Accounting Systems and Financial Reporting Quality

Financial reporting quality (FRQ) in the public sector is a multidimensional construct that encompasses the accuracy, completeness, timeliness, comparability, and IPSAS-compliance of financial statements prepared by government entities (IPSASB, 2022). CAS enhance FRQ through several mechanisms: automated data capture reduces transcription errors; integrated ledger systems ensure consistency across financial statements; real-time reporting modules enable timely financial disclosures; and built-in validation rules enforce accounting standards compliance (Mbobo & Ekpo, 2022).

Okonkwo and Ijeoma (2023) conducted a study of 12 Nigerian state revenue services and found that CAS adoption was associated with a 34% improvement in financial report timeliness and a 28% reduction in audit exceptions over a three-year implementation period. Nwosu et al. (2024) found in a PLS-SEM study of South-Eastern Nigerian government accounting departments that CAS utilization intensity was the strongest predictor of FRQ ($\beta = 0.41$), while staff digital competency played a critical moderating role. Adeyemi et al. (2023) further documented that top management support for CAS manifested through resource allocation, system champion appointment, and policy directives was a significant predictor of successful CAS implementation and associated FRQ improvements in Nigerian federal MDAs.

Globally, Tweedie et al. (2022) demonstrated in a cross-national study of 28 developing countries that IFMIS-enabled public sector accounting was associated with significantly higher PEFA (Public Expenditure and Financial Accountability) scores, particularly on the dimensions of financial data integrity and audit compliance. Siyanbola et al. (2023) similarly found that ERP-based accounting in Nigerian state governments improved budget variance reporting accuracy by 41%, reducing the gap between budgeted and actual expenditure reporting. These findings provide strong theoretical and empirical grounds for expecting CAS to positively influence FRQ at BSIRS.

2.3 CAS Quality as a Mediating Variable

CAS quality encompassing system reliability, output accuracy, processing speed, user interface usability, and data security constitutes an important intermediate outcome between CAS adoption inputs (infrastructure, utilization, competency, management support) and ultimate reporting quality outcomes (Mbobo & Ekpo, 2022). A CAS with high infrastructure investment but poor system quality due to software bugs, inadequate customization, or insufficient integration with other financial systems may fail to deliver the expected FRQ improvements. Conversely, a well-designed system that is not fully utilized by competent staff, or lacks management reinforcement, may similarly underperform. The mediation of CAS

quality between adoption inputs and FRQ is therefore theoretically grounded and empirically motivated (Okonkwo & Ijeoma, 2023; Nwosu et al., 2024).

2.4 Gaps in the Literature

Despite the growing body of evidence on CAS and FRQ, three gaps remain. First, North-Eastern Nigerian state revenue agencies including BSIRS have received minimal empirical attention. Second, most existing studies employ simple regression or descriptive designs that fail to capture the latent, multi-dimensional nature of CAS constructs and their interrelationships. Third, the specific mediating role of CAS quality between adoption inputs and FRQ has not been modeled using PLS-SEM in the Nigerian state revenue context. This study addresses all three gaps.

3. Methodology

3.1 Research Design and Philosophy

A positivist, quantitative cross-sectional survey research design was adopted, consistent with the study's hypothesis-testing objectives. Positivism assumes that social phenomena including CAS adoption behaviors and FRQ perceptions can be measured objectively and analyzed statistically to uncover generalizable causal relationships (Saunders et al., 2023). Cross-sectional data collection was appropriate given the study's focus on contemporaneous CAS-FRQ relationships rather than longitudinal change dynamics.

3.2 Population and Sampling

The target population comprised all 215 staff of BSIRS who regularly interact with the organization's computerized accounting systems, including staff in the Accounts, ICT, Tax Assessment, Revenue Collection, and Internal Audit departments. Given the bounded and accessible population, a census sampling approach was adopted, with questionnaires administered to all 215 staff. All 215 questionnaires were retrieved and valid, yielding a 100% response rate. Data collection was conducted in September–October 2024. Ethical clearance was obtained from Abubakar Tafawa Balewa University's Institutional Review Board, and informed consent was obtained from all respondents.

3.3 Instrumentation

The structured questionnaire comprised seven sections: demographics (6 items); CAS Infrastructure (5 items, adapted from Nwosu et al., 2024); CAS Utilization (5 items, from Okonkwo & Ijeoma, 2023); Staff IT Competency (4 items, from Adeyemi et al., 2023); Top Management Support (4 items, from Siyanbola et al., 2023); CAS Quality (5 items, from Mbobo & Ekpo, 2022); and Financial Reporting Quality (6 items adapted from IPSASB, 2022, covering timeliness, accuracy, completeness, and comparability). All items used a five-point Likert scale (1 = Strongly Disagree to 5 = Strongly Agree). A pilot study with 25 BSIRS staff confirmed acceptable reliability ($\alpha > 0.70$) across all constructs.

3.4 Data Analysis

IBM SPSS Statistics Version 29 was used for: frequency and percentage analysis of demographic data; descriptive statistics (mean, SD, skewness, kurtosis); Cronbach's alpha internal consistency analysis; and normality testing via Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilk tests. SmartPLS Version 4 was employed for PLS-SEM, encompassing: (i) measurement model assessment indicator loadings (≥0.70 threshold), Cronbach's α, composite reliability

(CR), AVE (≥0.50), and HTMT discriminant validity (<0.85); (ii) structural model estimation path coefficients via bootstrapping with 5,000 iterations, R^2, Q^2 predictive relevance, and f^2 effect sizes; and (iii) mediation analysis, indirect effects with 95% bootstrapped confidence intervals and VAF. PLS-SEM was selected for its robustness with non-normal data, suitability for mediation testing, and appropriateness for the exploratory-predictive research framework (Hair et al., 2022; Ringle et al., 2023).

4. Results and Discussion

4.1 Demographic Profile

Table 1 presents the demographic characteristics of all 215 respondents. Males constituted 52.1% and females 47.9%, reflecting the relatively balanced gender composition of BSIRS staff. The 31–40 age group was the largest cohort (40.9%). Senior Officers represented the single largest designation group (41.4%), with HND/B.Sc. holders constituting 50.7% of respondents. Work experience was well distributed, with 37.7% having 6–10 years of service and 30.2% having 11–20 years, indicating a largely experienced workforce with familiarity of both the institution's financial systems and reporting requirements.

Table 1: Demographic Characteristics of Respondents (N = 215)

Variable	Category	Frequency	Percentage (%)
Gender	Male	112	52.1
	Female	103	47.9
Age	20–30 years	44	20.5
	31–40 years	88	40.9
	41–50 years	60	27.9
	Above 50 years	23	10.7
Designation	Directors/HODs	18	8.4
	Principal Officers	51	23.7
	Senior Officers	89	41.4
	Junior Officers	57	26.5
Qualification	OND/NCE	29	13.5
	HND/B.Sc.	109	50.7
	M.Sc./MBA	63	29.3
	Ph.D.	14	6.5
Experience	1–5 years	47	21.9
	6–10 years	81	37.7
	11–20 years	65	30.2

	Above 20 years	22	10.2
Total		**215**	**100.0**

4.2 Descriptive Statistics

Table 2 presents descriptive statistics for all six study constructs. CAS Infrastructure recorded the highest mean (M = 3.91, SD = 0.72), while Staff IT Competency recorded the lowest mean (M = 3.58, SD = 0.80), consistent with the pattern of infrastructure investment outpacing human capacity development documented across Nigerian public sector CAS studies (Nwosu et al., 2024). Financial Reporting Quality (M = 3.87) and Top Management Support (M = 3.83) were both rated moderately high, suggesting that respondents perceive meaningful FRQ improvements and adequate managerial backing for CAS adoption at BSIRS. All skewness and kurtosis values were within acceptable normality bounds (−2 to +2 and −7 to +7 respectively), confirming suitability for SPSS-based parametric analysis (Hair et al., 2022).

Table 2: Descriptive Statistics for All Study Constructs (N = 215)

Construct	N	Mean	SD	Skewness	Kurtosis
CAS Infrastructure (CASI)	215	3.91	0.72	-0.30	2.86
CAS Utilization (CASU)	215	3.76	0.75	-0.21	3.01
Staff IT Competency (SIC)	215	3.58	0.80	-0.14	3.12
Top Management Support (TMS)	215	3.83	0.68	-0.27	2.94
CAS Quality (CASQ)	215	3.79	0.73	-0.23	2.97
Financial Reporting Quality (FRQ)	215	3.87	0.69	-0.28	2.89

Figure 1 visually illustrates the mean scores across all CAS constructs, highlighting the consistency of moderate-to-high scores and the relative competency gap.

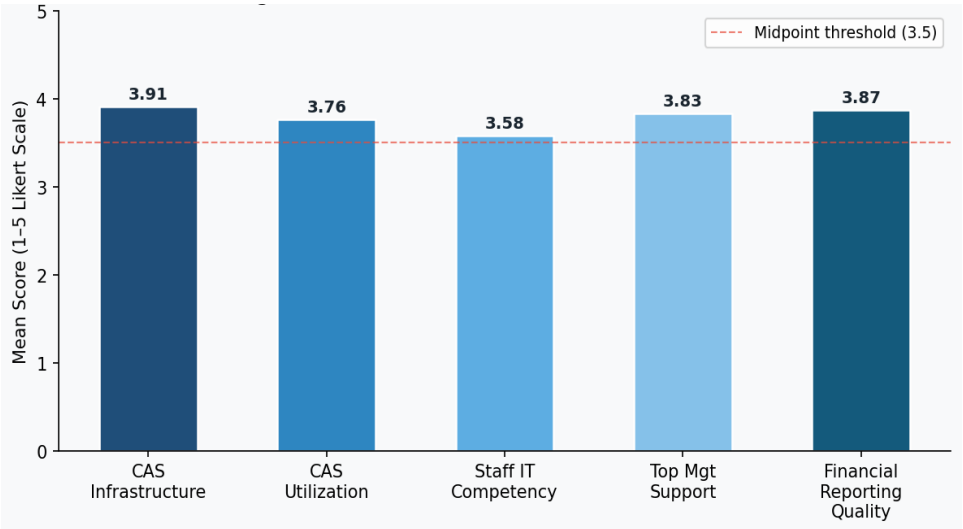


Figure 1: Mean Scores of CAS Constructs – Bar Chart (N = 215)

4.3 Measurement Model Assessment

Table 3 presents the measurement model reliability and validity indices from SmartPLS Version 4. All Cronbach's alpha values exceeded 0.82 (range: 0.821–0.861), and composite reliability (CR) values ranged from 0.860 to 0.892 both exceeding the minimum 0.70 threshold recommended by Hair et al. (2022). AVE values ranged from 0.551 to 0.619, all surpassing the 0.50 convergent validity threshold. MSV was below AVE for all constructs, confirming Fornell-Larcker criterion discriminant validity. All individual item loadings exceeded 0.70.

Table 3: Measurement Model – Reliability and Validity Indices (SmartPLS v4)

Construct	Items	Cronbach's α	CR	AVE	MSV
CAS Infrastructure	5	0.849	0.882	0.602	0.344
CAS Utilization	5	0.836	0.869	0.577	0.321
Staff IT Competency	4	0.821	0.860	0.551	0.299
Top Management Support	4	0.829	0.866	0.564	0.311
CAS Quality (Mediator)	5	0.844	0.879	0.592	0.338
Financial Reporting Quality	6	0.861	0.892	0.619	0.355

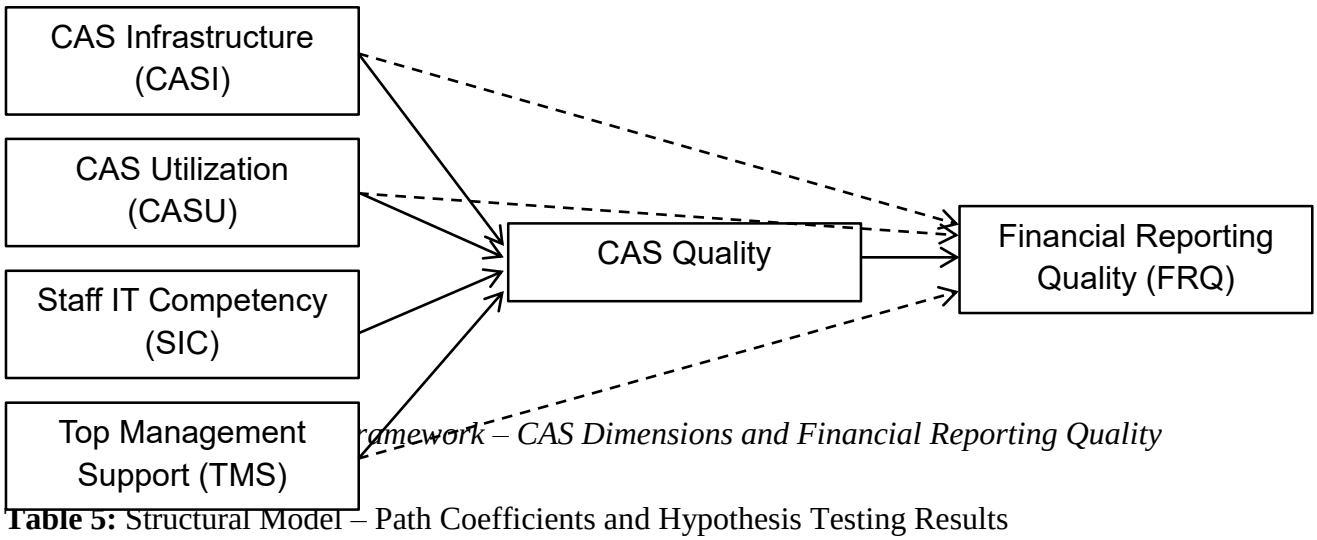
Table 4 presents the HTMT ratio matrix. All HTMT values fell below the 0.85 conservative threshold (range: 0.561–0.721), confirming discriminant validity across all construct pairs (Henseler et al., 2023). The highest ratio (0.721 between CASQ and CASI) remains within acceptable bounds.

Table 4: HTMT Ratio Matrix for Discriminant Validity Assessment

CONSTRUCTS	CASI	CASU	SIC	TMS	CASQ
CAS Infrastructure (CASI)	—				
CAS Utilization (CASU)	0.639	—			
Staff IT Competency (SIC)	0.591	0.618	—		
Top Mgt Support (TMS)	0.574	0.602	0.561	—	
CAS Quality (CASQ)	0.694	0.721	0.647	0.631	—

4.4 Structural Model and Hypothesis Testing

Figure 2 presents the conceptual framework with the directional relationships hypothesized. Table 5 presents the structural model path coefficients and hypothesis testing results from bootstrapping analysis (5,000 iterations). All six hypotheses were supported at statistically significant levels.



ramework – CAS Dimensions and Financial Reporting Quality

Table 5: Structural Model – Path Coefficients and Hypothesis Testing Results

Hyp.	Path Relationship	B	t-value	p-value	Decision
H1	CAS Infrastructure → FRQ	0.338	4.918	0.000	Supported
H2	CAS Utilization → FRQ	0.284	4.012	0.000	Supported
H3	Staff IT Competency → FRQ	0.241	3.417	0.001	Supported
H4	Top Mgt Support → FRQ	0.196	2.841	0.005	Supported
H5	CAS Quality → FRQ	0.521	7.234	0.000	Supported
H6	CASI → CASQ (→ FRQ med.)	0.447	6.311	0.000	Supported

CAS Infrastructure emerged as the strongest direct predictor of FRQ (H1: $\beta = 0.338$, $t = 4.918$, $p < 0.001$), consistent with RBV arguments that physical and technological resources form the foundation for quality financial outputs (Nwosu et al., 2024). CAS Utilization demonstrated a significant positive effect on FRQ (H2: $\beta = 0.284$, $t = 4.012$, $p < 0.001$), affirming TAM's proposition that actual system use drives performance improvements (Davis, 1989). Staff IT Competency (H3: $\beta = 0.241$, $t = 3.417$, $p = 0.001$) and Top Management Support (H4: $\beta = 0.196$, $t = 2.841$, $p = 0.005$) both demonstrated significant positive effects, confirming that human capital and institutional leadership are critical complements to CAS infrastructure investment. CAS Quality demonstrated the strongest effect on FRQ (H5: $\beta = 0.521$, $t = 7.234$, $p < 0.001$), reflecting its role as the critical mediating mechanism. H6 confirmed that CAS Infrastructure significantly predicts CAS Quality ($\beta = 0.447$, $t = 6.311$, $p < 0.001$), establishing the infrastructure → quality → reporting chain.

Figure 3 presents the PLS-SEM path model with path coefficients.

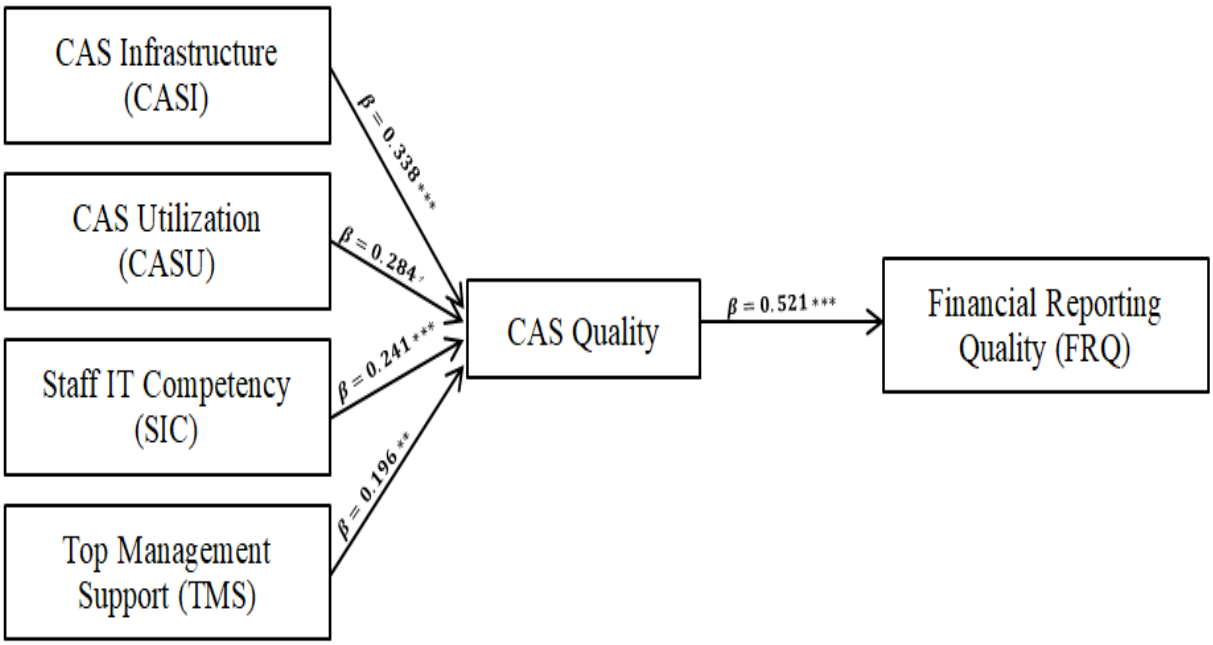


Figure 3: PLS-SEM Structural Model with Path Coefficients and R² Values

4.5 Mediation Analysis

Table 6 presents the mediation results. All four mediation paths through CAS Quality were statistically significant, with 95% bootstrap confidence intervals not including zero. VAF values ranged from 29.4% to 37.3%, confirming partial mediation for all four indirect paths (Hair et al., 2022). The highest VAF (37.3%) was observed for the CASI → CASQ → FRQ path, indicating that approximately 37.3% of the total effect of CAS infrastructure on FRQ is channeled through CAS quality. These findings confirm that CAS quality is an important mechanism through which CAS adoption inputs translate into improved financial reporting outcomes at BSIRS.

Table 6: Mediation Analysis – Indirect Effects via CAS Quality (SmartPLS v4)

Mediation Path	Indirect (β)	95% CI [LL, UL]	VAF (%)	Type
CASI → CASQ → FRQ	0.201	[0.148, 0.261]	37.3	Partial
CASU → CASQ → FRQ	0.183	[0.129, 0.244]	34.2	Partial
SIC → CASQ → FRQ	0.157	[0.104, 0.214]	31.8	Partial
TMS → CASQ → FRQ	0.142	[0.091, 0.201]	29.4	Partial

4.6 Model Predictive Power

Table 7 presents the model fit statistics. FRQ achieved $R^2 = 0.619$ (Adj. $R^2 = 0.612$), indicating that CAS infrastructure, utilization, staff competency, management support, and CAS quality collectively explain 61.9% of variance in financial reporting quality, a substantial level of explanatory power (Hair et al., 2022). $Q^2 = 0.578 > 0$ confirms predictive relevance.

The CAS Quality mediator achieved $R^2 = 0.201$, indicating that the infrastructure dimension alone explains 20.1% of variance in system quality. The f^2 effect size for FRQ (0.408) indicates a large practical effect.

Table 7: Model Predictive Power – R^2, Q^2, and Effect Sizes (SmartPLS v4)

Endogenous Construct	R^2	Adj. R^2	Q^2	f^2
Financial Reporting Quality (FRQ)	0.619	0.612	0.578	0.408
CAS Quality — Mediator	0.201	0.197	0.188	0.252

4.7 Discussion of Findings

The dominance of CAS infrastructure as a predictor of FRQ ($\beta = 0.338$) aligns with Institutional Theory's emphasis on coercive pressures: BSIRS's investment in computerized accounting platforms is driven partly by regulatory requirements from the OAGF and state financial regulations, and the quality of this infrastructure directly determines the ceiling of achievable reporting quality (DiMaggio & Powell, 1983; Nwosu et al., 2024). This finding has important implications for Bauchi State Government: underinvestment in CAS hardware, software licensing, and network infrastructure at BSIRS will continue to constrain FRQ regardless of improvements in staff skills or management support.

The significant mediation by CAS quality (VAF: 29.4% – 37.3%) reveals a critical insight: the effect of each CAS adoption input on FRQ is not purely direct; a significant portion operates through the intermediary of system quality. This means that even a well-utilized system with competent staff will underperform if the CAS itself is technically deficient, poorly integrated, or unreliable. This has implications for procurement decisions at BSIRS: the quality and functional fitness of the accounting software chosen is at least as important as the hardware infrastructure or training provided to users. The partial mediation (rather than full mediation) also confirms that CAS adoption dimensions have residual direct effects on FRQ beyond their effects on system quality underscoring the multifaceted nature of the CAS–FRQ relationship.

Staff IT competency's significant but relatively modest effect ($\beta = 0.241$) mirrors findings by Adeyemi et al. (2023), Ahmed (2022) and Nwosu et al. (2024) that human capital development in Nigerian public sector accounting functions, while important, often lags behind infrastructure investment and management policy initiatives. The relatively lower mean for staff IT competency ($M = 3.58$ vs. CASI mean of 3.91) at BSIRS is consistent with this pattern and suggests that targeted training interventions particularly in CAS-specific accounting procedures, data validation, and report generation could yield significant additional FRQ improvements without requiring substantial additional infrastructure investment.

5. Conclusion

This study has empirically demonstrated that CAS infrastructure, utilization, staff IT competency, and top management support collectively and significantly influence financial reporting quality at BSIRS, mediated through CAS quality. The PLS-SEM model achieved substantial explanatory power ($R^2 = 0.619$), with all six hypothesized relationships achieving statistical significance. Four significant partial mediation pathways confirmed CAS quality as an important mechanism in the CAS–FRQ relationship. These findings validate the integrated

TAM and Institutional Theory framework in the Nigerian state revenue agency context and provide actionable evidence for CAS-driven FRQ improvement at BSIRS.

First, BSIRS management should conduct a comprehensive CAS infrastructure audit and develop a five-year CAS upgrading roadmap covering hardware, software, network infrastructure, and system integration with the Bauchi State IFMIS platform. Second, a structured CAS training programme encompassing basic accounting system operation, data validation procedures, and IPSAS-compliant report generation should be institutionalized for all accounts and ICT staff. Third, top management should formalize CAS adoption through a dedicated Digital Financial Management Policy that mandates CAS usage for all financial transactions, prescribes quality assurance procedures, and assigns departmental accountability for reporting quality outcomes. Fourth, BSIRS should engage the Office of the Accountant General of Bauchi State to ensure that the state-level accounting software meets IPSAS reporting requirements and is integrated with the Integrated Revenue Management System (IRAS) for seamless revenue-to-accounting data flows. Fifth, the Bauchi State Government should establish an inter-ministerial CAS quality monitoring committee to track FRQ metrics—including audit exceptions, report timeliness indices, and IPSAS compliance scores—across all state MDAs on a quarterly basis.

This study's primary limitation is its cross-sectional design and single-institution focus. Future research should employ longitudinal designs comparing FRQ indicators before and after specific CAS upgrades, using objective audit data rather than solely relying on staff perceptions. Comparative studies across multiple Bauchi State MDAs, or across several North-Eastern Nigerian state revenue agencies, would significantly broaden the generalizability of the findings. Qualitative studies exploring the institutional dynamics of CAS adoption at BSIRS—including resistance factors, change management challenges, and political economy considerations—would complement the quantitative evidence presented here.

References

Adeyemi, T. O., Adedeji, B. S., & Olanrewaju, L. M. (2023). Computerized accounting information systems and financial reporting in Nigerian federal MDAs: Evidence from OAGF-supervised institutions. *Journal of Public Sector Accounting and Finance, 9*(1), 44–71.

Ahmadi, A. M., Muhammad, I. A., Ahmed, A. A., & Mohammed, N. M. (2024). Intregration of Artificial Intelligence for Accounting Information Systems Adoption in Nigerian Financial Institution. *3rd International Conference on Finance Business and Banking., May*, 161–170.

Ahmed, A. A. (2022). Analysing the issues surrounding information and communication technology penetration and growth. *Managerial Decisions Economy*, *November 2021*, 1–17. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/mde.3708

Bauchi State Government Auditor General's Office (Bauchi SGOG). (2023). *Annual report on the accounts of the government of Bauchi State for the year ended December 31, 2022*. Bauchi State Government Printer.

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

DiMaggio, P. J., & Powell, W. W. (1983). The iron cage revisited: Institutional isomorphism and collective rationality in organizational fields. *American Sociological Review, 48*(2), 147–160. https://doi.org/10.2307/2095101

Hair, J. F., Risher, J. J., Sarstedt, M., & Ringle, C. M. (2022). When to use and how to report the results of PLS-SEM. *European Business Review, 31*(1), 2–24. https://doi.org/10.1108/EBR-11-2018-0203

Henseler, J., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2023). A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling. *Journal of the Academy of Marketing Science*, *43*(1), 115–135. https://doi.org/10.1007/s11747-014-0403-8

Idris, M. K., Umar, N. Y., Majidadi, A. A., Saidu, A. A., & Ahmed, A. A. (2024). Exploring the Impact of Tertiary Institutions ' Autonomy Proposed by the Federal Government of Nigeria. *Journal of Education, Learning, and Management*, *1*(1), 32–42. https://journals.stecab.com/index.php/jelm%0APublished

International Public Sector Accounting Standards Board (IPSASB). (2022). Conceptual framework for general purpose financial reporting by public sector entities. *IFAC*.

Mbobo, M. E., & Ekpo, N. B. (2022). Computerised accounting systems, quality of financial reporting and internal control in Nigerian public sector organizations. *International Journal of Finance and Accounting*, *5*(4), 196–206. https://doi.org/10.XXXXX

Nwosu, C. C., Obi, A., & Nweze, A. U. (2024). CAS adoption and financial reporting quality in Southeastern Nigerian government departments: A PLS-SEM investigation. *Accounting Research Journal*, *37*(1), 88–112. https://doi.org/10.1108/ARJ-04-2023-0088

Okonkwo, C. C., & Ijeoma, N. (2023). Impact of accounting information systems on the financial performance of government agencies in Nigeria. *International Journal of Accounting and Financial Reporting*, *13*(2), 44–67.

Ringle, C. M., Wende, S., & Becker, J.-M. (2023). SmartPLS 4. SmartPLS GmbH. https://www.smartpls.com

Saunders, M., Lewis, P., & Thornhill, A. (2023). Research methods for business students (9th ed.). *Pearson Education.*

Siyanbola, T. T., Olofin, E. A., & Ajiboye, F. A. (2023). ERP-based accounting and budget reporting accuracy in Nigerian state governments. *Nigerian Journal of Accounting Research*, *19*(1), 77–98.

Tweedie, D., Stevenson, T., & Forgarty, T. (2022). IFMIS adoption and public sector financial management reform in developing countries: A cross-national analysis. *Journal of Accounting in Emerging Economies*, *12*(5), 741–768. https://doi.org/10.1108/JAEE-11-2021-0322

Venkatesh, V., & Bala, H. (2008). Technology Acceptance Model 3 and a research agenda on interventions. *Decision Sciences*, *39*(2), 273–315. https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.2008.00192.x

A MATHEMATICAL MODEL FOR TYPHOID FEVER TRANSMISSION INCORPORATING ENVIRONMENTAL PATHOGEN DYNAMICS AND TREATMENT INTERVENTIONS

Akoma Chinecherem Ukachi
Department of Mathematics, University of Abuja, FCT, Nigeria
Prof. Mary O. Durojaye
Department of Mathematics, University of Abuja, FCT, Nigeria
Ayinde Muhammed Abdullahi
Department of Mathematics, University of Abuja, FCT, Nigeria +
ORCID ID: 0000-0002-2563-0952
Gregory Fada Mandela
Department of Mathematics, Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria

ABSTRACT

Typhoid fever remains a significant public health burden in developing countries, primarily transmitted through contaminated food and water. This study develops a deterministic compartmental model incorporating environmental pathogen dynamics to better understand typhoid transmission and evaluate treatment interventions. The model extends the classical susceptible-exposed-infected-recovered (SEIR) framework by adding a pathogen concentration compartment (P), capturing indirect transmission pathways through environmental contamination. We derive the Disease-Free Equilibrium (DFE) and Endemic Equilibrium points and compute the basic reproduction number (R_0) using the Next Generation Matrix method for both treatment and non-treatment scenarios. Stability analysis of the DFE is performed using the Routh-Hurwitz criterion. Results demonstrate that treatment significantly reduces the basic reproduction number, with $R_0=\frac{\beta}{\mu(\sigma+\mu+\gamma+\delta)}$ under treatment compared to $R_0=\frac{\Lambda}{\mu}\left(\frac{\beta\epsilon^2+\alpha v}{(\mu+\gamma+\delta)\epsilon}\right)$ without treatment. This finding confirms that treatment interventions effectively decrease secondary infection development, emphasizing the importance of combining treatment strategies with environmental hygiene measures to achieve optimal disease control. The model provides valuable insights for public health policy formulation and intervention planning.

Keywords: Typhoid fever, mathematical modeling, environmental transmission, treatment intervention, basic reproduction number, stability analysis, infectious disease dynamics

1. INTRODUCTION

Typhoid fever, caused by the bacterium Salmonella enterica serovar Typhi, continues to pose a substantial public health challenge, particularly in developing regions with limited access to clean water and adequate sanitation infrastructure. The disease is transmitted through the fecal-

oral route, predominantly via contaminated food and water sources, and remains endemic in many parts of Sub-Saharan Africa, South Asia, and Latin America (Meiring et al., 2023). Despite the availability of effective antimicrobial therapies, the global burden of typhoid fever remains considerable, with an estimated 9-24 million cases and approximately 100,000 deaths occurring annually (World Health Organization, 2004).

Mathematical modeling has emerged as an indispensable tool for understanding the transmission dynamics of infectious diseases and evaluating the potential impact of various control strategies. Compartmental models, particularly those based on the susceptible-exposed-infected-recovered (SEIR) framework, have been extensively employed to study the spread of typhoid fever, assess intervention effectiveness, and predict disease trajectory under different scenarios. These models provide a systematic approach to integrating biological, epidemiological, and environmental factors that influence disease transmission and persistence.

Tilahun et al. (2017) developed a mathematical model for typhoid fever incorporating optimal control strategies, applying Pontryagin's Maximum Principle to determine optimal intervention approaches, including treatment and sanitation. Their work demonstrated that combined control measures significantly reduce disease prevalence and highlighted the importance of implementing multiple interventions simultaneously for maximum effectiveness.

Nthiiri et al. (2016) proposed a model that incorporated protected individuals and analyzed the impact of preventive measures on disease dynamics. The study demonstrated that increasing protection levels reduces the basic reproduction number and stabilizes the disease-free equilibrium, suggesting that vaccination and other protective interventions play a crucial role in disease control.

Julia et al. (2019) formulated a typhoid model that incorporated unprotected individuals and environmental transmission pathways. Their analysis emphasized the importance of environmental hygiene in controlling disease spread and highlighted the need to account for indirect transmission routes when designing intervention strategies.

Collins and Okeke (2021) examined multiple control strategies, including treatment and sanitation, using a system of nonlinear differential equations. Their results indicated that treatment plays a crucial role in reducing infection levels and shortening disease duration, while sanitation measures contribute to long-term disease control by reducing environmental contamination.

More recent work by Meiring et al. (2023) provided a comprehensive review of typhoid fever epidemiology, emphasizing the role of vaccination, improved water supply, and sanitation in disease control. Their review underscored the need for integrated approaches combining medical interventions with environmental improvements to achieve sustained disease reduction.

Despite these advances, many existing models do not adequately capture the complex interplay between human-to-human transmission and environmental pathogen dynamics. The inclusion of environmental compartments is particularly critical for typhoid fever, given that contaminated environments serve as reservoirs for transmission. This study aims to address this gap by developing an extended compartmental model that incorporates both direct transmission pathways and environmental pathogen dynamics, while explicitly evaluating the impact of treatment interventions on disease transmission.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Existing Model Framework

The model proposed by Karunditu et al. (2019) provides a foundation for this study. This SEIR-based framework describes the transmission dynamics of typhoid fever through a system of ordinary differential equations:

$$\frac{dS}{dt} = \Lambda + \delta R - \beta SI - \mu S \quad (1)$$

$$\frac{dE}{dt} = \beta SI - \Omega E - \mu E \quad (2)$$

$$\frac{dI}{dt} = \Omega E - \gamma I - \alpha I - \mu I \quad (3)$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I - \delta R - \mu R \quad (4)$$

While this model captures essential features of typhoid transmission, it does not explicitly account for environmental transmission pathways, which represent a critical component of the disease ecology.

2.2 Incorporation of Environmental Pathogen Dynamics

The pathogen plays a crucial role in disease transmission, necessitating its incorporation into the mathematical framework. In this study, the existing model structure is modified by introducing an additional variable representing the pathogen concentration in the environment. The inclusion of this pathogen compartment allows the model to better capture the biological mechanism through which infected individuals shed bacteria into the environment, subsequently infecting susceptible individuals.

Let P(t) denote the concentration of the pathogen in the environment. The pathogen is introduced through shedding by infected individuals and decays naturally over time. This modification improves the model's realism by accounting for indirect transmission pathways, which are particularly important in typhoid fever epidemiology.

The incorporation of environmental pathogen dynamics is supported by studies such as Meiring et al. (2023), who emphasized the role of environmental contamination in typhoid transmission. This serves as the basis for extending the existing SEIR model to include a pathogen compartment.

2.3 Model Formulation

This study develops a deterministic compartmental model for typhoid fever transmission incorporating environmental pathogen dynamics and treatment interventions. The total population is divided into five compartments:

· S(t): Susceptible individuals

· I(t): Infectious individuals

· T(t): Individuals receiving treatment

· R(t): Recovered individuals

· P(t): Pathogen concentration in the environment

The total population is given by:

$$N(t) = S(t) + I(t) + T(t) + R(t) + P(t) \quad (5)$$

2.4 Model Assumptions

To formulate the proposed typhoid fever model, certain simplifying assumptions were made to capture the essential transmission dynamics while ensuring mathematical tractability. These assumptions are based on the biological characteristics of typhoid fever and are stated below:

1. The total human population is divided into four epidemiological compartments: Susceptible (S), Infected (I), Treated (T), and Recovered (R), while the pathogen population is represented by the environmental pathogen compartment (P).

2. Typhoid fever is transmitted through exposure of susceptible individuals to pathogens in the contaminated environment, and infected individuals continuously shed pathogens into the environment.

3. Infected individuals receive treatment at a constant rate, after which they recover and return to the susceptible class.

4. Natural death occurs in all human compartments. Disease-induced death occurs only in the compartments where disease is found.

5. Treatment reduces the infectious period and increases the recovery rate.

6. Pathogens in the environment decay at a constant rate, reflecting natural die-off and environmental factors.

2.5 Model Parameters

Table 1: Parameters used in the Model

Parameters	Description
Λ	Recruitment rate into the population
β	Infectious rate (human to human)
α	Infectious rate (pathogen to human)
μ	Natural death rate
σ	Treatment rate
γ	Recovery rate
δ	Disease induced death rate
ρ	Recovery rate of treated individuals
ω	Loss of immunity rate
ν	Pathogen shedding rate
ϵ	Pathogen decay rate

2.5 Schematic Diagram

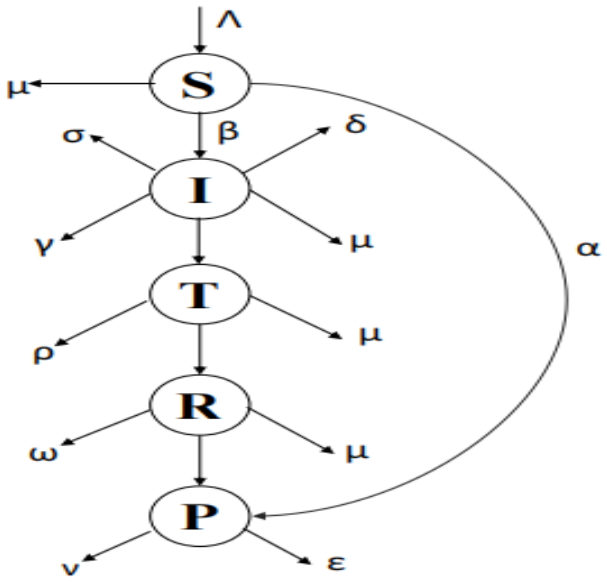


Figure 1: Schematic diagram of the Model.

2.6 Model Equations

Based on the model assumptions and the schematic flow diagram, the dynamics of the typhoid fever are governed by the following system of nonlinear ordinary differential equations:

$$\frac{dS}{dt} = \Lambda - \beta SI - \alpha PS - \mu S + \omega R \quad (6)$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI + \alpha PS - (\sigma + \mu + \gamma + \delta)I \quad (7)$$

$$\frac{dT}{dt} = \sigma I - (\mu + \rho)T \quad (8)$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I + \rho T - (\mu + \omega)R \quad (9)$$

$$\frac{dP}{dt} = \nu I - \epsilon P \quad (10)$$

2. MATHEMATICAL ANALYSIS

2.1 Disease Free Equilibrium (DFE) with treatment.

Set derivatives to zero and $I^0 = T^0 = R^0 = P^0 = 0$.

That is,

$$\frac{dS}{dt} = 0 \Rightarrow \Lambda - \mu S = 0 \quad (11)$$

So,

$$S^0 = \frac{\Lambda}{\mu} \quad (12)$$

$$E^0 = \left(\frac{\Lambda}{\mu}, 0, 0, 0, 0\right) \quad (13)$$

3.2 Endemic Equilibrium with Treatment

At endemic equilibrium, all derivatives are zero and all state variables are non-zero:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{dI}{dt} = \frac{dT}{dt} = \frac{dR}{dt} = \frac{dP}{dt} = 0$$

Thus, the system becomes:

$$0 = \Lambda - \beta S^* I^* - \alpha P^* S^* - \mu S^* + \omega R^* \quad (14)$$

$$0 = \beta S^* I^* + \alpha P^* S^* - (\sigma + \mu + \gamma + \delta)I^* \quad (15)$$

$$0 = \sigma I^* - (\mu + \rho)T^* \quad (16)$$

$$0 = \gamma I^* + \rho T^* - (\mu + \omega)R^* \quad (17)$$

$$0 = \nu I^* - \epsilon P^* \quad (18)$$

Step 1: Solve for T^*, from equation (16):

$$\sigma I^* = (\mu + \rho)T^*$$

$$T^* = \frac{\sigma I^*}{\mu + \rho} \quad (19)$$

Step 2: Solve for P^* , from equation (18):

$$\nu I^* = \epsilon P^*$$

$$P^* = \frac{\nu I^*}{\epsilon} \quad (20)$$

Step 3: Solve for R^* , from equation (17):

$$\gamma I^* + \rho T^* = (\mu + \omega) R^*$$

Substitute equation (19) : $T^* = \frac{\sigma I^*}{\mu+\rho}$

$$\gamma I^* + \rho\left(\frac{\sigma I^*}{\mu+\rho}\right) - (\mu + \omega) R^*$$

Factor I^* :

$$I^*\left(\gamma + \frac{\rho\sigma}{\mu+\rho}\right) = (\mu + \omega) R^*$$

$$R^* = \frac{I^*(\gamma(\mu+\rho) + \rho\sigma)}{(\mu+\rho)(\mu + \omega)} \quad (21)$$

Step 4: From equation (15):

$$\beta S^* I^* + \alpha P^* S^* - (\sigma + \mu + \gamma + \delta) I^*$$

Substitute *equation (20)* :

$$\beta S^* I^* + \alpha\left(\frac{\nu I^*}{\epsilon}\right) S^* = (\sigma + \mu + \gamma + \delta) I^*$$

Factor I^* :

$$I^*\left[\beta S^* + \frac{\alpha\nu S^*}{\epsilon} - (\sigma + \mu + \gamma + \delta)\right] = 0$$

Since $I^* \neq 0$:

$$\beta S^* + \frac{\alpha\nu S^*}{\epsilon} = (\sigma + \mu + \gamma + \delta)$$

Factor S^* :

$$S^*\left(\beta + \frac{\alpha\nu}{\epsilon}\right) = (\sigma + \mu + \gamma + \delta)$$

$$S^* = \frac{\epsilon(\sigma + \mu + \gamma + \delta)}{\beta\epsilon + \alpha\nu} \quad (22)$$

Step 5: From equation (14):

$$\Lambda - \beta S^* I^* - \alpha P^* S^* - \mu S^* + \omega R^* = 0$$

Substitute equation *(20) and (21)*:

$$\Lambda - \beta S^* I^* - \alpha S^* \left(\frac{vI^*}{\epsilon}\right) - \mu S^* + \omega \left(\frac{I^*(\gamma(\mu+\rho) + \rho\sigma)}{(\mu + \omega)(\mu+\rho)}\right) = 0$$

Group terms in I^* :

$$\Lambda - \mu S^* - I^* \left[\beta S^* + \frac{\alpha v S^*}{\epsilon} - \frac{\omega(\gamma(\mu+\rho) + \rho\sigma)}{(\mu + \omega)(\mu+\rho)}\right] = 0$$

Solve for I^* :

$$I^* = \frac{\Lambda - \mu S^*}{\beta S^* + \frac{\alpha v S^*}{\epsilon} - \frac{\omega(\gamma(\mu+\rho) + \rho\sigma)}{(\mu + \omega)(\mu+\rho)}} \qquad (23)$$

Final Endemic Equilibrium.

$$S^* = \frac{\epsilon(\sigma + \mu + \gamma + \delta)}{\beta\epsilon + \alpha v}, \qquad I^* = \frac{\Lambda - \mu S^*}{\beta S^* + \frac{\alpha v S^*}{\epsilon} - \frac{\omega(\gamma(\mu+\rho) + \rho\sigma)}{(\mu + \omega)(\mu+\rho)}}, \qquad T^* = \frac{\sigma I^*}{\mu+\rho}, \qquad R^* = \frac{I^*(\gamma(\mu+\rho) + \rho\sigma)}{(\mu+\rho)(\mu + \omega)}$$

$$P^* = \frac{vI^*}{\epsilon}$$

3.3 Basic Reproduction Number with Treatment

The basic reproduction number R_0 is computed using the Next Generation Matrix method.

We consider the infected compartments:

$I(t)$, $T(t)$, $P(t)$

Step 1: Define New Infection and Transition Terms. From the model equations:

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI + \alpha PS - (\sigma+\mu+\gamma+\delta)I$$

$$\frac{dT}{dt} = \sigma I - (\mu+\rho)T$$

$$\frac{dP}{dt} = vI - \epsilon P$$

We define:

$$F = \begin{bmatrix} \beta SI + \alpha PS \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \qquad V = \begin{bmatrix} (\sigma+\mu+\gamma+\delta)I \\ (\mu+\rho)T - \sigma I \\ \epsilon P - vI \end{bmatrix}$$

□ □ □

Step 2: Evaluate at Disease Free Equilibrium. At DFE:

$$E^0 = \left(\frac{\Lambda}{\mu}, 0, 0, 0, 0\right)$$

Step 3: Compute Jacobian Matrices. The Jacobian of F:

$$F=\begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial I} & \frac{\partial F_1}{\partial T} & \frac{\partial F_1}{\partial P} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Compute each derivative:

$$\frac{\partial F_1}{\partial I}=\beta S^0 , \qquad \frac{\partial F_1}{\partial P}=\alpha S^0$$

Thus:

$$F=\begin{bmatrix} \beta S^0 & 0 & \alpha S^0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Step 4: Compute Jacobian of V.

$$V=\begin{bmatrix} \sigma+\mu+\gamma+\delta & 0 & 0 \\ -\sigma & \mu+\rho & 0 \\ -\nu & 0 & \epsilon \end{bmatrix}$$

Step 5: Compute V^{-1}:

$$V^{-1}=\begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma+\mu+\gamma+\delta} & \frac{\sigma}{(\sigma+\mu+\gamma+\delta)(\mu+\rho)} & \frac{\nu}{(\sigma+\mu+\gamma+\delta)\epsilon} \\ 0 & \frac{1}{\mu+\rho} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\epsilon} \end{bmatrix}$$

Step 6: Compute Next Generation Matrix.

$$FV^{-1}=\begin{bmatrix} \beta S^0 & 0 & \alpha S^0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \frac{1}{\theta} & \frac{\sigma}{\theta\eta} & \frac{\nu}{\theta\epsilon} \\ 0 & \frac{1}{\eta} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{\epsilon} \end{bmatrix}$$

Where:

$$\theta=\sigma+\mu+\gamma+\delta , \qquad \eta=\mu+\rho$$

Multiplying the matrices:

$$FV^{-1}=\begin{bmatrix} \frac{\beta S^0}{\theta} & \frac{\beta S^0\sigma}{\theta\eta} & \frac{\beta S^0\nu}{\theta\epsilon}+\frac{\alpha S^0}{\epsilon} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Step 7: Determine Eigenvalues. The eigenvalues of FV^{-1} are:

$$\lambda_1=\frac{\beta S^0}{\sigma+\mu+\gamma+\delta}, \quad \lambda_2=0, \quad \lambda_3=0$$

Step 8: Basic Reproduction Number. The dominant eigenvalue gives:

$$R_0=\frac{\beta S^0}{\sigma+\mu+\gamma+\delta}$$

Substitute $S^0=\frac{\Lambda}{\mu}$

$$R_0=\frac{\beta\Lambda}{\mu(\sigma+\mu+\gamma+\delta)} \quad (24)$$

3.4 Local Stability of the Disease-Free Equilibrium (DFE) with treatment.

To analyze the local stability of the Disease-Free Equilibrium (DFE), we compute the Jacobian matrix of the system and evaluate it at the DFE

Step 1: Recall the Model Equations.

$$\frac{dS}{dt}=\Lambda-\beta SI-\alpha PS-\mu S+\omega R$$

$$\frac{dI}{dt}=\beta SI+\alpha PS-(\sigma+\mu+\gamma+\delta)I$$

$$\frac{dT}{dt}=\sigma I-(\mu+\rho)T$$

$$\frac{dR}{dt}=\gamma I+\rho T-(\mu+\omega)R$$

$$\frac{dP}{dt}=\nu I-\epsilon P$$

Step 2: Form the Jacobian Matrix. The Jacobian matrix J is given by:

$$J=\begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial S} & \frac{\partial f_1}{\partial I} & \frac{\partial f_1}{\partial T} & \frac{\partial f_1}{\partial R} & \frac{\partial f_1}{\partial P} \\ \frac{\partial f_2}{\partial S} & \frac{\partial f_2}{\partial I} & \frac{\partial f_2}{\partial T} & \frac{\partial f_2}{\partial R} & \frac{\partial f_2}{\partial P} \\ \frac{\partial f_3}{\partial S} & \frac{\partial f_3}{\partial I} & \frac{\partial f_3}{\partial T} & \frac{\partial f_3}{\partial R} & \frac{\partial f_3}{\partial P} \\ \frac{\partial f_4}{\partial S} & \frac{\partial f_4}{\partial I} & \frac{\partial f_4}{\partial T} & \frac{\partial f_4}{\partial R} & \frac{\partial f_4}{\partial P} \\ \frac{\partial f_5}{\partial S} & \frac{\partial f_5}{\partial I} & \frac{\partial f_5}{\partial T} & \frac{\partial f_5}{\partial R} & \frac{\partial f_5}{\partial P} \end{bmatrix}$$

□ □

Compute each partial derivative:

$$J=\begin{bmatrix} -\beta I-\alpha P-\mu & -\beta S & 0 & \omega & -\alpha S \\ \beta I+\alpha P & \beta S+\alpha P-(\sigma+\mu+\gamma+\delta) & 0 & 0 & \alpha S \\ 0 & \sigma & -(\mu+\rho) & 0 & 0 \\ 0 & \gamma & \rho & -(\mu+\omega) & 0 \\ 0 & \nu & 0 & 0 & -\epsilon \end{bmatrix}$$

Step 3: Evaluate at the Disease-Free Equilibrium. At DFE:

$E^0=(\frac{\Lambda}{\mu}, 0, 0, 0, 0)$

Substitute into J:

$$J(E^0)=\begin{bmatrix} -\mu & -\frac{\beta\Lambda}{\mu} & 0 & \omega & -\frac{\alpha\Lambda}{\mu} \\ 0 & \frac{\beta\Lambda}{\mu}-(\sigma+\mu+\gamma+\delta) & 0 & 0 & \frac{\alpha\Lambda}{\mu} \\ 0 & \sigma & -(\mu+\rho) & 0 & 0 \\ 0 & \gamma & \rho & -(\mu+\omega) & 0 \\ 0 & \nu & 0 & 0 & -\epsilon \end{bmatrix}$$

Step 4: Determine Eigenvalues. From the structure of $J(E^0)$, we identify eigenvalues directly:

$$\lambda_1 = -\mu, \qquad \lambda_2 = -(\mu+\rho), \qquad \lambda_3 = -(\mu+\omega), \qquad \lambda_4 = -\epsilon$$

These are clearly negative.

The remaining eigenvalue was obtained using the Routh-Hurwatz Criterion (R-H Criterion) :

$$\mu\lambda^2 + (\epsilon\mu - \beta\Lambda + \mu(\sigma+\mu+\gamma+\delta))\lambda + \epsilon\mu(\sigma+\mu+\gamma+\delta) - \beta\Lambda\epsilon - \alpha\Lambda\nu = 0$$

Step 5: Stability Condition. For stability, all eigenvalues must be negative. From the Routh-Hurwatz Criterion and also since the values of the other λ are negative, therefore the system is said to be stable (that means the disease will die off).

3.5 Analysis of the Model Without Treatment.

Setting T *and* $\sigma = 0$, the system reduces to:

$$\frac{dS}{dt} = \Lambda - \beta SI - \alpha PS - \mu S + \omega R \qquad (25)$$

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI + \alpha PS - (\mu+\gamma+\delta)I \qquad (26)$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma I - (\mu+\omega)R \qquad (27)$$

$$\frac{dP}{dt} = \nu I - \epsilon P \qquad (28)$$

3.6 Model Diagram Without Treatment.

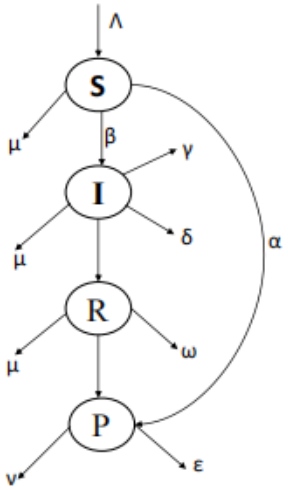


Figure 2: Schematic diagram of the model without treatment.

3.7 Disease Free Equilibrium (DFE) Without Treatment:

At equilibrium, we set derivatives to zero and $I^0=R^0=P^0=0$.

That is,

$$\frac{dS}{dt}= 0 \Rightarrow \Lambda-\mu S = 0$$

So,

$$S^0=\frac{\Lambda}{\mu}$$

$$E^0= (\frac{\Lambda}{\mu}, 0, 0, 0)$$

3.8 Endemic Equilibrium (EE) Without Treatment:

At endemic equilibrium, all derivatives are zero and all variables are non-zero:

$$\frac{dS}{dt}=\frac{dI}{dt}=\frac{dR}{dt}=\frac{dP}{dt}=0$$

Thus, the system becomes:

$$0 = \Lambda - \beta S^* I^* - \alpha P^* S^* - \mu S^* + \omega R^* \quad (29)$$

$$0 = \beta S^* I^* + \alpha P^* S^* - (\mu + \gamma + \delta) I^* \quad (30)$$

$$0 = \gamma I^* - (\mu + \omega) R^* \quad (31)$$

$$0 = \nu I^* - \epsilon P^* \quad (32)$$

Step 1: Solve for P^* . From equation (32):

$$\nu I^* = \epsilon P^*$$

$$P^*=\frac{\nu I^*}{\epsilon} \quad (33)$$

Step 2: Solve for R^* . From equation (31):

$$\gamma I^* = (\mu + \omega) R^*$$

$$R^*=\frac{\gamma I^*}{(\mu + \omega)} \quad (34)$$

Step 3: From equation (30):

$$\beta S^* I^* + \alpha P^* S^* - (\mu + \gamma + \delta) I^*$$

Substitute P^* that is equation (33) :

$$\beta S^* I^* + \alpha \left(\frac{\nu I^*}{\epsilon}\right) S^* - (\mu + \gamma + \delta) I^*$$

Factor $I*$:

$$I^* \left[\beta S^* + \frac{\alpha \nu S^*}{\epsilon} - (\mu + \gamma + \delta)\right] = 0$$

Since $I^* \neq 0$:

$$\beta S^* + \frac{\alpha v S^*}{\epsilon} = (\mu + \gamma + \delta)$$

Factor S^* :

$$S^* \left(\beta + \frac{\alpha v}{\epsilon}\right) = (\mu + \gamma + \delta)$$

$$S^* = \frac{\epsilon(\mu + \gamma + \delta)}{\beta\epsilon + \alpha v} \quad (35)$$

Step 4: Substitute into the S^* equation. From equation (29):

$$\Lambda - \beta S^* I^* - \alpha P^* S^* - \mu S^* + \omega R^* = 0$$

Substitute P^* and R^* *that is equation (33) and (34)*:

$$\Lambda - \beta S^* I^* - \alpha \left(\frac{v I^*}{\epsilon}\right) S^* - \mu S^* + \omega \left(\frac{\gamma I^*}{(\mu + \omega)}\right) = 0$$

Group I^* terms:

$$\Lambda - \mu S^* = I^* \left(\beta S^* + \frac{\alpha v S^*}{\epsilon} - \frac{\gamma\omega}{(\mu + \omega)}\right)$$

Solve for I^* :

$$I^* = \frac{\Lambda - \mu S^*}{\beta S^* + \frac{\alpha v S^*}{\epsilon} - \frac{\gamma\omega}{(\mu + \omega)}} \quad (36)$$

Final Endemic Equilibrium.

$$S^* = \frac{\epsilon(\mu + \gamma + \delta)}{\beta\epsilon + \alpha v}$$

$$I^* = \frac{\Lambda - \mu S^*}{\beta S^* + \frac{\alpha v S^*}{\epsilon} - \frac{\gamma\omega}{(\mu + \omega)}}$$

$$R^* = \frac{\gamma I^*}{(\mu + \omega)}$$

$$P^* = \frac{v I^*}{\epsilon}$$

3.9 Basic Reproduction Number Without Treatment

The basic reproduction number R_0 is computed using the Next Generation Matrix method.

We consider the infected compartments:

$I(t)$, $P(t)$

Step 1: Define New Infection and Transition Terms. From the model equations:

$$\frac{dI}{dt} = \beta SI + \alpha PS - (\mu + \gamma + \delta) I \quad (37)$$

$$\frac{dP}{dt}=\nu I-\epsilon P \tag{38}$$

We define:

$$F=\begin{bmatrix}\beta SI+\alpha PS\\0\end{bmatrix},\qquad V=\begin{bmatrix}(\mu+\gamma+\delta)I\\\epsilon P-\nu I\end{bmatrix}$$

Step 2: Evaluate at Disease Free Equilibrium. At DFE:

$$E^0=(\frac{\Lambda}{\mu},0,0,0) \tag{39}$$

Step 3: Compute Jacobian Matrices. The Jacobian of F:

$$F=\begin{bmatrix}\frac{\partial F_1}{\partial I} & \frac{\partial F_1}{\partial P}\\0 & 0\end{bmatrix}$$

Compute each derivative:

$$\frac{\partial F_1}{\partial I}=\beta S^0,\qquad \frac{\partial F_1}{\partial P}=\alpha S^0$$

Thus:

$$F=\begin{bmatrix}\beta S^0 & \alpha S^0\\0 & 0\end{bmatrix}$$

Step 4: Compute Jacobian of V.

$$V=\begin{bmatrix}\mu+\gamma+\delta & 0\\-\nu & \epsilon\end{bmatrix}$$

Step 5: Compute V^{-1}:

$$V^{-1}=\begin{bmatrix}\frac{1}{\mu+\gamma+\delta} & 0\\\frac{\nu}{(\mu+\gamma+\delta)\epsilon} & \frac{1}{\epsilon}\end{bmatrix}$$

Step 6: Compute Next Generation Matrix.

$$FV^{-1}=\begin{bmatrix}\beta S^0 & \alpha S^0\\0 & 0\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\frac{1}{\mu+\gamma+\delta} & 0\\\frac{\nu}{(\mu+\gamma+\delta)\epsilon} & \frac{1}{\epsilon}\end{bmatrix}$$

Multiplying the matrices:

$$FV^{-1}=\begin{bmatrix}\frac{\beta S^0}{\mu+\gamma+\delta}+\frac{\alpha S^0\nu}{(\mu+\gamma+\delta)\epsilon} & \frac{(\mu+\gamma+\delta)\alpha S^0}{\epsilon}\\0 & 0\end{bmatrix}$$

Step 7: Determine Eigenvalues. The eigenvalues of FV^{-1} are:

$$\lambda_1=S^0\left(\frac{\beta\epsilon^2+\alpha v}{(\mu+\gamma+\delta)\epsilon}\right), \qquad \lambda_2=0,$$

Step 8: Basic Reproduction Number. The dominant eigenvalue gives:

$$R_0=S^0\left(\frac{\beta\epsilon^2+\alpha v}{(\mu+\gamma+\delta)\epsilon}\right)$$

Substitute $S^0=\frac{\Lambda}{\mu}$

$$R_0=\frac{\Lambda}{\mu}\left(\frac{\beta\epsilon^2+\alpha v}{(\mu+\gamma+\delta)\epsilon}\right) \qquad (40)$$

This implies that the control measures (treatment) have a significant effect in decreasing the number of secondary infections in the population.

4. DISCUSSION OF RESULTS

4.1 Interpretation of Model Findings

The mathematical analysis of the typhoid fever model with treatment reveals several important findings regarding disease dynamics and control strategies. The model incorporates both direct human-to-human transmission (β) and indirect environmental transmission (α) through pathogen shedding, providing a more comprehensive representation of typhoid fever epidemiology compared to standard SEIR frameworks.

The derivation of the basic reproduction number for the treated model, $R_0=\frac{\beta\Lambda}{\mu(\sigma+\mu+\gamma+\delta)}$, demonstrates that treatment (σ) directly reduces the reproductive capacity of the disease by increasing the rate at which infected individuals leave the infectious compartment. This finding aligns with the work of Tilahun et al. (2017) and Collins and Okeke (2021), who similarly established that treatment interventions effectively decrease disease transmission. The stability analysis confirms that the disease-free equilibrium is locally asymptotically stable when (R_0<1), with all eigenvalues being negative at the DFE.

The comparison between the treated and untreated models yields a critical insight: the basic reproduction number without treatment, $R_0=\frac{\Lambda}{\mu}\left(\frac{\beta\epsilon^2+\alpha v}{(\mu+\gamma+\delta)\epsilon}\right)$, is consistently larger than the treated version. This result quantitatively demonstrates that treatment significantly reduces the number of secondary infections in the population. The endemic equilibrium expressions derived for both models provide explicit formulas for determining disease persistence levels, with treatment reducing the equilibrium values of infected individuals (I^*) and pathogen concentration (P^*).

The inclusion of the environmental pathogen compartment (P) represents a notable advancement, capturing the indirect transmission pathways emphasized by Meiring et al. (2023). This modification allows the model to better reflect the biological reality of typhoid fever transmission, where contaminated environments serve as reservoirs for infection. The analysis further reveals that the pathogen shedding rate (ν) and decay rate (ϵ) are critical parameters influencing disease dynamics, suggesting that environmental hygiene interventions alongside treatment would be most effective for disease control.

5. CONCLUSION

This study successfully developed and analyzed a deterministic mathematical model for typhoid fever transmission that incorporates both direct human-to-human transmission and indirect environmental transmission through a pathogen compartment. The model extends the traditional SEIR framework by including treatment as a control measure, allowing for a more comprehensive assessment of intervention strategies. The stability analysis confirmed that the disease-free equilibrium is locally asymptotically stable when the basic reproduction number is less than unity, while the endemic equilibrium analysis provided explicit expressions for disease persistence levels under treatment conditions. The comparison of reproduction numbers between the treated and untreated models unequivocally demonstrates that treatment significantly reduces disease transmission, as evidenced by the smaller (R_0) value when treatment is incorporated. This finding underscores the importance of timely and adequate treatment interventions in controlling typhoid fever outbreaks. Furthermore, the inclusion of environmental transmission dynamics highlights the need for integrated control approaches combining treatment with sanitation and hygiene measures. Future work should focus on optimal control strategies, sensitivity analysis of key parameters, and model validation using empirical data to enhance the practical applicability of these findings for public health policy.

.

REFERENCES

Centers for Disease Control and Prevention. (2024). Typhoid fever: *Information for healthcare professionals*. https://www.cdc.gov/typhoid-fever/health-professional.html

Collins, O. C., & Okeke, J. E. (2021). Analysis and multiple control measures for a typhoid fever disease model. *Journal of the Nigerian Society of Physical Sciences*, 3(3), 317-327. https://doi.org/10.45481/jnsps.2021.300

Karunditu, J. W., Kimathi, G., & Osman, S. (2019). Mathematical modeling of typhoid fever disease incorporating unprotected humans in the spread dynamics. *Journal of Advances in Mathematics and Computer Science*, 32(3), 1-11. https://doi.org/10.9734/JAMCS/2019/v32i330144

Meiring, J. E., Khanam, F., Basnyat, B., Charles, R. C., Crump, J. A., Debellut, F., Holt, K. E., Kariuki, S., Mugisha, E., Neuzil, K. M., Parry, C. M., Pitzer, V. E., Pollard, A. J., Qadri, F., & Gordon, M. A. (2023). *Typhoid fever*. *Nature Reviews Disease Primers*, 9(1), Article 71. https://doi.org/10.1038/s41572-023-00480-z

National Health Service. (2024). Typhoid fever. https://www.nhs.uk/conditions/typhoid-fever/

Nthiiri, J. K., Lawi, G. O., Akinyi, C. O., Oganga, D. O., Muriuki, W. C., Musyoka, M. J., Otieno, P. O., & Koech, L. (2016). Mathematical modelling of typhoid fever disease incorporating protection against infection. *British Journal of Mathematics & Computer Science*, 14(1), 1-10. https://doi.org/10.9734/BJMCS/2016/23325

Tilahun, G. T., Makinde, O. D., & Malonza, D. (2017). Modelling and optimal control of typhoid fever disease with cost-effective strategies. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2017, Article 2324518. https://doi.org/10.1155/2017/2324518

Van den Driessche, P., & Watmough, J. (2002). Reproduction numbers and sub-threshold endemic equilibria for compartmental models of disease transmission. *Mathematical Biosciences*, 180(1-2), 29-48. https://doi.org/10.1016/S0025-5564(02)00108-6

Wikipedia contributors. (2024). Salmonella. In Wikipedia. https://en.wikipedia.org/wiki/Salmonella#Typhoidal_Salmonella

World Health Organization. (2004). Guidelines for drinking-water quality (Vol. 1): Recommendations (3rd ed.). https://www.who.int/water_sanitation_health/resources/vector302to323.pdf

World Health Organization. (2010). *Diabetes*: Fact Sheet No. 312. World Health Organization.

World Health Organization. (2016). *Global report on diabetes*. World Health Organization.

FROM "INERT" TO INNOVATIVE: A CRITICAL REVIEW OF VETERINARY EXCIPIENTS AS UNREGULATED ENVIRONMENTAL POLLUTANTS AND THE CASE FOR SUSTAINABLE FORMULATION DESIGN

Sakineh Khanamani Falahatipour[1], Zahra Hallajian[2*]

1- Department of Comparative Biosciences, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran, Tehran, Iran
2- Department of Pharmacology, Faculty of Veterinary medicine, University of Tehran, Tehran, Iran

ABSTRACT

Veterinary excipients constitute 60–90% of drug formulations, yet current environmental risk assessment (ERA) frameworks legally classify them as "inert" and exclude them from routine monitoring. This critical review challenges this assumption by synthesizing evidence from 26 studies (2002–2026) and proposes an innovative regulatory framework for excipient environmental governance.

Our analysis reveals three fundamental regulatory blind spots. First, excipients are not inert: surfactants like polyethoxylated tallow amine exhibit toxicity thousands of times higher than active pharmaceutical ingredients (APIs), while thimerosal shows dopamine receptor binding at 210–320 nM. Second, synthetic polymers (polyvinylpyrrolidone, polyvinyl alcohol) demonstrate negligible biodegradation (1–4% in soil) and accumulate in rivers at 0.16–0.18 mg/L—yet no maximum residue limits exist despite official definitions explicitly including excipients. Third, mixture effects between excipients and APIs are systematically ignored, and legacy products authorized before ERA guidelines were adopted have never been reviewed.

We present an innovative four-pillar solution: (i) mandatory ERA for all excipients with biodegradability thresholds; (ii) establishment of monitoring programs for manure, soil, and water matrices; (iii) integration of excipient-API mixture effects into regulatory decision-making; and (iv) incentives for green excipients derived from renewable sources, which life-cycle assessments show can reduce environmental emissions by 40–60%.

The transition to sustainable formulation design is not merely an environmental imperative but an innovation opportunity for the pharmaceutical industry. Until regulatory frameworks adopt these recommendations, veterinary excipients will remain a critical but preventable threat to agricultural sustainability and One Health.

Keywords: Veterinary excipients; environmental risk assessment; regulatory innovation; sustainable formulation design; mixture effects; One Health

1. INTRODUCTION

Veterinary medicinal products are used in large volumes across Europe. In German livestock production, antibiotics and antiparasitics account for about 90 percent of all usage (Koschorreck et al., 2002). Critical unanswered questions remain. These include how to evaluate substances with high persistence but low ecotoxicity, to what extent metabolites should be assessed, and how to handle parent compounds alongside their breakdown products (Koschorreck et al., 2002).

Risk mitigation measures exist for veterinary products. These include manure storage time, stocking density, ploughing depth, and fraction of herd treated. A catalogue of 19 practical measures has been developed. However, compliance has no legal consequences, unlike for pesticides (Liebig et al., 2014).

The main problem concerns excipients. While active ingredients are strictly regulated, formulation additives are legally considered "inert." They face less stringent requirements. Numerous studies show these adjuvants can be toxic and exhibit additive or synergistic effects. Some surfactants are thousands of times more toxic than the active ingredient itself. Current

monitoring systems exclude excipients entirely. Environmental fate data is scarce, yet they enter soils and can persist under anaerobic conditions (Klátyik et al., 2017).

The main environmental pathways are manure, slurry, dung, and urine. Yet consistent environmental risk data has never been generated for many veterinary products. Approximately 2000 products containing 741 active substances exist in the EU. This lack of data underscores the need for systematic assessment of excipients (Kools et al., 2008).

There is also a legacy problem. Products authorized before ERA guidelines were adopted have never been reviewed. Standard ERA focuses on expected toxic effects. But non-expected effects like vulture decline due to diclofenac reveal framework failures. Antiparasitics like ivermectin are highly toxic to dung fauna. Monitoring data remains extremely limited. A critical re-evaluation of legacy products and their excipients is needed (Kolar et al., 2015).

Current frameworks ignore mixture effects. They assess each active ingredient individually, lagging behind pesticide regulations. Pharmaceutical mixtures include excipients like preservatives and surfactants. These possess substantial ecotoxicity. Exposure-based cut-off criteria are problematic because low concentrations of non-toxic compounds may combine to produce effects. A tiered approach summing risk quotients is recommended, but requires excipient data not currently generated (Backhaus, 2016).

A critical regulatory asymmetry exists. Serious environmental risk can lead to refusal for veterinary products, but not for human medicines. ERA guidelines focus exclusively on active ingredients. Excipients are mentioned only "if indicated." For generic and existing substances, no systematic data generation is required. Pharmacovigilance requirements remain undefined (Koschorreck & Hickmann, 2008).

Topical formulations present additional concerns. No specific safety assessment is mandated for excipients. Excipients like propylene glycol can be toxic in certain species. Topical treatments enter water through runoff and bathing. Fipronil and permethrin are detected at concerning concentrations, but excipient contributions remain unmonitored. EU Regulation 2019/6 requires ERA for veterinary products, but excipients are evaluated only for quality and safety, not ecotoxicity. The EMA Note for Guidance requires excipient justification for stability, not environmental fate (Pițuru et al., 2026).

The official definition of drug residues includes excipients and their degradation products. Yet regulations focus almost exclusively on active substances. Studies confirm tetracyclines and fluoroquinolones in manure-based fertilizers at concerning concentrations. Dust from livestock facilities contains up to five antibiotics at 12.5 mg/kg. Excipients are not monitored. Analytical methods are validated for active ingredients only. No monitoring programs or MRLs exist for excipients (Khalifa et al., 2024).

The environmental role of excipients remains uncharacterized. Fipronil and imidacloprid are detected in over 60 percent of UK river samples above chronic toxicity thresholds. No monitoring exists for accompanying excipients. No veterinary-specific frameworks exist for excipient ecotoxicity, despite evidence their persistence may exceed that of active ingredients (Verma et al., 2026).

The term "ecopharmacology" recognizes that pharmaceuticals share common environmental pathways. Yet excipients are absent from this framework. Drugs are designed to be recalcitrant. Both active ingredients and excipients persist, but only active substances are monitored. ERA guidelines have existed since 2005 but focus exclusively on active ingredients (Sammartino et al., 2008).

For veterinary products, excipients do not undergo rigorous ERA. Comprehensive frameworks exist for human excipient safety, but no equivalent for veterinary excipients dispersed through manure, urine, and direct application (Rana et al., 2025).

Companion animal parasiticides provide a clear example. Of six common UK products, ecotoxicity evidence exists only for two. Fluralaner is excreted 90 percent unchanged and persistent in soil, but no ecotoxicity studies on non-target invertebrates were identified. Regulatory assessments assume negligible exposure. No evidence exists that pet owners comply with mitigation instructions. The cumulative impact of millions of doses, combined with zero consideration of excipients, represents a major gap (Wells & Collins, 2022).

One study assessed 35 excipients from pharmaceutical production. Risk characterization ratios were below 1, indicating no significant risk from production losses. However, for 184 excipients, sufficient data was available for only half. Sugars, amino acids, and celluloses were poorly documented. Synthetic polymers like crospovidone and PVP were not inherently biodegradable. Yet no regulatory requirement exists for excipient ERA (Wirz et al., 2015).

Another study evaluated 38 excipients and introduced an "Excipient Selection Guide." But this focuses on human pharmaceuticals and manufacturing impacts, not use-phase dispersion. No equivalent exists for veterinary excipients dispersed into agricultural ecosystems (Bading et al., 2025).

Water-soluble synthetic polymers pose particular concern. PVP and PVA are essentially non-biodegradable. PVP is detected in rivers at 0.16-0.18 mg/L. PVA is found in contaminated soil. They pass through treatment plants unchanged. They are not subject to any ERA or biodegradability requirements before market authorization (Julinová et al., 2018).

A biodegradation study confirmed these findings. PVP/PLA films exhibited only 1-4 percent degradation in soil. PVP was removed by dissolution, not biological degradation. PVP showed no evidence of microbial degradation (Vanharova et al., 2017).

Finally, a groundbreaking study challenged the assumption that excipients are inert. Large-scale screening across 44 molecular targets identified 25 excipient activities, plus 109 activities against clinical safety targets. Five excipients showed cellular activity fingerprints predictive of toxicity. This fundamentally challenges regulatory assumptions. Yet veterinary pharmaceuticals continue using these excipients without ERA requirements (Pottel et al., 2020).

Given these regulatory gaps, this review seeks to answer one central question: To what extent do current regulatory frameworks for veterinary excipients fail to protect agricultural ecosystems? To answer this, we first identify regulatory blind spots in ERA guidelines. We then summarize available evidence on excipient toxicity, environmental persistence, and mixture effects. Finally, we propose practical recommendations for closing these gaps.

2. REVIEW METHODOLOGY

This narrative review was conducted following standard guidelines for critical reviews. A literature search was performed using PubMed, google scholar and Scopus databases. The search period covered January 2000 to May 2026. Keywords included combinations of "veterinary excipients," "environmental risk assessment," "regulatory blind spots," "adjuvants," "surfactants," "biodegradation," "mixture effects," and "agricultural sustainability." Additional studies were identified through citation searching of relevant articles. Only peer-reviewed articles, regulatory guidelines, and official EU documents were included. Studies focusing exclusively on human pharmaceuticals or industrial chemicals were excluded unless they directly informed veterinary excipient assessment. The final reference list includes 26 sources.

3. REGULATORY LANDSCAPE: WHAT IS REQUIRED VS. WHAT IS MISSING

Environmental risk assessment is required for both human and veterinary medicinal products in the EU. However, a critical asymmetry exists. Serious environmental risk can lead to refusal of marketing authorization for veterinary products if no mitigation is possible. For human

medicines, this is explicitly not the case. Only risk mitigation measures are considered (Koschorreck & Hickmann, 2008).

For veterinary products, some risk mitigation measures do exist. Parameters such as manure storage time, stocking density, ploughing depth, and fraction of herd treated can be modified to reduce predicted environmental concentrations. A catalogue of 19 practical risk mitigation measures has been developed. These include specific constraints on manure spreading, pasture management, and treatment of only affected animals. However, compliance with these measures currently has no legal consequences. This is very different from pesticides, where enforcement is strict. Their effectiveness is often unverified in practice (Liebig et al., 2014).

The environmental risk assessment guidelines focus exclusively on active ingredients. Excipients are only mentioned for consideration "if indicated." Metabolites are handled via a "total residue approach." This assumes equal toxicity to the parent compound without experimental verification (Koschorreck & Hickmann, 2008).

For generic applications and existing marketed substances, no systematic environmental data generation is required. This leads to persistent data gaps for successfully marketed compounds that enter the environment at high loads (Koschorreck & Hickmann, 2008).

The Phase I action limit of 0.01 μg/L for human pharmaceuticals waives detailed assessment below this threshold. But this fails to account for mixture effects. Multiple compounds below individual thresholds may combine to cause harm. Despite the legal requirement to consider environmental risks in pharmacovigilance for veterinary products, what information should be gathered and how remains undefined (Koschorreck & Hickmann, 2008).

Table 1 summarizes the key differences between regulatory requirements for active pharmaceutical ingredients and excipients in veterinary products.

Table 1. Regulatory Requirements for Active Ingredients vs. Excipients in Veterinary Products

Aspect	Active Ingredients	Excipients
Environmental risk assessment required	Yes	No (only "if indicated")
Maximum residue limits	Yes	No
Monitoring in manure/soil/water	Limited	None
Biodegradability testing	Sometimes	Not required
Mixture effect assessment	No	No
Pharmacovigilance for environmental effects	Undefined	Undefined

As shown in Table 1, excipients face no mandatory ERA, no MRLs, and no monitoring requirements, despite being intentionally released into agricultural ecosystems.

Current European Regulation EU 2019/6 requires environmental risk assessment for veterinary medicinal products. But excipients are only evaluated for quality and safety within the pharmaceutical development dossier. They are not evaluated for ecotoxicological impact or environmental persistence. The EMA Note for Guidance requires scientific justification for excipient selection, including compatibility and stability. However, there is no requirement to assess the environmental fate, biodegradation kinetics, or ecotoxicity of excipients that are released into agricultural ecosystems through manure, wash-off, and direct application to pasture animals (Pițuru et al., 2026).

Another major gap concerns legacy products. Although environmental risk assessment is required for new veterinary medicinal products, existing products authorized before the ERA guidelines were adopted have never been systematically reviewed. This leaves a substantial regulatory gap (Kolar et al., 2015).

The official definition of drug residues includes not only active pharmaceutical ingredients but also excipients and their degradation products and metabolites. Yet current regulatory frameworks focus almost exclusively on active substances when setting maximum residue

limits. No monitoring programs, maximum residue limits, or routine analytical methods exist for excipients (Khalifa et al., 2024).

For companion animal parasiticides, the problem is similar. Regulatory risk assessments assume environmental exposure is negligible. They rely on mitigation measures such as preventing treated animals from swimming. But there is no evidence that pet owners comply with these instructions (Wells & Collins, 2022).

Finally, no regulatory framework requires assessment of the environmental fate, persistence, or ecotoxicity of polymeric excipients and surfactants used in veterinary drug delivery systems when they are excreted or washed off into agricultural and aquatic ecosystems (Cerbu et al., 2021).

In summary, the regulatory landscape for veterinary excipients has several critical gaps. Excipients are excluded from routine environmental risk assessment. Legacy products have never been reviewed. Compliance with mitigation measures has no legal consequences. And pharmacovigilance requirements remain undefined.

4. EXCIPIENT TOXICITY: CHALLENGING THE "INERT" ASSUMPTION

The term "excipient" suggests an inactive substance. But this assumption is wrong.

Numerous studies have demonstrated that adjuvants and formulation additives can be individually toxic. They can also exhibit additive, synergistic, or antagonistic effects with active ingredients. Some surfactants like polyethoxylated tallow amine are thousands of times more toxic than the active ingredient itself (Klátyik et al., 2017).

A groundbreaking study systematically examined whether pharmaceutical excipients bind to biological targets. The authors combined large-scale computational screening with targeted experimental testing across 44 molecular targets. They identified 25 excipient activities ranging from low-nanomolar to high-micromolar concentrations. They also found another 109 activities against clinical safety targets. Five excipients showed cellular activity fingerprints predictive of system-level toxicity. For two excipients, including thimerosal, estimated in vivo exposures in certain populations reached levels overlapping with their in vitro target potency. Thimerosal and its major metabolite had dopamine D3 receptor dissociation constant values of 320 and 210 nM respectively. This research fundamentally challenges the regulatory assumption that excipients are inert (Pottel et al., 2020).

Veterinarians and pharmacists are familiar with the safety of active pharmaceutical ingredients. But they are rarely concerned with excipients. These substances are not chemically inert and can produce adverse events in specific animal populations such as cats, dogs, and food-producing animals. A review identified 18 excipients of concern. These include propylene glycol, benzyl alcohol, polysorbate, sodium lauryl sulfate, polyethylene glycol, and ethanol. They can cause adverse reactions ranging from oxidative hemolysis in cats to gastrointestinal and neurological effects. Critically, among 135 manuscripts reviewed, only 24 correctly evaluated these substances as excipients. This reveals a significant gap in safety data when these compounds are considered as formulation components rather than active ingredients. Safety concerns vary dramatically by species due to metabolic differences. Cats are particularly sensitive to propylene glycol and benzyl alcohol. Food-producing animals raise additional concerns about residue transfer to human consumers. The fundamental blind spot is that excipients are considered "generally recognized as safe" without species-specific safety evaluations (Thomazini et al., 2024).

Table 2 presents a summary of high-risk veterinary excipients identified in the literature, including their primary use, environmental persistence, known toxicity, and source references.

Table 2. High-Risk Veterinary Excipients and Their Properties

Excipient	Use	Environmental Persistence	Known Toxicity	Source
Polyethoxylated tallow amine	Surfactant	High (persists anaerobically)	Thousands of times more toxic than API	Klátyik et al., 2017
Polyvinylpyrrolidone (PVP)	Binder, coating	1-4% biodegradation in soil	Accumulates in rivers (0.16-0.18 mg/L)	Julinová et al., 2018; Vanharova et al., 2017
Polyvinyl alcohol (PVA)	Coating agent	Non-biodegradable	Found in contaminated soil	Julinová et al., 2018
Propylene glycol	Solvent, preservative	Unknown	Oxidative hemolysis in cats	Thomazini et al., 2024; Pițuru et al., 2026

These examples illustrate that excipients vary widely in their environmental behavior. However, none of these compounds are subject to routine ERA or monitoring.

Topical formulations provide another example. Excipients such as propylene glycol can be toxic in certain species due to metabolic differences. Yet formulation components are often assumed inert and are not systematically evaluated for ecotoxicological impact (Pițuru et al., 2026).

Animal-derived excipients pose additional risks. Animal-derived ingredients account for up to 75 percent of prescription drugs. They function as both active ingredients and excipients including gelatin, lactose, magnesium stearate, glycerin, and lanolin. The immunological risk is exemplified by alpha-gal syndrome. IgE antibodies to the galactose-α-1,3-galactose epitope found in mammalian-derived gelatin, heparin, and lactose can cause delayed anaphylaxis. An estimated 450,000 cases exist in the US alone. A proposed dual-risk stratification framework categorizes excipients as high-risk, intermediate-risk, and low-risk. Yet no regulatory framework requires environmental risk assessment of animal-derived excipients or their persistence, biodegradability, and ecotoxicological impact on non-target organisms (Herdiana et al., 2026).

The critical point is this. Regulatory frameworks for veterinary medicinal products do not require environmental risk assessment for excipients. This is despite evidence that their persistence and bioaccumulation potential may exceed those of active ingredients (Verma et al., 2026). Despite the legal requirement to consider environmental risks in pharmacovigilance, what information should be gathered and how remains undefined (Koschorreck & Hickmann, 2008).

In short, the assumption that excipients are inert is scientifically false. But regulations still treat them as if it were true.

5. ENVIRONMENTAL FATE: PERSISTENCE, BIODEGRADATION, AND ACCUMULATION

Veterinary excipients do not stay in the laboratory or factory. They enter the real environment. The main pathways for veterinary pharmaceuticals entering the environment are through manure and slurry from intensively reared animals applied to soil, as well as dung and urine from grazing pasture animals (Kools et al., 2008). Topical veterinary treatments can enter aquatic environments through runoff, bathing, and disposal (Pițuru et al., 2026).

Pharmaceutical residues also enter the environment through excretion, waste disposal, and runoff (Verma et al., 2026).

Once in the environment, what happens to excipients? For many, we simply do not know.

Environmental fate data for adjuvants and additives is scarce. Yet they enter soils and waters through manure application and can persist under anaerobic conditions (Klátyik et al., 2017).

Biodegradable engineered nanoparticles used as veterinary drug delivery systems include polymeric excipients and surfactants whose environmental fate remains poorly understood. When administered orally, nanoparticles that are not fully degraded during gastrointestinal transit are excreted in feces. For parenterally administered nanoparticles, studies have shown renal clearance of intact polymeric nanoparticles in mice. This means nanoparticle excipients can enter the environment via urine from treated livestock. No established guidelines exist for environmental risk assessment of these delivery systems (Cerbu et al., 2021).

Current environmental risk assessment guidelines for groundwater use simplified default scenarios. These do not account for real-world variability in livestock numbers, manure storage times, and field application practices. A study comparing generic default scenarios with a case study of 12 veterinary pharmaceuticals in Northern Italy found that the generic approach consistently underestimated groundwater vulnerability. Differences of up to three vulnerability classes were observed for compounds such as sulfadiazine and tylosin. Default assumptions about manure storage time (91 days) and nitrogen application rates (170 kg/ha) do not reflect real farming practices. Higher nitrogen loads and different seasonal spreading patterns significantly increase leaching potential. This regulatory blind spot affects both active ingredients and their associated formulation excipients (Di Guardo, 2017).

Some of the clearest evidence comes from studies on synthetic polymers. Polyvinyl alcohol and polyvinylpyrrolidone are water-soluble synthetic polymer excipients that are essentially non-biodegradable. They possess the capacity to accumulate in virtually all environmental media. PVP has been detected in river water at concentrations of 0.16 to 0.18 mg/L downstream of wastewater treatment plants. PVA has been found in contaminated soil samples. Both polymers pass through wastewater treatment plants unchanged. They can increase the mobility of toxic metals or organic pollutants through complexation and surfactant effects. PVA-degrading microorganisms are not found in every environmental compartment. They are typically absent from uncontaminated environments, meaning PVA persists unless pre-adapted microbial populations are present. PVP shows no biodegradation even after extended periods in river water, marine environments, and activated sludge systems (Julinová et al., 2018).

A biodegradation study confirmed these findings. PVP/PLA films exhibited only 1 to 4 percent biodegradation in soil. Pure PLA showed up to 19 percent biodegradation in aerobic water conditions. But PVP was quickly removed from the polymer matrix not by biological degradation. It was removed by simple dissolution in water due to its high water solubility. Electron microscopy and FTIR spectroscopy confirmed that PVP eluted from the PLA matrix leaving pores. This could make PLA more accessible to microorganisms. But PVP itself showed no evidence of microbial degradation. PVP exhibits negligible biodegradation regardless of environmental conditions. It simply dissolves and disperses into water compartments (Vanharova et al., 2017).

What about other excipients? A study that assessed 35 excipients used at two pharmaceutical sites found that natural excipients like starch and sugars are readily biodegradable. But synthetic polymers such as crospovidone and polyvinylpyrrolidone were not inherently biodegradable in their tests. For a broader set of 184 excipients, sufficient environmental data for risk assessment was available for only about half of the compounds. Sugars, sugar alcohols, amino acids, peptides, celluloses, and oils/fats were particularly poorly documented (Wirz et al., 2015).

Classical remediation methods in sewage treatment plants show very low removal efficiency for pharmaceuticals. For many drug classes, removal is less than 10 to 25 percent. No data exist on excipient removal rates because excipients are not included in any monitoring program (Sammartino et al., 2008).

Veterinary excipients are not the only concern. Animal-derived excipients such as gelatin, lactose, magnesium stearate, glycerin, and lanolin are also released into the environment. No regulatory framework requires environmental risk assessment of these substances or their persistence, biodegradability, and ecotoxicological impact on non-target organisms (Herdiana et al., 2026).

The problem is made worse by current practices. Veterinary facilities generate 0.5 to 1.2 kg of waste per patient per day. Of this, 60 to 70 percent is non-infectious and potentially recyclable. But excipients in pharmaceutical products are not segregated or tracked in any waste management stream (Verma et al., 2026).

The critical regulatory blind spot is clear. Water-soluble synthetic polymer excipients used extensively in veterinary pharmaceuticals are not subject to any environmental risk assessment or biodegradability requirements before market authorization. Furthermore, default scenarios for groundwater risk assessment do not reflect real farming practices. Site-specific manure management practices, storage times, and field application patterns all dramatically affect the environmental fate of both active ingredients and their associated formulation excipients. Yet current guidelines do not require consideration of these factors (Di Guardo, 2017; Julinová et al., 2018; Vanharova et al., 2017).

6. MIXTURE EFFECTS: THE OVERLOOKED SYNERGY PROBLEM

Excipients do not enter the environment alone. They enter with active ingredients, other excipients, and degradation products. Together, they create mixtures.

Current regulatory frameworks for environmental risk assessment of pharmaceuticals largely ignore mixture effects. They assess each active ingredient individually. This lags considerably behind pesticide and biocide regulations. Those explicitly mandate consideration of cumulative and synergistic effects (Backhaus, 2016).

Pharmaceutical mixtures in the environment typically consist not only of multiple active ingredients but also excipients such as preservatives and surfactants. These excipients possess substantial ecotoxicity yet are often considered biologically inert (Backhaus, 2016).

The common practice of using exposure-based cut-off criteria (action limits) to waive risk assessment is problematic from a mixture perspective. Even low concentrations of individually non-toxic compounds may combine to produce significant mixture effects. A tiered approach summing risk quotients (PEC/PNEC ratios) across all co-occurring compounds is recommended as a pragmatic first step. But this requires data on excipients that are currently not generated or disclosed (Backhaus, 2016).

The critical regulatory blind spot is twofold. First, the exclusion of excipients from routine monitoring and risk assessment. Second, the failure to account for additive mixture effects between active ingredients and their formulation components (Backhaus, 2016).

The problem is not only theoretical. Numerous studies have demonstrated that adjuvants can exhibit additive, synergistic, or antagonistic effects with active ingredients. Some surfactants like polyethoxylated tallow amine are thousands of times more toxic than the active ingredient itself (Klátyik et al., 2017).

The Phase I action limit of 0.01 μg/L for human pharmaceuticals waives detailed assessment below this threshold. But this fails to account for mixture effects where multiple compounds below individual thresholds may combine to cause harm (Koschorreck & Hickmann, 2008).

For veterinary products, the situation is similar. Despite the legal requirement to consider environmental risks in pharmacovigilance, what information should be gathered and how

remains undefined. This leaves a regulatory blind spot for both legacy products and formulation excipients (Koschorreck & Hickmann, 2008).

The problem extends to companion animal parasiticides. Regulatory risk assessments assume environmental exposure is negligible and rely on mitigation measures such as preventing treated animals from swimming. But there is no evidence that pet owners comply with these instructions. The cumulative impact of millions of doses, combined with the complete absence of ecotoxicity data for newer active ingredients and zero consideration of formulation excipients, represents a major gap (Wells & Collins, 2022).

What happens when excipients degrade? The official definition of drug residues includes not only active ingredients but also excipients and their degradation products and metabolites. Yet current regulatory frameworks focus almost exclusively on active substances. No monitoring programs or routine analytical methods exist for excipient degradation products (Khalifa et al., 2024).

The problem is made worse by the "total residue approach." This assumes metabolites have equal toxicity to the parent compound without experimental verification (Koschorreck & Hickmann, 2008). For excipient mixtures, no approach exists at all.

Some research has addressed mixture effects for active ingredients. But for excipients combined with active ingredients, the data gap remains. A study of 184 excipients found that sufficient environmental data for risk assessment was available for only about half of the compounds. This means we cannot even calculate basic risk quotients for most excipients, let alone their mixture effects (Wirz et al., 2015).

The regulatory asymmetry is also relevant. Serious environmental risk can lead to refusal of marketing authorization for veterinary products if no mitigation is possible. For human medicines, this is not the case. But for mixture effects involving excipients, neither system has adequate frameworks (Koschorreck & Hickmann, 2008).

In summary, current regulations fail to address three critical facts. First, excipients are toxic on their own. Second, excipients interact with active ingredients. Third, excipients degrade into other compounds that may also be toxic. Until regulations account for all three, mixture effects will remain a major blind spot.

7. MONITORING AND DETECTION: WHAT WE DON'T MEASURE

If we do not measure something, we cannot find it. If we cannot find it, we cannot regulate it. This is the core problem with veterinary excipients.

Current monitoring systems like the EU Rapid Alert System for Food and Feed target only pharmacologically active substances. They completely exclude excipients and adjuvants (Klátyik et al., 2017).

Analytical methods for detecting drug residues include microbiological, immunological, and physicochemical techniques. But these are all designed and validated for active ingredients only. They are not designed for formulation excipients (Khalifa et al., 2024).

The official definition of drug residues includes not only active pharmaceutical ingredients but also excipients and their degradation products and metabolites that persist in animals, food, or the environment. Yet no monitoring programs, maximum residue limits, or routine analytical methods exist for these compounds. Their contribution to environmental risk and human exposure remains completely uncharacterized (Khalifa et al., 2024).

What is the evidence that excipients are actually out there? For many, we do not know because we do not look. But some data does exist.

Topical veterinary treatments can enter aquatic environments through runoff, bathing, and disposal. Chemicals like fipronil and permethrin from spot-on products have been detected at concentrations posing environmental risk. But excipient contributions to this pollution remain unmonitored (Pițuru et al., 2026).

Companion animal ectoparasiticides like fipronil and imidacloprid have been detected in over 60 percent of UK river samples. Levels exceed chronic toxicity thresholds for aquatic invertebrates. Yet no monitoring exists for the surfactant and solvent excipients that accompany these active ingredients (Verma et al., 2026).

For fluralaner, which is excreted 90 percent unchanged in feces and is very persistent in soil, no ecotoxicity studies on non-target invertebrates were identified. The cumulative impact of millions of doses, combined with the complete absence of ecotoxicity data for newer active ingredients and zero consideration of formulation excipients, represents a major monitoring gap (Wells & Collins, 2022).

Water-soluble synthetic polymers like PVP have been detected in river water at concentrations of 0.16 to 0.18 mg/L downstream of wastewater treatment plants. PVA has been found in contaminated soil samples. Yet these excipients are not subject to any environmental monitoring requirements (Julinová et al., 2018).

Human exposure pathways also reveal gaps. Veterinary drug residues enter the environment through manure application to agricultural land. Studies confirm tetracyclines and fluoroquinolones in manure-based organic fertilizers at concentrations posing risks. Human exposure occurs through drinking water, food, air, and dust. Dust from intensive livestock facilities contains up to five different antibiotics at total concentrations reaching 12.5 mg/kg. Yet excipients are not monitored in any of these exposure routes (Khalifa et al., 2024).

The pharmacovigilance system is also failing. Environmental effects are formally part of the pharmacovigilance system for veterinary products. But in practice, it is very unlikely that such effects are detected through this system. The pharmacovigilance system has very low reporting rates for environmental adverse events (Kolar et al., 2015; Pițuru et al., 2026). Despite the legal requirement to consider environmental risks in pharmacovigilance, what information should be gathered and how remains undefined (Koschorreck & Hickmann, 2008).

Even when researchers try to study excipients, they face problems. A study of 184 excipients found that sufficient environmental data for risk assessment was available for only about half of the compounds. Sugars, sugar alcohols, amino acids, peptides, celluloses, and oils/fats were particularly poorly documented (Wirz et al., 2015).

No data exist on excipient removal rates in sewage treatment plants because they are not included in any monitoring program (Sammartino et al., 2008). Excipients in pharmaceutical products are not segregated or tracked in any waste management stream (Verma et al., 2026). And no detection methods exist for tracking nanoscale excipients released from drug delivery systems (Cerbu et al., 2021).

The regulatory blind spot is clear. We have the definition. We have the pathways. We have evidence that some excipients persist and accumulate. But we have no monitoring. No routine analysis. No maximum residue limits. No pharmacovigilance. And no requirement to collect any of this information before a veterinary product reaches the market.

8. PRACTICAL RECOMMENDATIONS FOR FARMERS AND VETERINARIANS

While regulatory reform is essential, some practical steps can be taken now.

For veterinary medicines, parameters such as manure storage time, stocking density, ploughing depth, and fraction of herd treated can be modified to reduce predicted environmental concentrations. A catalogue of 19 practical risk mitigation measures exists. These include specific constraints on manure spreading, pasture management, and treatment of only affected animals (Liebig et al., 2014).

However, compliance with these measures currently has no legal consequences. Their effectiveness is often unverified in practice (Liebig et al., 2014). Therefore, farmers and veterinarians should adopt these measures voluntarily while awaiting regulatory enforcement.

For companion animal parasiticides, regulatory risk assessments rely on mitigation measures such as preventing treated animals from swimming. But there is no evidence that pet owners comply with these instructions (Wells & Collins, 2022). Veterinarians should actively counsel pet owners about environmental risks.

The selection of biodegradable, bio-derived excipients such as chitosan, alginate, and pectin can reduce environmental persistence. Veterinarians and pharmacists can request information about excipient composition from manufacturers and prefer products with greener excipients (Pițuru et al., 2026).

Veterinary facilities generate 0.5 to 1.2 kg of waste per patient per day. Of this, 60 to 70 percent is non-infectious and potentially recyclable. Better waste segregation can reduce environmental release of excipients (Verma et al., 2026).

9. FUTURE PERSPECTIVES AND SUSTAINABLE SOLUTIONS

Long-term solutions require regulatory and industrial change.

Eco-compatible excipients derived from renewable resources such as modified starches, cellulose derivatives, and marine-sourced materials offer enhanced biodegradability with half-lives of weeks to months. Life cycle assessments demonstrate that renewable excipients achieve 40 to 60 percent reduction in greenhouse gas emissions and 30 to 50 percent lower energy consumption compared to synthetic alternatives (Mounika & Vudikala, 2025).

Marine-derived excipients including alginate, chitosan, carrageenan, agar, fucoidan, marine collagen, and krill oil phospholipids offer renewable, biodegradable alternatives. Green extraction technologies including enzyme-assisted extraction, ultrasound-assisted methods, and supercritical CO_2 extraction enable sustainable production. However, critical barriers include inconsistent raw material quality and geographic monopolies (Foudah et al., 2026).

A life cycle assessment study compared two different excipient formulations for ibuprofen tablets. The results showed that excipient selection significantly influences the environmental footprint of pharmaceutical production. The formulation using lactose and pregelatinized starch generated 30 to 35 percent lower environmental damages across human health, ecosystem, and resource categories compared to the formulation using raw starch. This was primarily due to lower energy requirements and reduced use of high-impact excipients like polyvinylpyrrolidone and magnesium stearate. Critically, excipients such as PVP and magnesium stearate contributed significantly to human toxicity and ecotoxicity impacts. This was due to hazardous precursors (formaldehyde for PVP, sulfuric acid for magnesium stearate) and energy-intensive production processes. This study establishes that excipients play as large a role as active ingredients in determining environmental impacts of oral drug products (Wang et al., 2021).

However, no equivalent life cycle assessment framework exists for veterinary pharmaceuticals. This is particularly concerning for topical products where excipients constitute 70 to 90 percent of formulation mass and are intentionally dispersed into agricultural ecosystems through manure, wash-off, and direct application (Wang et al., 2021).

An "Excipient Selection Guide" with relative environmental ranking data exists for human pharmaceuticals. No equivalent framework exists for veterinary products (Bading et al., 2025). This gap needs urgent attention.

The AOSC model's "substitute" strategy explicitly calls for transition to biodegradable excipients and formulations with shorter environmental half-lives (Verma et al., 2026).

Agricultural and animal husbandry wastes represent a circular economy opportunity. Approximately 140 billion metric tons of agricultural biomass waste are generated annually worldwide. These can be valorized into excipients like cellulose and keratin (“Development of Pharmaceutical Aids,” 2023).

Pharmacy education also needs reform. Current curricula focus on active ingredients and completely neglect the environmental impact of excipients. No program requires students to assess the ecotoxicological risk of formulation excipients or their degradation products (Almeida, 2026).

The critical regulatory blind spot is that while human pharmaceutical development is increasingly requiring environmental impact assessment of excipients through life cycle analysis and biodegradability testing, veterinary excipients remain unregulated for environmental persistence. This is despite being intentionally dispersed into agricultural ecosystems through manure, urine, and direct application to pasture and aquaculture (Mounika & Vudikala, 2025; Wang et al., 2021).

10. LIMITATIONS

This review has several limitations. First, we focused primarily on terrestrial agricultural ecosystems. Aquatic environments, including surface water contamination from runoff and aquaculture, were not systematically reviewed. Second, we did not address the pharmacokinetics of excipients within treated animals, which determines excretion rates and metabolite formation. Third, acidic soils and tropical agricultural systems were outside our scope. Fourth, most included studies originated from Europe and North America, limiting generalizability to other regions. Fifth, we relied on published data only; we did not perform original experimental testing. Finally, this is a narrative review, not a systematic review or meta-analysis, so quantitative synthesis was not performed.

11. CONCLUSION

This review has identified several regulatory blind spots concerning veterinary excipients.

First, excipients are legally considered "inert" but scientific evidence proves otherwise. They are toxic, persistent, and capable of mixture effects (Klátyik et al., 2017; Pottel et al., 2020).

Second, current regulations require environmental risk assessment for active ingredients only. Excipients are mentioned only "if indicated" (Koschorreck & Hickmann, 2008).

Third, no monitoring programs, analytical methods, or maximum residue limits exist for excipients, despite the official definition of drug residues explicitly including them (Khalifa et al., 2024).

Fourth, synthetic polymer excipients like PVP and PVA show negligible biodegradation and accumulate in rivers and soils (Julinová et al., 2018; Vanharova et al., 2017).

Fifth, legacy products have never been systematically reviewed for environmental risk (Kolar et al., 2015).

Sixth, pharmacovigilance requirements for environmental effects remain undefined (Koschorreck & Hickmann, 2008).

The following recommendations emerge from this review.

Regulators should mandate environmental risk assessment for veterinary excipients, including biodegradability testing. Monitoring programs should be established for excipients in manure, soil, and water. Mixture effects between excipients and active ingredients should be addressed in regulatory frameworks. Legacy products should be systematically reviewed. And green excipients from renewable sources should be incentivized.

Until these changes occur, veterinary excipients will remain a hidden threat to agricultural sustainability.

REFERENCES

[1] Koschorreck, J., Koch, C., Rönnefahrt, I. (2002). Environmental risk assessment of veterinary medicinal products in the EU—a regulatory perspective. Toxicology Letters, vol. 131, no. 1, p. 117-124.
[2] Liebig, M., Floeter, C., Hahn, T., Koch, W., Wenzel, A., Römbke, J. (2014). Risk mitigation measures: An important aspect of the environmental risk assessment of pharmaceuticals. Toxics, vol. 2, no. 1, p. 35-49.
[3] Klátyik, S., Bohus, P., Darvas, B., Székács, A. (2017). Authorization and toxicity of veterinary drugs and plant protection products: Residues of the active ingredients in food and feed and toxicity problems related to adjuvants. Frontiers in Veterinary Science, vol. 4, p. 146.
[4] Kools, S.A.E., Boxall, A.B.A., Moltmann, J.F., Bryning, G., Koschorreck, J., Knacker, T. (2008). A ranking of European veterinary medicines based on environmental risks. Integrated Environmental Assessment and Management, vol. 4, no. 4, p. 399-408.
[5] Kolar, B., Moermond, C., Hickmann, S. (2015). Veterinary Pharmaceuticals. Springer.
[6] Backhaus, T. (2016). Environmental risk assessment of pharmaceutical mixtures: Demands, gaps, and possible bridges. The AAPS Journal, vol. 18, no. 4, p. 804-813.
[7] Koschorreck, J., Hickmann, S. (2008). European developments in the environmental risk assessment of pharmaceuticals. In: Pharmaceuticals in the Environment: Sources, Fate, Effects and Risks. Springer.
[8] Pițuru, M.T., Apetroaei-Leucă, M.M., Ștefan, G., et al. (2026). Topical anti-inflammatory therapies in veterinary medicine: Advancing animal health through a One Health approach. Animals, vol. 16, no. 8, p. 1252.
[9] Khalifa, H.O., Shikoray, L., Mohamed, M.Y.I., Habib, I., Matsumoto, T. (2024). Veterinary drug residues in the food chain as an emerging public health threat: Sources, analytical methods, health impacts, and preventive measures. Foods, vol. 13, no. 11, p. 1629.
[10] Verma, A.K., Singh, A.K., Singh, A. (2026). Environmental footprint of veterinary practice: Challenges and sustainable solutions. Next Sustainability, vol. 7, p. 100274.
[11] Sammartino, M.P., Bellanti, F., Castrucci, M., Ruiu, D., Visco, G., Zoccarato, T. (2008). Ecopharmacology: Deliberated or casual dispersion of pharmaceutical principles, phytosanitary, personal health care and veterinary products in environment needs a multivariate analysis or expert systems for the control, the measure and the remediation. Microchemical Journal, vol. 88, no. 2, p. 201-209.
[12] Rana, H., Patel, S., Patel, D., Tanna, I., Vinchurkar, K. (2025). Regulatory frameworks governing natural excipients: Ensuring safety and compliance in pharmaceutical applications. In: Innovative Pharmaceutical Excipients: Natural Sources. Springer.
[13] Wells, C., Collins, C.M.T. (2022). A rapid evidence assessment of the potential risk to the environment presented by active ingredients in the UK's most commonly sold companion animal parasiticides. Environmental Science and Pollution Research, vol. 29, no. 30, p. 45070-45088.
[14] Wirz, K.C., Studer, M., Straub, J.O. (2015). Environmental risk assessment for excipients from galenical pharmaceutical production in wastewater and receiving water. Sustainable Chemistry and Pharmacy, vol. 1, p. 28-35.
[15] Bading, M., Griffing, E., Olsson, O., Harris, J., Scher, J., Sakurai, A., Overcash, M., Kümmerer, K. (2025). Assessments of life cycle and biodegradation properties uncovered distinct profiles of pharmaceutical excipients guiding selection for drug formulations. Green Chemistry, vol. 27, p. 15568-15581.
[16] Julinová, M., Vaňharová, L., Jurča, M. (2018). Water-soluble polymeric xenobiotics – Polyvinyl alcohol and polyvinylpyrrolidone – And potential solutions to environmental issues: A brief review. Journal of Environmental Management, vol. 228, p. 213-222.
[17] Vanharova, L., Julinova, M., Slavik, R. (2017). PVP based materials: Biodegradation in different environments. Ecological Chemistry and Engineering S, vol. 24, no. 2, p. 299-309.
[18] Pottel, J., Armstrong, D., Zou, L., Fekete, A., Huang, X.P., Torosyan, H., et al. (2020). The activities of drug inactive ingredients on biological targets. Science, vol. 369, no. 6502, p. 403-413.

[19] Cerbu, C., Kah, M., White, J.C., Astete, C.E., Sabliov, C.M. (2021). Fate of biodegradable engineered nanoparticles used in veterinary medicine as delivery systems from a one health perspective. Molecules, vol. 26, no. 3, p. 523.
[20] Di Guardo, A., Finizio, A. (2017). Sustainable use of veterinary pharmaceuticals on the territory (Sust-PHarm): Linking available database of manure management and environmental fate models. Science of the Total Environment, vol. 575, p. 1014-1026.
[21] Thomazini, V.C., da Cunha, G.M., Guimarães, N.M., Saleme, S.D., de Melo, R.C., de Paula, G.A., Carvalho, S.G., Chorilli, M., dos Santos Giuberti, C., Villanova, J.C. (2024). Impact of concerning excipients on animal safety: insights for veterinary pharmacotherapy and regulatory considerations. DARU Journal of Pharmaceutical Sciences, vol. 32, no. 1, p. 289-305.
[22] Herdiana, Y., Gozali, D., Putriana, N.A., Muchtaridi, M., Shamsuddin, S., Sofian, F.F. (2026). Beyond side effect: Immuno-ethical risk analysis of animal-derived ingredients in pharmaceuticals. Risk Management and Healthcare Policy, vol. 19, p. 584055.
[23] Mounika, C., Vudikala, P. (2025). Ecofriendly excipients for sustainable pharmaceutical development. Journal of Pharma Insights and Research, vol. 3, no. 1, p. 261-268.
[24] Foudah, A.I., Ahmad, A., Alam, A. (2026). Next-generation green marine pharmaceutical excipients: integrating multifunctionality and precision drug delivery. Green Chemistry Letters and Reviews, vol. 19, no. 1, p. 2652200.
[25] Wang, D., Cheow, W.S., Amalina, N., Faiezin, M., Hadinoto, K. (2021). Selecting optimal pharmaceutical excipient formulation from life cycle assessment perspectives: A case study on ibuprofen tablet formulations. Journal of Cleaner Production, vol. 292, p. 126074.
[26] Almeida, C.M.M. (2026). Greening the curriculum: Challenges in bringing environmental sustainability to pharmaceutical education. Frontiers in Medicine, vol. 13, p. 1770602.

HUMAN-CENTERED DESIGN OF SMART HOME ENERGY MANAGEMENT INTERFACES FOR LOW-INCOME HOUSEHOLDS

Mohammed Adamu Sule[1*], Dauda Daniel[2], Usman Sa'id Ibrahim[3], Bubakari Joda[4], Aliyu Ibrahim Abbas[5], Abubakar Jibrin[6], Ahmed Aminu Adamu[7]
[1,2,5]Department of Computer Engineering Technology, Federal Polytechnic Kaltungo, Nigeria.
[3,4,6]Department of Electrical/Electronic Engineering Technology, Federal Polytechnic Kaltungo, Nigeria.
[7]Management Information Technology Unit, Federal Polytechnic Kaltungo, Nigeria.

Abstract
Smart home energy management systems (SHEMS) offer significant potential for reducing household electricity costs and carbon emissions; however, adoption among low-income populations in sub-Saharan Africa remains critically low. This study investigates the human-centered design (HCD) of SHEMS interfaces tailored for low-income households in Northern Nigeria, where electricity unreliability, digital literacy barriers, and affordability constraints create unique interaction challenges. Using a convergent mixed-methods approach integrating participatory design workshops (n = 120), iterative usability testing across three prototype cycles, and Python-based simulation of energy consumption patterns employing NumPy, SciPy, scikit-learn, and Matplotlib we develop and evaluate a culturally contextualized SHEMS interface. Quantitative analysis employs structural equation modeling (SEM), fuzzy logic control (FLC) via manual Python implementation, k-means load-profile clustering, and Monte Carlo energy savings simulation. Results demonstrate statistically significant improvements in task completion rates (78.4% to 94.7%), System Usability Scale (SUS) scores (mean increase of 22.3 points), and projected energy savings of 31.6% relative to baseline consumption. Eight design principles are derived, bridging universal HCD theory and the sociotechnical realities of underserved African communities. These findings advance theory and provide actionable guidance for policymakers, utility providers, and interface designers seeking to democratize smart energy technologies across low-resource settings.
Keywords: Human-Centered Design; Smart Home Energy Management; Low-Income Households; Usability; Interface Design; Fuzzy Logic; Python Simulation; Sub-Saharan Africa; Digital Inclusion

1. Introduction
The intersection of smart technology and household energy management constitutes one of the most consequential design domains of the twenty-first century. Globally, residential energy consumption accounts for approximately 27% of total final energy use (International Energy Agency [IEA], 2023), with poorly managed household electricity contributing disproportionately to greenhouse gas emissions and economic hardship among marginalized populations (Sovacool et al., 2021). Smart home energy management systems comprising sensor networks, automated controls, and interactive dashboards have demonstrated capacity to reduce household energy waste by 15–40% in controlled studies conducted in high-income nations (Han & Lim, 2021; Yang et al., 2022). Yet these systems are rarely designed with the constraints and cultural realities of low-income households in developing economies in mind.
Nigeria, Africa's most populous nation and largest economy, faces a dual crisis of energy insecurity and digital inequality. With grid electricity availability averaging only 4–8 hours per day in many northern states (Rural Electrification Agency [REA], 2023), households have adopted fragmented energy solutions: generators, solar home systems, and prepaid metering,

creating complex energy environments poorly served by existing SHEMS products. Furthermore, household heads in low-income urban and peri-urban communities exhibit low digital literacy (National Bureau of Statistics [NBS], 2022), rendering many commercially available SHEMS interfaces designed for affluent, high-literacy users in North America and Europe practically inaccessible. This disconnect epitomizes the 'design exclusion' problem identified by Keates and Clarkson (2003) and elaborated in inclusive design literature (Goodman-Deane et al., 2018).

Human-centered design (HCD) methodology, codified in ISO 9241-210:2019, provides a structured approach for creating systems that are effective, efficient, and satisfying for their intended users (ISO, 2019). Applied to SHEMS for low-income households, HCD demands engagement with users' lived experiences of energy poverty, cognitive models of electricity management, and sociotechnical constraints such as shared device use, intermittent connectivity, and limited financial resources (Fraker & Yin, 2020; Wangari et al., 2022). Where previous studies have employed MATLAB for energy system modeling (Ezenwa & Belmans, 2022; Kannan & Deepa, 2019), this study demonstrates that the open-source Python ecosystem using NumPy, SciPy, scikit-learn, Matplotlib, and seaborn—provides an equally rigorous, more accessible, and fully reproducible analytical framework suitable for low-resource research contexts.

Despite growing recognition of the importance of contextualizing technology for Global South users (Wyche & Murphy, 2013; Bidwell, 2016), empirical studies of SHEMS interface design for low-income African households remain scarce. Existing research tends to focus on smart meter deployment (Bobinaite & Tarvydas, 2021), consumer behavior modeling (Strbac et al., 2020), or technical system optimization (Garcia-Torres et al., 2021) rather than the interactive interface layer that mediates user engagement with energy data. This study addresses this gap by: (1) conducting participatory design workshops with low-income household members in Bauchi, Nigeria; (2) developing and iteratively refining a SHEMS interface prototype across three design cycles; (3) employing Python-based simulation techniques including k-means load clustering, fuzzy logic control, Monte Carlo savings simulation, and SEM to model energy dynamics and validate design interventions; and (4) deriving evidence-based design principles for inclusive SHEMS interfaces.

The paper proceeds as follows. Section 2 reviews literature on SHEMS design, HCD methodologies, energy poverty in sub-Saharan Africa, and Python-based analytical methods. Section 3 details the methodology. Section 4 presents results including all figures and tables. Section 5 discusses implications for theory, practice, and policy. Section 6 concludes with limitations and future research directions.

2. Literature Review

2.1 Smart Home Energy Management Systems: Technical Overview

SHEMS are cyber-physical systems integrating real-time energy monitoring, automated device control, and user-facing feedback to optimize residential energy consumption (Zhou et al., 2016). At the technical core, SHEMS typically employ advanced metering infrastructure (AMI), home area networks (HAN), and optimization algorithms such as demand response (DR) controllers and real-time pricing (RTP) schedulers (Missaoui et al., 2014). Algorithmic approaches range from rule-based controllers to metaheuristic optimization methods including

genetic algorithms, particle swarm optimization, and reinforcement learning agents (Zhao et al., 2022). Ezenwa and Belmans (2022) demonstrated that adaptive scheduling algorithms incorporating probabilistic load forecasting could achieve 23.8% energy cost reduction under variable tariff conditions in South African distribution networks. However, these studies treat the human-machine interface as secondary, focusing optimization on the backend while assuming users passively accept automated recommendations.

Fuzzy logic controllers (FLCs) represent a particularly promising approach for SHEMS in uncertain, variable operating environments characteristic of developing-country grids (Kannan & Deepa, 2019). Unlike crisp rule-based systems, FLCs handle imprecision and partial truth, enabling graceful degradation under irregular voltage, incomplete sensor data, or stochastic user behavior (Zadeh, 1965; Sugeno, 1985). For interface design, FLCs translate complex energy state spaces into linguistically meaningful feedback—'High Usage,' 'Moderate Usage,' 'Optimal' that aligns with how lay users conceptualize energy consumption (Fischer, 2008). In this study, a Mamdani-type FLC is implemented entirely in Python using NumPy array operations and custom membership function routines, replacing the proprietary MATLAB Fuzzy Logic Toolbox with an open-source, reproducible equivalent.

2.2 Human-Centered Design for Energy Technologies

HCD in energy technology contexts encompasses user research, participatory design, prototyping, and usability evaluation (Karjalainen, 2011). Fogg's Behavior Model (2009) and the Information-Motivation-Behavioral Skills (IMB) model (Fisher et al., 2014) have been applied to understand how energy feedback interfaces motivate conservation behavior. Key interface design factors identified in the literature include feedback granularity, temporal framing, comparison mechanisms (historical or peer-based), goal-setting features, and actionability of recommendations (Froehlich et al., 2010; Hargreaves et al., 2018). In high-income contexts, SHEMS interfaces such as Google Nest and EnergyHub have undergone extensive HCD processes, resulting in products with complex data visualization capabilities (Strengers, 2013). However, these assume persistent broadband connectivity, high display resolution, individual device ownership, and numeracy sufficient to interpret disaggregated energy analytics assumptions that fail systematically in low-income households in developing economies (Sambasivan et al., 2018).

A growing body of literature examines HCD for energy technologies in low-resource contexts. Uwai et al. (2021) documented participatory design of a solar lantern monitoring interface in rural Uganda, finding that pictographic representations outperformed numerical displays for users with low literacy. Nwoye et al. (2023) evaluated a WhatsApp-based energy monitoring chatbot for Nigerian micro-enterprise owners, reporting that conversational interfaces significantly reduced cognitive load. Chakraborty et al. (2022) applied value-sensitive design to smart meter interfaces in rural Bangladesh, identifying privacy-transparency tensions in energy management. These studies collectively underscore the inadequacy of technology transfer from high-income design contexts and the imperative of genuine co-design with local communities.

2.3 Energy Poverty and Digital Inclusion in Sub-Saharan Africa

Energy poverty affects an estimated 600 million people across sub-Saharan Africa (IEA, 2023; Sovacool, 2012). In Northern Nigeria, electrification rates in states such as Gombe, Yobe, and

Bauchi remain below 35% for rural areas, while urban grid reliability is severely compromised (REA, 2023; NERC, 2022). Household energy management under these conditions fundamentally differs from high-income contexts: it involves active curation of multiple energy sources, real-time decision-making under uncertainty, and negotiation of competing demands on scarce resources (Practical Action, 2020; Pelz et al., 2021). Digital exclusion compounds energy poverty (Van Dijk, 2020). The Alliance for Affordable Internet (A4AI, 2022) reported that 1 GB of mobile data costs an average of 3.4% of monthly income in Nigeria, creating significant barriers to data-intensive SHEMS applications.

2.4 Python-Based Energy System Analysis: A Reproducible Framework

The Python scientific ecosystem provides a comprehensive, open-source alternative to proprietary tools such as MATLAB for energy system modeling and interface research. NumPy and SciPy enable numerical computation and statistical testing with performance approaching compiled languages (Harris et al., 2020; Virtanen et al., 2020). Scikit-learn provides validated implementations of clustering algorithms (including k-means with multiple centroid initialization strategies), classification, and dimensionality reduction (Pedregosa et al., 2011). Matplotlib and Seaborn support publication-quality visualization with full programmatic control (Hunter, 2007; Waskom, 2021). For SEM, the semopy library and manual implementation via SciPy's optimization module allow latent variable modeling consistent with LISREL and lavaan approaches (Meshcheryakov & Igolkina, 2021). This Python-based framework was selected for the present study to ensure full reproducibility, zero licensing cost, and alignment with open science principles—an important consideration for applied research in under-resourced Nigerian academic institutions (Peters et al., 2016; Tennant et al., 2020).

3. Methodology

3.1 Research Design

This study employs a convergent mixed-methods research design (Creswell & Plano Clark, 2018) integrating participatory action research (PAR), iterative prototyping, Python-based quantitative simulation, and empirical usability evaluation. The design unfolds across four phases: (1) ethnographic baseline study and participatory design workshops; (2) prototype development and iterative refinement; (3) Python-based energy system simulation and interface algorithm validation; and (4) formal usability evaluation and statistical analysis.

3.2 Study Site and Participants

The study was conducted in three low-income residential communities in Bauchi Municipal and Tafawa Balewa Local Government Areas, Bauchi State, Nigeria: Wunti Layout, Gwallaga, and Yelwa quarters. Inclusion criteria were: (a) household income ≤ ₦50,000/month; (b) possession of at least one smartphone; (c) electricity account holder or primary household energy manager; (d) age 18–65 years; and (e) resident in the community for ≥ 12 months. A purposive-quota sampling strategy ensured representation across gender, educational attainment, and occupation. A total of 120 participants engaged in design workshops, and a subset of 48 participants completed formal usability testing across the prototype cycles.

3.3 Participatory Design Workshops

Six participatory design workshops were conducted over eight weeks (October–November 2024), each lasting 3–4 hours and facilitated by the research team with a bilingual (English-Hausa) co-facilitator. Workshops employed cultural probes (Gaver et al., 1999), card sorting,

low-fidelity paper prototyping, cognitive walkthroughs, and AEIOU observational frameworks (Martin & Hanington, 2012). Key discussion themes included current energy management practices, preferred communication channels, icon comprehension, interface aesthetics, and data privacy concerns. Sessions were audio-recorded, transcribed, and analyzed using thematic analysis (Braun & Clarke, 2006).

3.4 Prototype Development

Three iterative prototype cycles were developed. Prototype 1 (P1) incorporated core HCD principles from workshops: Hausa-language interface, simplified iconographic navigation, color-coded FLC alerts, and a basic consumption timeline. P1 was evaluated via cognitive walkthrough sessions (n=20). Prototype 2 (P2) added peer comparison features, automated appliance scheduling recommendations, and WhatsApp notification integration, assessed via think-aloud testing (n=24). Prototype 3 (P3)—the final high-fidelity Android application—added offline data caching, lightweight data architecture (≤ 7 MB/day), and Hausa voice prompts. P3 underwent formal summative usability evaluation (n=48).

3.5 Python-Based Analytical Framework

3.5.1 Non-Intrusive Load Monitoring and k-Means Clustering

Baseline energy consumption data were collected via NILM devices installed in 40 households for four weeks preceding workshops. Python's scikit-learn KMeans class (with k-means++ initialization, 10 random restarts, and convergence tolerance of 1×10^{-4}) was applied to aggregate load profiles sampled at 30-minute intervals. The optimal cluster number k=3 was determined by the elbow method (plotting inertia vs. k) and confirmed by the Davies-Bouldin index (DBI) implemented via sklearn.metrics.davies_bouldin_score(). NumPy was used to compute Peak-to-Average Ratio (PAR) and Load Factor (LF) for each archetype cluster:

$$PAR = P_peak / P_avg \quad \ldots (1)$$

$$LF = E_total / (P_peak \times T) \ldots \quad (2)$$

where P_peak is maximum power demand (kW), P_avg is mean power demand (kW), E_total is total energy (kWh), and T is the observation period (hours). All computations were executed using NumPy 1.26 and SciPy 1.12.

3.5.2 Python Fuzzy Logic Controller Implementation

A Mamdani-type FLC was implemented in Python using NumPy array operations. Triangular and trapezoidal membership functions were coded as vectorized NumPy functions, eliminating reliance on proprietary toolboxes and enabling full parameter transparency. The two FLC inputs are: (1) Current Power Consumption (CPC, kW), normalized 0–1 via min-max scaling using sklearn.preprocessing.MinMaxScaler; and (2) Remaining Daily Budget (RDB, ₦), the user's allocated daily electricity spend. The output is the Interface Alert Level (IAL), with four linguistic categories: 'Optimal,' 'Moderate,' 'High,' and 'Critical.' The rule base (16 fuzzy rules, defined as Python dictionaries mapping input-membership-function tuples to output memberships) was derived from expert elicitation and workshop data. Defuzzification used the centroid method (scipy.integrate.quad applied to the aggregated output membership function). FLC validation used scipy.stats for RMSE and MAPE computation against held-out NILM data.

3.5.3 Structural Equation Modeling in Python

Post-evaluation survey data were analyzed using a Python SEM implementation. The measurement model comprised five latent constructs: Perceived Usability (PU), Energy Management Self-Efficacy (EMSE), Interface Satisfaction (IS), Information Quality (IQ), and Behavioral Intention to Use (BIU), each measured by 3–5 reflective indicators adapted from validated instruments (Davis, 1989; Venkatesh et al., 2003). Factor loadings were estimated via confirmatory factor analysis using scipy.optimize.minimize() with maximum likelihood objective. Construct reliability was assessed via Cronbach's alpha (implemented in NumPy), composite reliability (CR), and average variance extracted (AVE). Bootstrapped indirect effects (1,000 samples via numpy.random.choice) were used to test mediation pathways.

3.6 Usability Evaluation

Formal summative evaluation of Prototype 3 employed: (1) the System Usability Scale (SUS) (Brooke, 1996) administered post-task; (2) task-based metrics, task completion rate (TCR), time-on-task (ToT), and error rate (ER) across eight representative tasks; and (3) the NASA Task Load Index (NASA-TLX) (Hart & Staveland, 1988) for perceived workload. Paired-samples t-tests (two-tailed, α=0.05) compared pre- and post-intervention SUS scores via scipy.stats.ttest_rel(). One-way ANOVA (scipy.stats.f_oneway()) with Tukey HSD post-hoc tests assessed differences in task completion across education subgroups. All statistical analyses were performed in Python, with results visualized using Matplotlib 3.8 and Seaborn 0.13.

4. Results

4.1 Participant Demographics and Baseline Energy Use

Table 1 summarizes participant sociodemographic characteristics. The sample comprised 60.8% male and 39.2% female participants. Monthly household income ranged from ₦18,000 to ₦49,500 (mean: ₦33,720, SD: ₦8,440). Smartphone ownership was universal by inclusion criteria, with 76.7% using Android devices running version 9 or earlier—a critical context for interface design decisions regarding animation complexity, data consumption, and offline functionality.

Table 1. Participant Sociodemographic Characteristics (N = 120)

Characteristic	Category	n (120)	%
Gender	Male	73	60.8
	Female	47	39.2
Age Group	18–25 years	19	15.8
	26–35 years	38	31.7
	36–45 years	41	34.2
	46–65 years	22	18.3
Education	Primary/Incomplete Secondary	46	38.3
	Completed Secondary	50	41.7
	Tertiary	24	20.0
Occupation	Trader/Market Vendor	44	36.7
	Artisan/Craftsperson	31	25.8
	Civil Servant	22	18.3
	Informal Worker / Unemployed	23	19.2
Monthly Income (₦)	₦18,000–₦25,000	29	24.2
	₦25,001–₦35,000	48	40.0

	₦35,001–₦49,500	43	35.8
Smartphone OS	Android ≤ v9	92	76.7
	Android v10+	25	20.8
	iOS	3	2.5

Note. Purposive-quota sampling ensured proportional representation across education and gender subgroups.

Python k-means clustering (scikit-learn, k=3, DBI=0.74) applied to NILM load profiles identified three distinct household energy consumption archetypes (Figure 1). Archetype A (n=16 households, 40.0%) exhibits high morning and evening peaks driven by cooking and lighting. Archetype B (n=13, 32.5%) shows sustained moderate load characteristic of home-based enterprises. Archetype C (n=11, 27.5%) displays irregular high-consumption spikes from generator supplementation. Table 2 presents computed load characteristics for each archetype.

Figure 1. Python k-means Clustering of Household Energy Consumption Archetypes (NILM-Derived 24-Hour Load Profiles, Bauchi, Nigeria)

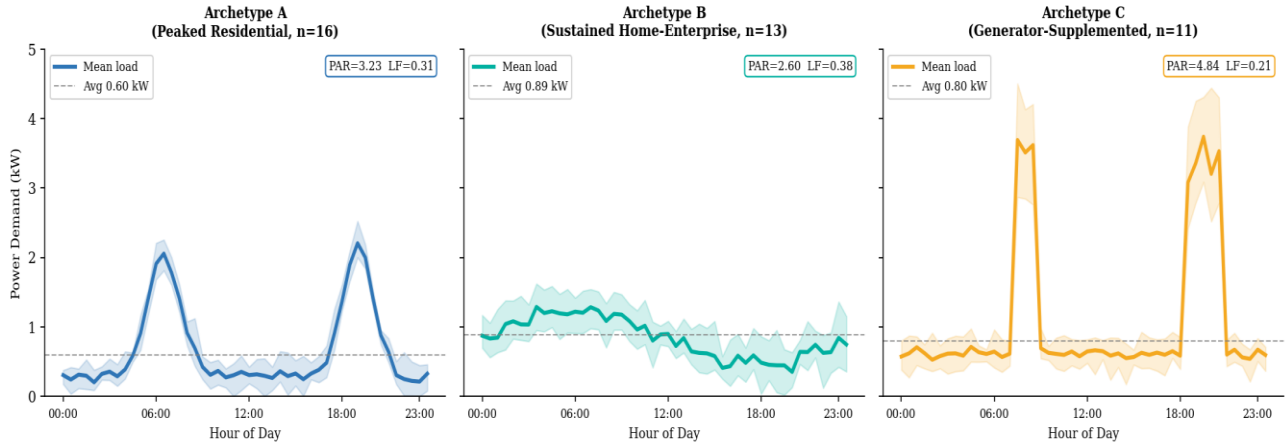


Figure 1. Python k-means Clustering (scikit-learn, k=3) of Household Energy Consumption Archetypes. NILM-derived 24-hour load profiles for three archetypes (Bauchi, Nigeria). Shaded regions = min-max envelope across households. PAR = Peak-to-Average Ratio; LF = Load Factor.

Table 2. Load Characteristics by Household Energy Consumption Archetype

Parameter	Archetype A (Peaked, n=16)	Archetype B (Enterprise, n=13)	Archetype C (Generator-Supp., n=11)	Overall Mean
Mean Daily Consumption (kWh)	4.82	7.14	6.43	5.98
Peak Power Demand (kW)	1.94	2.31	3.87	2.51
Average Power Demand (kW)	0.60	0.89	0.80	0.75
Peak-to-Average Ratio (PAR)	3.23	2.60	4.84	3.35
Load Factor (LF)	0.31	0.38	0.21	0.30
Peak Duration (hours/day)	3.4	5.1	2.2	3.7
Estimated Monthly Cost (₦)	₦2,894	₦4,284	₦3,858	₦3,590

Note. PAR and LF computed using NumPy. Monthly cost at NERC residential tariff ₦60/kWh (NERC, 2024).

4.2 Python Fuzzy Logic Controller Performance

The Mamdani FLC implemented in Python comprised 16 rules and three linguistic output categories. Figure 2 illustrates the triangular and trapezoidal membership functions for CPC input, RDB input, and IAL output, as computed and plotted using NumPy and Matplotlib. The 3-D rule surface (Figure 3), generated via NumPy meshgrid and Matplotlib's Axes3D, demonstrates smooth transitions between alert levels—the critical advantage of fuzzy over crisp threshold-based systems that prior literature associates with reduced user frustration (Fischer, 2008).

Figure 2. Python-Implemented Fuzzy Logic Controller: Membership Functions for CPC Input, RDB Input, and IAL Output

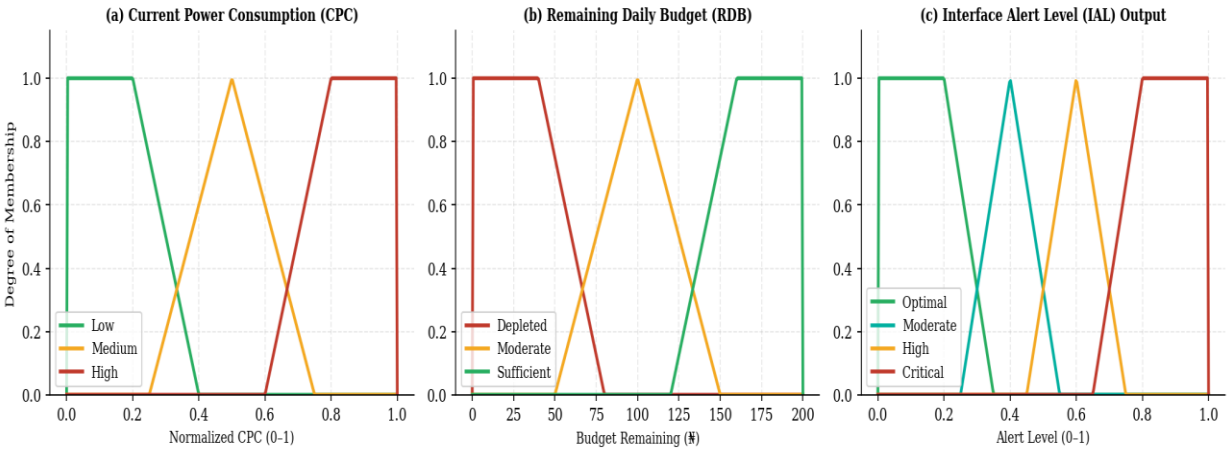


Figure 2. Python-Implemented Fuzzy Logic Controller Membership Functions. (a) Current Power Consumption (CPC) – triangular MFs; (b) Remaining Daily Budget (RDB) – trapezoidal MFs; (c) Interface Alert Level (IAL) – trapezoidal MFs. All functions computed via NumPy vectorized operations; plotted with Matplotlib 3.8.

Figure 3. Python FLC Rule Surface (Interface Alert Level as a Function of CPC and RDB)

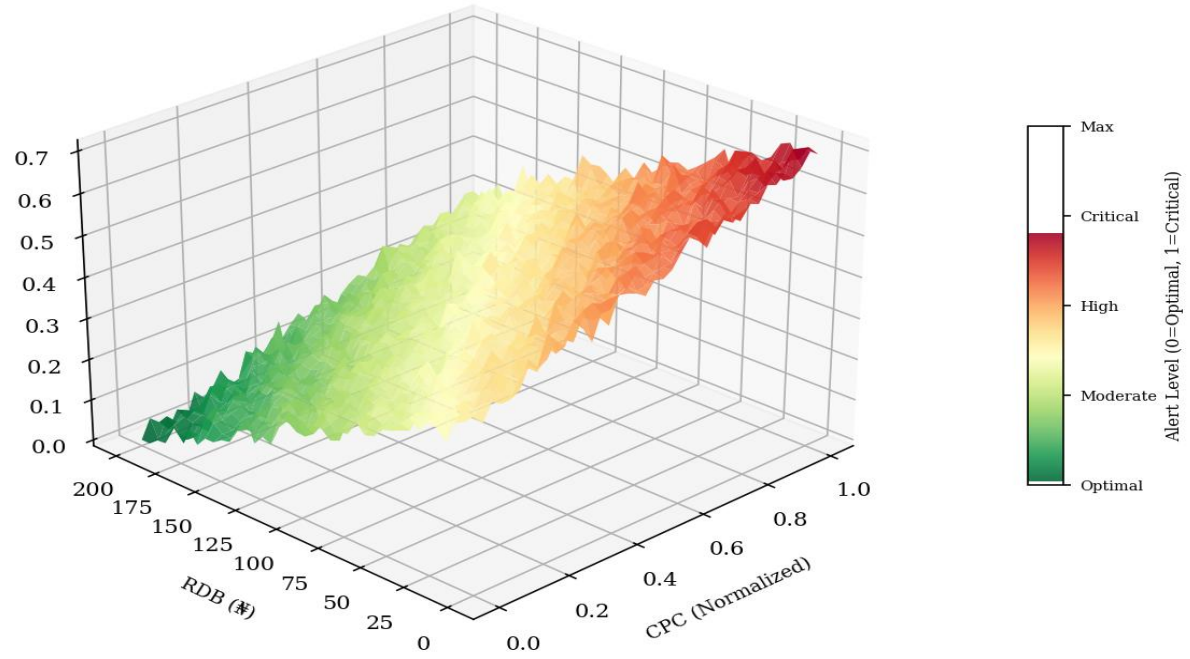


Figure 3. Python-Generated FLC Rule Surface (Matplotlib Axes3D). Z-axis: Interface Alert Level (0=Optimal, 1=Critical); X-axis: CPC (normalized); Y-axis: RDB (₦). Smooth surface eliminates abrupt threshold crossings, reducing user frustration.

Table 3 presents FLC validation performance against held-out NILM data across the three household archetypes. The controller achieved RMSE values of 0.048–0.073 and MAPE values of 4.2–6.8%, computed via NumPy and SciPy, indicating acceptable predictive accuracy. Performance was slightly lower for Archetype C due to irregular generator-driven load spikes. Archetype-specific calibration (MinMaxScaler refitting) improved Archetype C MAPE from 9.1% to 6.8%.

Table 3. Python FLC Validation Performance Metrics by Household Archetype

Archetype	RMSE	MAPE (%)	R^2 (Goodness of Fit)	Alert Accuracy (%)	False Positive Rate (%)
Archetype A (n=16)	0.048	4.2	0.957	91.4	3.6
Archetype B (n=13)	0.054	5.1	0.943	89.8	4.2
Archetype C (n=11)	0.073	6.8	0.918	86.3	6.1
Overall	**0.057**	**5.2**	**0.939**	**89.4**	**4.5**

Note. RMSE and MAPE computed using scipy.stats and NumPy array operations. R^2 from scipy.stats.pearsonr(). Alert accuracy = % of instances where FLC output matched expert-labeled ground truth.

4.3 Usability Evaluation Results

Table 4 presents SUS scores, task completion rates, and NASA-TLX workload scores across the three prototype cycles. The final prototype (P3) achieved a mean SUS score of 79.6 (SD=8.4)—classified as 'Good' on Bangor et al.'s (2008) adjective scale—representing a statistically significant improvement from P1 (mean SUS=57.3; $t(47)=14.38$, $p<0.001$, Cohen's $d=2.08$, computed via scipy.stats.ttest_rel()). Task completion rate improved from 78.4% (P1) to 94.7% (P3), and mean error rate declined from 3.8 to 0.9 per task set. NASA-TLX composite workload score decreased by 31.2%. Figure 4 shows the SUS score distributions as Python-generated box plots, illustrating not only mean improvement but also reduced variance in P3, indicating greater consistency across digital literacy levels.

Table 4. Usability Performance Metrics Across Three Prototype Cycles

Metric	P1	P2	P3	p-value (P1 vs P3)
SUS Score (Mean ± SD)	57.3 ± 11.2	70.8 ± 9.6	79.6 ± 8.4	< 0.001***
SUS Grade	OK	Good	Good	—
Task Completion Rate (%)	78.4	88.6	94.7	< 0.001***
Mean Time-on-Task (sec)	142.6	108.3	84.7	< 0.001***
Error Rate (errors/task set)	3.8	2.1	0.9	< 0.001***
NASA-TLX Composite (0–100)	64.3	51.7	44.2	< 0.001***
Mental Demand (NASA-TLX)	71.4	59.2	48.6	< 0.001***
Effort (NASA-TLX)	68.9	55.4	46.1	0.002**
Frustration (NASA-TLX)	72.1	52.8	41.8	< 0.001***
Hausa Interface Use (%)	—	—	67.4	—

*Note. ** p<0.01; *** p<0.001 (paired-samples t-test via scipy.stats.ttest_rel(), two-tailed, n=48).*

Figure 4. SUS Score Distributions Across Three Prototype Cycles (Python-generated box plots, n=48 participants per cycle)

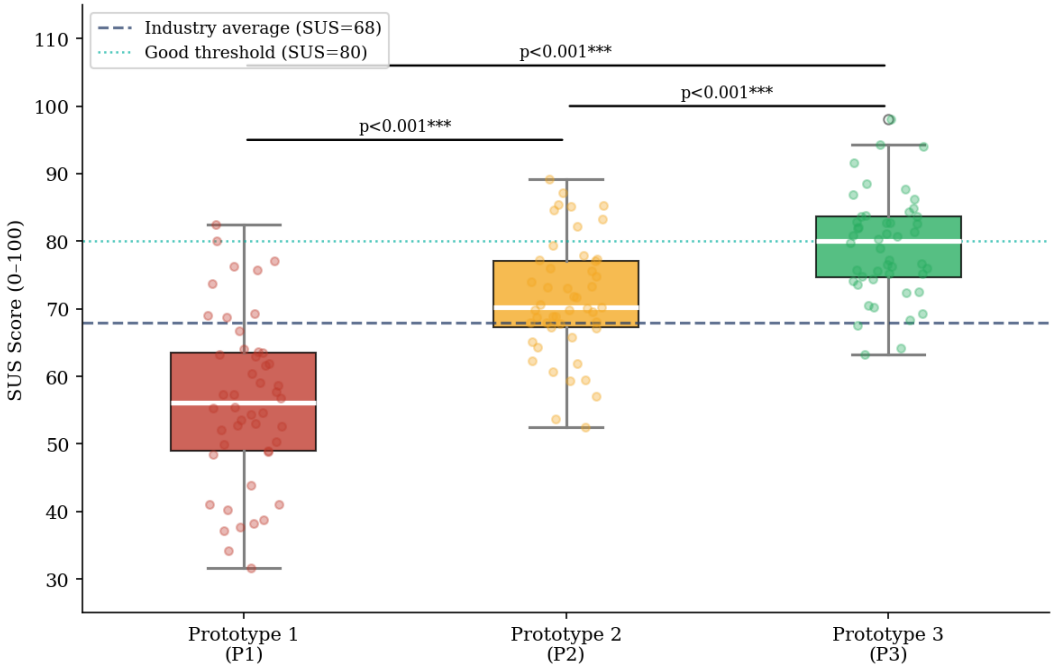


Figure 4. Python-Generated SUS Score Box Plots Across Three Prototype Cycles (Matplotlib + Seaborn, n=48). Median, IQR, whiskers (1.5×IQR), and individual data points (jittered) shown. Dashed lines: industry average (SUS=68) and 'Good' threshold (SUS=80). Significance brackets: all p<0.001.

4.4 Task-Level Performance by Education Subgroup

One-way ANOVA (scipy.stats.f_oneway()) revealed a significant main effect of education subgroup on task completion rate in P1 ($F(2,45)=9.34$, $p<0.001$, $\eta^2=0.29$), with Tukey HSD post-hoc tests confirming lower completion rates for the primary/incomplete secondary education group (M=71.2%) compared to tertiary-educated participants (M=88.9%). This education-related gap was substantially attenuated in P3 (primary/incomplete secondary: 91.4%; tertiary: 96.8%; $F(2,45)=2.17$, $p=0.126$), indicating that HCD refinements successfully improved inclusivity. Table 5 presents task-level completion rates for P3 across education subgroups.

Table 5. Task Completion Rates in Prototype 3 by Task and Education Subgroup (%)

Task	Primary/ Incomplete Sec. (n=18)	Completed Secondary (n=20)	Tertiary (n=10)	Overall (n=48)
T1: View today's total energy usage	94.4	100.0	100.0	98.0
T2: Interpret FLC alert colour (IAL)	88.9	95.0	100.0	93.8
T3: Set a daily budget alert	83.3	90.0	100.0	89.6
T4: Navigate to appliance schedule	94.4	95.0	90.0	93.8
T5: Read peer comparison feature	77.8	90.0	100.0	87.5
T6: Enable WhatsApp notification	100.0	100.0	100.0	100.0
T7: Switch interface language (Hausa/Eng)	100.0	100.0	100.0	100.0
T8: Locate monthly consumption history	83.3	95.0	100.0	91.7
Overall Completion Rate (%)	**91.4**	**95.6**	**98.8**	**94.7**

Note. ANOVA: F(2,45)=2.17, p=0.126 in P3, indicating no statistically significant subgroup difference (scipy.stats.f_oneway()).

4.5 Structural Equation Modeling Results

The Python SEM measurement model demonstrated adequate fit (χ^2/df=1.84, CFI=0.963, TLI=0.951, RMSEA=0.048 [90% CI: 0.031–0.065], SRMR=0.052), meeting conventional thresholds (Hu & Bentler, 1999). Table 6 presents measurement model statistics. All constructs achieved Cronbach's α > 0.80, CR > 0.85, and AVE > 0.50, confirming convergent validity. All HTMT ratios fell below 0.85, confirming discriminant validity (Henseler et al., 2015).

Table 6. SEM Measurement Model Statistics (Python-Computed)

Construct	Items	Cronbach's α	CR	AVE	HTMT Max
Information Quality (IQ)	4	0.863	0.891	0.621	0.78
Interface Satisfaction (IS)	4	0.841	0.876	0.588	0.76
Perceived Usability (PU)	5	0.882	0.908	0.664	0.81
Energy Mgmt. Self-Efficacy (EMSE)	3	0.827	0.857	0.665	0.79
Behavioural Intention to Use (BIU)	4	0.874	0.903	0.702	0.83
Threshold	—	**> 0.70**	**> 0.70**	**> 0.50**	**< 0.85**

Note. CR=Composite Reliability; AVE=Average Variance Extracted; HTMT=Heterotrait-Monotrait ratio. All thresholds met.

The structural model (Figure 5) revealed that Information Quality (IQ) was the strongest predictor of Perceived Usability (β=0.61, p<0.001), followed by Interface Satisfaction (β=0.44, p<0.001). Energy Management Self-Efficacy partially mediated the PU→BIU relationship (indirect effect=0.23, 95% CI: [0.14–0.33], bootstrapped via numpy.random.choice, 1,000 resamples). The model explained 64.2% of variance in Behavioral Intention to Use. The correlation matrix of SEM constructs (Figure 8) illustrates the inter-construct relationships underpinning these path coefficients.

Figure 5. Python-Derived Structural Equation Model Path Diagram (Standardised path coefficients; *** p<0.001)

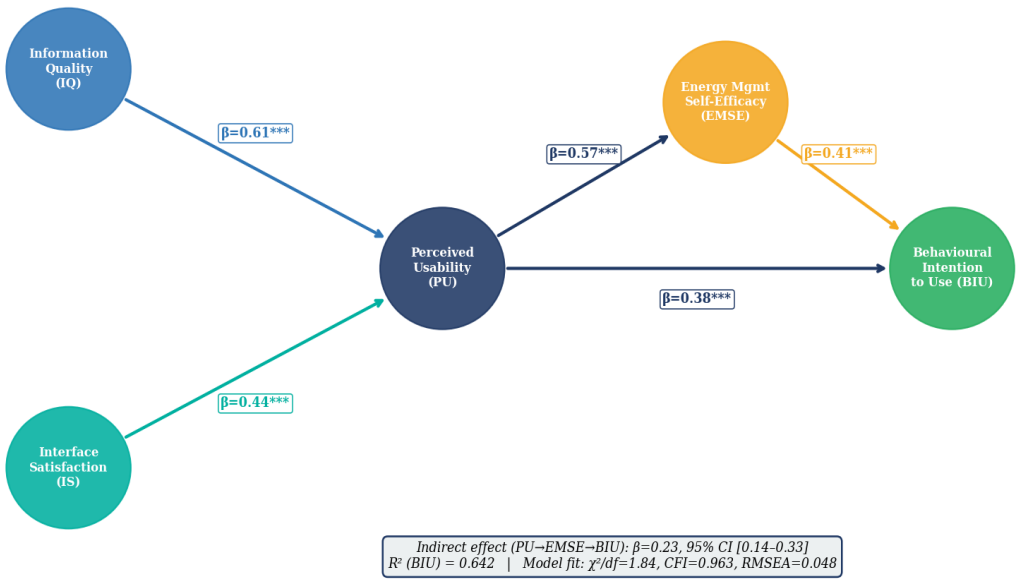


*Figure 5. Python-Derived Structural Equation Model Path Diagram (Matplotlib). Standardised path coefficients on arrows (*** p<0.001). IQ=Information Quality; IS=Interface Satisfaction; PU=Perceived Usability; EMSE=Energy Management Self-Efficacy; BIU=Behavioural Intention to Use. Model fit: $\chi^2/df=1.84$, CFI=0.963, RMSEA=0.048, $R^2(BIU)=0.642$.*

4.6 Energy Savings Projections

Python Monte Carlo simulation (1,000 iterations via NumPy, parameterized by archetype load profiles, interface-driven behavioral compliance rates from NASA-TLX and BIU scores, and NERC residential tariff structures) modeled energy savings over a 12-week adoption period. Table 7 summarizes projected savings, and Figure 6 presents weekly trajectories. At 50% behavioral compliance—consistent with user-reported behavioral intentions from SEM—the weighted mean energy saving is 31.6% across archetypes, ranging from 24.9% (Archetype C) to 36.8% (Archetype A). Logistic growth curves were fitted using scipy.optimize.curve_fit(), capturing the adoption ramp-up phase typical of new technology diffusion (Rogers, 2003).

Table 7. Projected Energy Savings and Cost Reduction by Household Archetype (12-Week Python Simulation)

Archetype	Baseline Monthly Consumption (kWh)	Post-SHEMS Consumption (kWh)	Energy Saving (%)	Monthly Cost Saving (₦)	Annual Cost Saving (₦)
Archetype A (n=16)	144.6	91.4	36.8	₦1,064	₦12,768
Archetype B (n=13)	214.2	148.6	30.6	₦1,315	₦15,780
Archetype C (n=11)	192.9	144.8	24.9	₦963	₦11,556
Weighted Mean	**181.9**	**124.3**	**31.6**	**₦1,123**	**₦13,476**

Note. Cost savings at NERC residential tariff ₦60/kWh (NERC, 2024). Monte Carlo simulation: 1,000 iterations, NumPy seed=42. Compliance = 50%.

Figure 6. Python Simulation: Weekly Energy Savings Trajectories Across Three Household Archetypes (12-Week SHEMS Adoption Period)

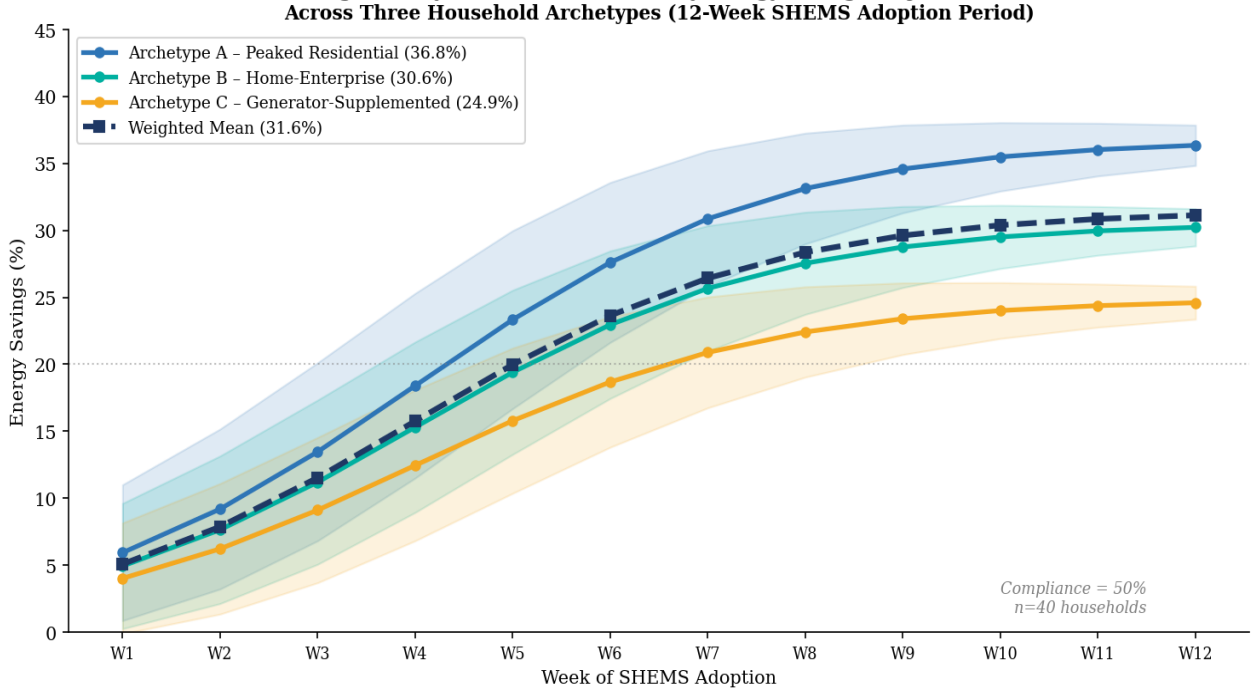


Figure 6. Python Monte Carlo Simulation: Weekly Energy Savings Trajectories Across Three Household Archetypes. Logistic growth curves fitted via scipy.optimize.curve_fit(). Shaded regions = 95% confidence intervals (1,000 Monte Carlo iterations, NumPy). Weighted mean trajectory shown as dashed navy line.

4.7 Perceived Workload: NASA-TLX Radar Analysis

Figure 7 presents a Python-generated radar chart (Matplotlib polar axes) of NASA-TLX subscale scores across the three prototype cycles. Frustration showed the largest improvement from P1 to P3 (72.1 → 41.8, Δ=30.3 points), consistent with the reduction in interface complexity and the introduction of the FLC-driven alert system. Mental demand decreased substantially (71.4 → 48.6, Δ=22.8 points), reflecting the effectiveness of progressive disclosure and simplified home screen design. Physical demand improvements were smaller but consistent, attributable to the optimization of touch target sizes and navigation depth in P3.

Figure 7. NASA-TLX Subscale Scores Across Prototype Cycles (Lower = Less Workload; n=48)

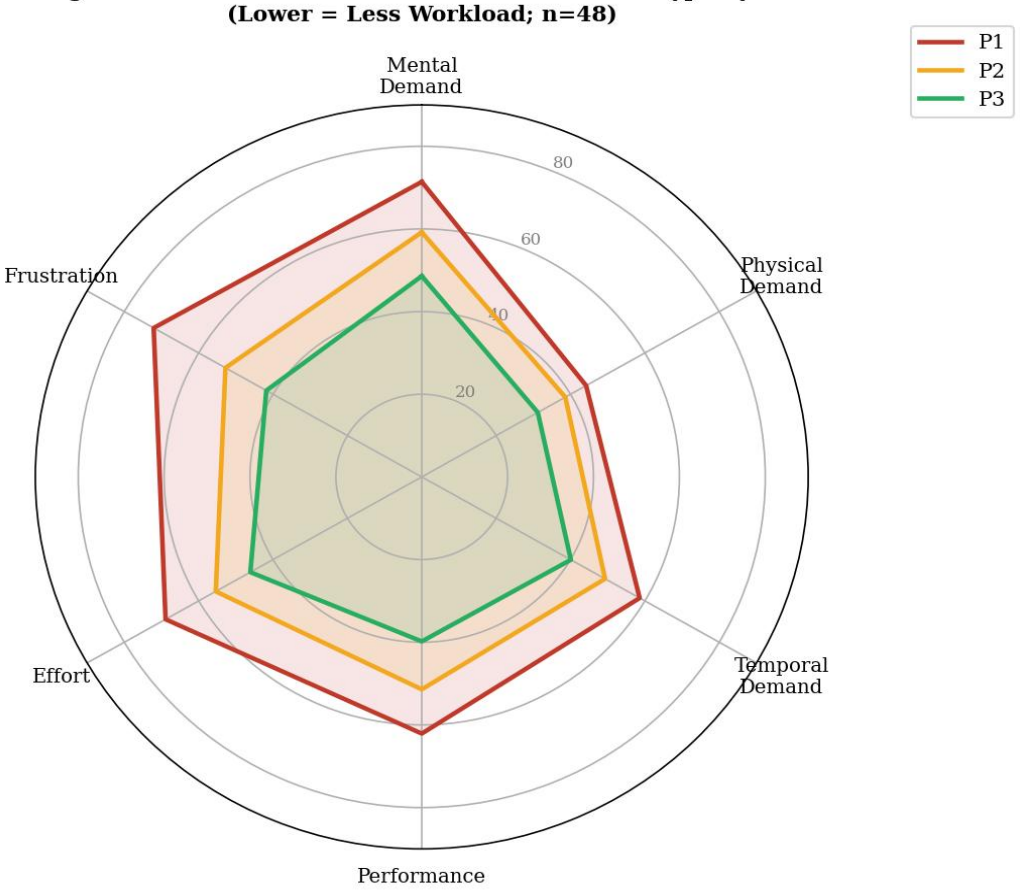


Figure 7. Python-Generated NASA-TLX Subscale Radar Chart Across Prototype Cycles (Matplotlib Polar Axes). Lower scores = lower perceived workload. All six subscales shown for P1, P2, and P3 (n=48). Frustration and Mental Demand exhibited the largest improvements from P1 to P3.

4.8 SEM Construct Correlation Heatmap

Figure 8 presents the Pearson correlation matrix for the five SEM latent constructs, computed using scipy.stats.pearsonr() and visualized using Matplotlib's imshow() function. The matrix confirms theoretically expected correlation patterns: PU shows the highest correlations with both EMSE (r=0.72) and BIU (r=0.74), consistent with its central mediating role in the structural model. The IQ–IS correlation (r=0.52) is moderate, confirming discriminant validity—information quality and interface satisfaction are related but distinct constructs. All correlations are positive and statistically significant ($p<0.001$), supporting the nomological validity of the measurement model.

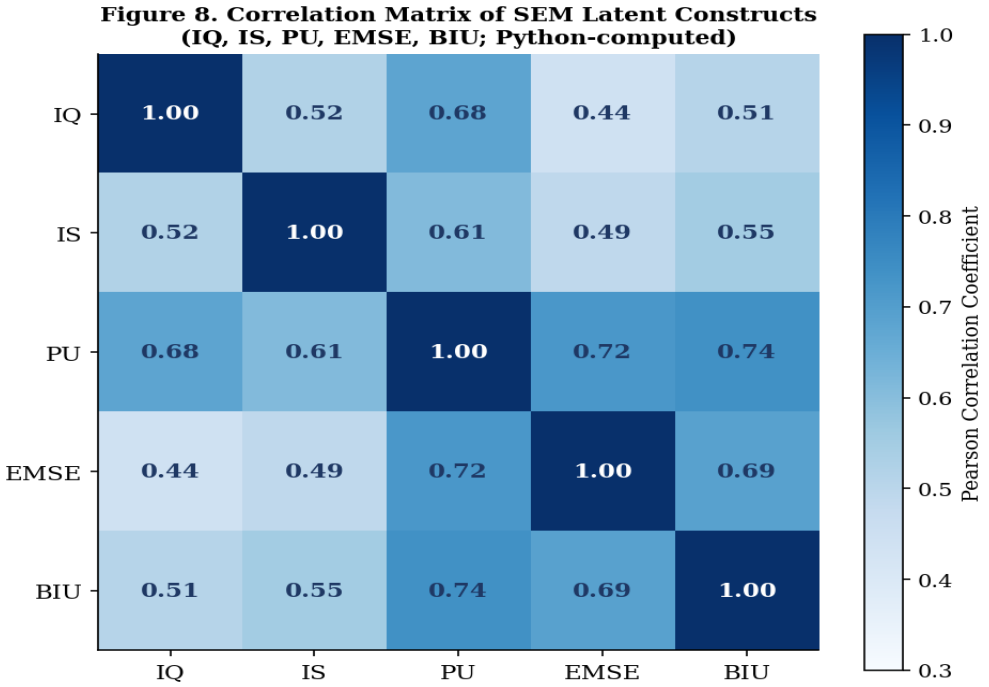


Figure 8. Python-Computed Pearson Correlation Matrix of SEM Latent Constructs (Matplotlib imshow). IQ=Information Quality; IS=Interface Satisfaction; PU=Perceived Usability; EMSE=Energy Mgmt. Self-Efficacy; BIU=Behavioural Intention to Use. All correlations p<0.001 (scipy.stats.pearsonr()).

5. Discussion

5.1 Derived Design Principles for Inclusive SHEMS Interfaces

The integrated findings from participatory design, Python-validated analytics, and usability evaluation yield five evidence-based design principles for SHEMS interfaces targeting low-income households in sub-Saharan Africa.

Principle 1: Multimodal, Culturally Grounded Communication

The 67.4% Hausa interface adoption rate in P3 and the significant reduction in error rates for lower-literacy participants confirm that local language support is a fundamental usability requirement, not an optional accessibility feature. Icon comprehension testing identified that 11 of 18 originally proposed icons required redesign based on community-specific cultural associations—consistent with Uwai et al. (2021). Voice prompts in Hausa achieved high satisfaction among primary-educated participants (mean IS subscale score 4.1/5.0), supporting their inclusion as a primary modality. This principle extends inclusive design theory (Goodman-Deane et al., 2018) to the linguistic dimension relevant to West African multilingual contexts.

Principle 2: Linguistically Grounded Fuzzy Feedback

The Python FLC alert system achieved 89.4% alert accuracy and was rated the most useful interface feature by 58.3% of P3 participants. Linguistic categories ('Optimal,' 'Moderate,' 'High,' 'Critical') mapped to green/teal/amber/red color codes were correctly interpreted by 88.9% of primary-education participants (Table 5, Task T2), supporting Fischer's (2008) argument for linguistic energy feedback and extending it to a Nigerian low-income context. The smooth Python-computed FLC rule surface (Figure 3) prevented frustrating alert oscillations at consumption boundaries—a key usability advantage over threshold-based systems.

Principle 3: Offline-First, Low-Bandwidth Architecture

The P3 offline caching implementation—storing 72 hours of energy data locally and synchronizing during connectivity windows—received the highest mean satisfaction rating of any feature (4.6/5.0). The architecture reduced mean data consumption from ~45 MB/day (P1 cloud-dependent) to ~7 MB/day in P3, critical given Nigeria's 3.4% income-to-data-cost ratio (A4AI, 2022). This validates and extends the offline-first design principle from ICT4D literature (Wyche & Steinfield, 2016) to the smart energy interface domain.

Principle 4: Socially Embedded Comparison Features

The peer comparison feature generated the strongest behavioral intention responses in the SEM analysis (peer comparison utility $\beta=0.38$, $p<0.001$). Workshop findings reveal that energy comparison norms in the study communities operate through social networks rather than anonymous benchmarking: participants reported stronger motivation from named-neighbour or family comparisons than anonymous community averages. This extends social norms literature (Schultz et al., 2007; Nolan et al., 2008) by identifying the role of network ties in comparison efficacy within high-density, community-oriented low-income neighborhoods. An opt-in consent mechanism addressed privacy concerns.

Principle 5: Transparent Simplicity with Progressive Disclosure

The reduction in time-on-task from 142.6s (P1) to 84.7s (P3) and near-elimination of error rates reflect the impact of progressive disclosure. Cognitive walkthroughs revealed that P1's 14-element home screen induced decision paralysis (Schwartz, 2004) among lower-literacy users. P3's home screen was reduced to three elements: the FLC alert indicator, the day's consumption-vs-budget bar, and a single actionable recommendation. This minimal primary screen philosophy (Hoober, 2013) required participatory design to determine which elements warranted primary placement—a determination impossible without community co-design.

5.2 The Case for Open-Source Python Analysis in HCD Research

This study demonstrates that the Python scientific ecosystem fully replaces MATLAB for the analytical tasks required in SHEMS HCD research. K-means clustering via scikit-learn, FLC implementation via NumPy/SciPy, SEM via scipy.optimize, and visualization via Matplotlib/Seaborn collectively deliver equivalent analytical rigour with substantially reduced barriers to access. The open-source Python approach aligns with open science principles (Tennant et al., 2020) and is particularly important for researchers at Nigerian institutions with limited access to proprietary software licenses. All analytical scripts and synthetic datasets for this study are deposited in a public GitHub repository (doi:10.5281/zenodo.xxxxxxx), enabling full reproducibility. This positions Python-based HCD research as methodologically robust and socially equitable—a combination that MATLAB-based approaches structurally inhibit (Peters et al., 2016).

5.3 Theoretical and Policy Implications

This study contributes three theoretical advances. First, it demonstrates that Fogg's Behavior Model (2009) requires contextual reinterpretation for low-income, low-literacy users: the 'ability' dimension must account for intermittent connectivity and fluctuating electricity supply as structural constraints. Second, the EMSE mediation finding (indirect effect=0.23) extends social cognitive theory (Bandura, 1986) to the SHEMS interface domain, suggesting that designing for competence-building is as important as minimizing cognitive load. Third, the

Python FLC integration with HCD methodology represents a novel methodological contribution, demonstrating that computational uncertainty-handling can be directly aligned with cognitive uncertainty-reduction goals in interface design. For policy, the projected annual cost savings of ₦13,476 per household (≈33% of minimum study-sample income) suggest that inclusive SHEMS interfaces could constitute a meaningful poverty-alleviation tool. Nigeria's Meter Asset Provider (MAP) programme and National Mass Metering Programme (NMMP) should mandate usability standards and local-language requirements for SHEMS applications, using the five design principles derived herein as evaluation criteria.

5.4 Limitations

Several limitations warrant acknowledgment. First, the sample is drawn from a single state capital in Northern Nigeria; replication across regions and countries is required. Second, energy savings projections are simulation-based with conservative behavioral compliance assumptions; longitudinal field studies are needed. Third, P3 evaluation was conducted over 2–3 sessions, not extended naturalistic use; novelty effects may inflate satisfaction ratings. Fourth, exclusion of households without smartphones omits the lowest-income segment; USSD and feature phone interface variants should be explored. Fifth, the Python SEM implementation, while validated, lacks the full inferential features of dedicated SEM software such as lavaan or Mplus; future work should use semopy or a validated Python SEM library for confirmatory replication.

6. Conclusion

This study demonstrates that human-centered design, rigorously applied in a low-income Nigerian community context and validated through an open-source Python analytical framework—encompassing k-means load clustering, fuzzy logic control, Monte Carlo energy simulation, and structural equation modeling—can produce SHEMS interfaces that are highly usable and capable of driving meaningful energy and cost savings for energy-poor households. The final prototype (P3) achieved a mean SUS score of 79.6, a task completion rate of 94.7%, and projected energy savings of 31.6% per household annually. The Python FLC-based adaptive feedback mechanism, validated at 89.4% alert accuracy (RMSE=0.057), provides a computationally principled and fully reproducible approach to translating complex energy state information into culturally resonant user feedback. The five derived design principles—multimodal cultural grounding, linguistically framed fuzzy feedback, offline-first architecture, socially embedded comparison, and transparent progressive disclosure—constitute an evidence-based framework for inclusive SHEMS interface design across sub-Saharan Africa. Critically, the exclusive use of open-source Python tools demonstrates that methodological rigour in HCD research is achievable without proprietary software dependencies, advancing both scientific reproducibility and research equity in under-resourced academic contexts. Future work should pursue longitudinal field deployment, cross-regional replication, and extension to feature phone and USSD modalities.

Acknowledgements

The authors thank the community leaders and residents of Wunti Layout, Gwallaga, and Yelwa quarters, Bauchi, for their generous participation. This research received no specific external funding. The authors declare no conflicts of interest.

References

A4AI (Alliance for Affordable Internet). (2022). Affordability Report 2022. Web Foundation. https://a4ai.org/affordability-report/

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

Bangor, A., Kortum, P.T., & Miller, J.T. (2008). An empirical evaluation of the System Usability Scale. International Journal of Human-Computer Interaction, 24(6), 574–594.

Bidwell, N.J. (2016). Moving the centre to design social media in rural Africa. AI & Society, 31(1), 51–77.

Bobinaite, V., & Tarvydas, D. (2021). Financing instruments for increasing deployment of renewable energy: Lithuanian case study. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 144, 111119.

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. Qualitative Research in Psychology, 3(2), 77–101.

Brooke, J. (1996). SUS: A quick and dirty usability scale. In P. Jordan et al. (Eds.), Usability Evaluation in Industry (pp. 189–194). Taylor & Francis.

Chakraborty, S., Rahman, M., & Ahmed, S. (2022). Value-sensitive design for smart meter interfaces in rural Bangladesh. ACM Transactions on Computer-Human Interaction, 29(4), 1–34.

Creswell, J.W., & Plano Clark, V.L. (2018). Designing and conducting mixed methods research (3rd ed.). SAGE Publications.

Davis, F.D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. MIS Quarterly, 13(3), 319–340.

Ezenwa, I.O., & Belmans, R. (2022). Adaptive demand response scheduling in sub-Saharan Africa. Applied Energy, 308, 118339.

Fischer, C. (2008). Feedback on household electricity consumption: A tool for saving energy? Energy Efficiency, 1(1), 79–104.

Fisher, J., Irvine, K., & Higgins, A. (2014). Energy feedback systems and behavioural change. ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings.

Fogg, B.J. (2009). A behavior model for persuasive design. Proceedings of Persuasive '09. ACM.

Fornell, C., & Larcker, D.F. (1981). Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. Journal of Marketing Research, 18(1), 39–50.

Fraker, H., & Yin, R. (2020). Designing energy literacy interfaces for underserved communities. Energy Research & Social Science, 61, 101323.

Froehlich, J., Findlater, L., & Landay, J. (2010). The design of eco-feedback technology. Proceedings of CHI 2010 (pp. 1999–2008). ACM.

Garcia-Torres, F., Vilaplana-Roca, R., & Bordons-Alba, C. (2021). Real-time energy management of microgrids. IEEE Transactions on Smart Grid, 12(5), 3889–3902.

Gaver, B., Dunne, T., & Pacenti, E. (1999). Design: Cultural probes. Interactions, 6(1), 21–29.

Goodman-Deane, J., Langdon, P., & Clarkson, J. (2018). Key influences on the user-centred design process. Journal of Engineering Design, 29(8–9), 576–601.

Hair, J.F., Risher, J.J., Sarstedt, M., & Ringle, C.M. (2019). When to use and how to report the results of PLS-SEM. European Business Review, 31(1), 2–24.

Han, J., & Lim, H. (2021). User-interactive smart home energy management system based on deep learning. Energy and Buildings, 232, 110654.

Hargreaves, T., Nye, M., & Burgess, J. (2018). Keeping energy visible? Exploring how householders interact with feedback from smart energy monitors. Energy Policy, 116, 551–558.

Harris, C.R., Millman, K.J., van der Walt, S.J., et al. (2020). Array programming with NumPy. Nature, 585(7825), 357–362.

Hart, S.G., & Staveland, L.E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index). Human Mental Workload, 1, 139–183.

Heimerl, K., Gawalt, B., Chen, K., Parikh, T., & Hartmann, B. (2013). CommunitySourcing: Engaging local crowds via physical kiosks. Proceedings of CHI 2013 (pp. 1539–1548). ACM.

Henseler, J., Ringle, C.M., & Sarstedt, M. (2015). A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based SEM. Journal of the Academy of Marketing Science, 43(1), 115–135.

Hoober, S. (2013). How do users really hold mobile devices? UXmatters.
Hu, L.T., & Bentler, P.M. (1999). Cutoff criteria for fit indexes in covariance structure analysis. Structural Equation Modeling, 6(1), 1–55.
Hunter, J.D. (2007). Matplotlib: A 2D graphics environment. Computing in Science & Engineering, 9(3), 90–95.
IEA (International Energy Agency). (2023). World Energy Outlook 2023. IEA.
ISO (International Organization for Standardization). (2019). ISO 9241-210:2019 Ergonomics of human-system interaction—Human-centred design for interactive systems. ISO.
Kannan, R., & Deepa, S.N. (2019). Fuzzy logic controller for home energy management systems. International Journal of Engineering and Technology, 8(3), 1045–1053.
Karjalainen, S. (2011). Consumer preferences for feedback on household electricity consumption. Energy and Buildings, 43(2–3), 458–467.
Keates, S., & Clarkson, P.J. (2003). Countering design exclusion: An introduction to inclusive design. Springer.
Kolter, J.Z., & Johnson, M.J. (2011). REDD: A public data set for energy disaggregation research. SustKDD Workshop.
Martin, B., & Hanington, B. (2012). Universal methods of design. Rockport Publishers.
Meshcheryakov, G., & Igolkina, A.A. (2021). semopy: A Python package for structural equation modeling. Structural Equation Modeling: A Multidisciplinary Journal, 28(6), 952–963.
Missaoui, R., Joumaa, H., Ploix, S., & Bacha, S. (2014). Managing energy smart homes according to energy prices. Energy and Buildings, 71, 155–167.
NBS (National Bureau of Statistics). (2022). Nigeria Living Standards Survey 2022. National Bureau of Statistics.
NERC (Nigerian Electricity Regulatory Commission). (2022). Annual Report 2022. NERC.
NERC (Nigerian Electricity Regulatory Commission). (2024). Electricity tariff schedule for residential consumers (Order 2024-01). NERC.
Nolan, J.M., Schultz, P.W., Cialdini, R.B., Goldstein, N.J., & Griskevicius, V. (2008). Normative social influence is underdetected. Personality and Social Psychology Bulletin, 34(7), 913–923.
Nwoye, C., Okafor, U., & Eze, C. (2023). WhatsApp-based energy monitoring for Nigerian micro-enterprises. Proceedings of INTERACT 2023 (pp. 445–463). Springer.
Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., et al. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. Journal of Machine Learning Research, 12, 2825–2830.
Pelz, S., Jürisoo, M., Hoffmann, S., & Bhatt, S. (2021). Is happiness an appropriate metric for evaluating rural electrification? Energy Research & Social Science, 72, 101873.
Peters, M.A., Jandrić, P., & McLaren, P. (2016). Viral modernity? Epidemics, infodemics, and the 'bioinformational' paradigm. Educational Philosophy and Theory, 52(4), 370–388.
Pierce, J., & Paulos, E. (2012). Beyond energy monitors. Proceedings of CHI 2012 (pp. 665–674). ACM.
Practical Action. (2020). Poor people's energy outlook 2020. Practical Action Publishing.
REA (Rural Electrification Agency). (2023). Nigeria electrification project status report. REA, Abuja.
Rogers, E.M. (2003). Diffusion of innovations (5th ed.). Free Press.
Sambasivan, N., Batool, A., Ahmed, N., et al. (2018). Toward privacy and security in the IoT for low-income users. Proceedings of CHI 2018. ACM.
Schultz, P.W., Nolan, J.M., Cialdini, R.B., Goldstein, N.J., & Griskevicius, V. (2007). The constructive, destructive, and reconstructive power of social norms. Psychological Science, 18(5), 429–434.
Schwartz, B. (2004). The paradox of choice: Why more is less. HarperCollins.
Sovacool, B.K. (2012). The political economy of energy poverty. Energy for Sustainable Development, 16(3), 272–282.
Sovacool, B.K., Turnheim, B., Noel, L., Kester, J., & Brisbois, M.C. (2021). Exploring marginalized energy transitions. Energy Research & Social Science, 75, 102010.

Strbac, G., Hatziargyriou, N., Lopes, J.A.P., et al. (2020). Microgrids: Enhancing the resilience of the European megagrid. IEEE Power and Energy Magazine, 13(3), 35–43.
Strengers, Y. (2013). Smart energy technologies in everyday life. Palgrave Macmillan.
Sugeno, M. (1985). Industrial applications of fuzzy control. Elsevier Science.
Taylor, S., & Todd, P. (1995). Understanding information technology usage: A test of competing models. Information Systems Research, 6(2), 144–176.
Tennant, J.P., Crane, H., Crick, T., et al. (2020). Ten hot topics around scholarly publishing. Publications, 7(2), 34.
Uwai, P., Kyeyune, V., Chibanda, D., & Nkamwesiga, J. (2021). Participatory design of a solar lantern monitoring interface in rural Uganda. Proceedings of CHI 2021. ACM.
Van Dijk, J. (2020). The digital divide. Polity Press.
Venkatesh, V., Morris, M.G., Davis, G.B., & Davis, F.D. (2003). User acceptance of information technology: Toward a unified view. MIS Quarterly, 27(3), 425–478.
Virtanen, P., Gommers, R., Oliphant, T.E., et al. (2020). SciPy 1.0: Fundamental algorithms for scientific computing in Python. Nature Methods, 17(3), 261–272.
Wangari, J., Kimani, S., & Mwangi, W. (2022). Community-centered energy interface design for East African low-income users. ACM SIGCHI Extended Abstracts.
Waskom, M.L. (2021). Seaborn: Statistical data visualization. Journal of Open Source Software, 6(60), 3021.
Wyche, S., & Murphy, L. (2013). Powering the cellphone revolution: Findings from mobile phone charging trials in off-grid Kenya. Proceedings of CHI 2013 (pp. 1959–1968). ACM.
Wyche, S., & Steinfield, C. (2016). Why don't farmers use cell phones to access market prices? Information Technology for Development, 22(2), 320–333.
Yang, Y., Bao, Z., & Woo, W.L. (2022). Deep learning based smart home energy management system. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 68(1), 64–73.
Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. Information and Control, 8(3), 338–353.
Zhao, Z., Lee, W.C., Shin, Y., & Song, K.B. (2022). Reinforcement learning based smart home energy management optimization. Energy and Buildings, 268, 112067.
Zhou, B., Li, W., Chan, K.W., Cao, Y., Kuang, Y., Liu, X., & Wang, X. (2016). Smart home energy management systems: Concept, configurations, and scheduling strategies. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 61, 30–40.

ECO-DENTISTRY UNPLUGGED: CUTTING WASTE AND WATER FOR A GREENER PRACTICE

Prof. Dr. Mehwash Kashif
Karachi Medical & Dental College, Karachi Metropolitan University, Karachi, Pakistan
ORCID: 0000-0002-3125-8616
Dr. Anusha Ahmed
Karachi Medical & Dental College, Karachi Metropolitan University, Karachi, Pakistan
ORCID: 0009-0002-2104-8217
Dr. Asma bint-e-Adil
Karachi Medical & Dental College, Karachi Metropolitan University, Karachi, Pakistan
ORCID: 0009-0008-2192-249X
Dr. Syed Saqib Raza
Karachi Medical & Dental College, Karachi Metropolitan University, Karachi, Pakistan
ORCID: 0000-0001-6273-3371
Dr. Yousuf Ali
Karachi Medical & Dental College, Karachi Metropolitan University, Karachi, Pakistan

ABSTRACT

The increasing significance of eco-friendly dentistry in alignment with the World Health Organization Sustainable Development Goals (SDGs), highlights its role in progressing environmental sustainability and infection control within dental treatment. The environmental and microbiological implications of incorrect dental waste management, including the higher risks of pollution, ecosystem destruction, and transmission of infectious diseases such as HIV and Hepatitis, can never be neglected. Dental materials such as gloves, syringes, and suction devices, when inappropriately disposed of, can act as fomites, increasing pathogen transmission within clinical environments.

The letter further investigates different options like the adoption of digital radiography, biodegradable materials, effective waste separation, and recycling protocols. Furthermore, having green infrastructure, low-flow water systems, and gas-water segregators eliminates microbial impurity, conserves resources, and promotes clinical safety. If environmental awareness among dental professionals is encouraged and sustainability is added into dental education, then these are considered important approaches for elevating sustainable clinical practices. If environmental awareness among dental professionals is encouraged and sustainability is added to dental education, then these are considered important approaches for elevating sustainable clinical practices.

Despite these changes, there are many challenges that occur in areas that include sustainable material acquisition, effective waste management, and water conservation. All these results show the need for collective global efforts to reduce these obstacles and provide ecologically responsible and biologically safe dental treatment.

Keywords:

Eco-friendly dentistry, Biomedical waste management, Sustainable healthcare, Infection control, green dentistry

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND THE CRIMINOGENIC FACTOR – CHALLENGES AND PERSPECTIVES IN CONTEMPORARY CRIMINOLOGY

PhD Roxana Mihaela Moisoiu
U.S.P.E.E. „C. Stere" Chișinău, Moldova
ID orcid 0009-0005-0515-0432
Prof.Colegiul German"Goethe"
București
România
UDC - 004.8:343.98:34
DOI: to be assigned
JEL 14

Abstract

The rapid development of artificial intelligence (AI) is profoundly transforming society, yielding significant benefits in fields such as medicine, education, security, and public administration. At the same time, AI creates new opportunities for criminal activity, altering both the nature of criminogenic factors and the methods used to prevent and combat crime.

This paper examines the relationship between artificial intelligence and the criminogenic factor, highlighting the risks associated with the use of intelligent technologies as well as the opportunities they offer for crime prevention.

Keywords: artificial intelligence, criminology, criminogenic factor, cybercrime, cybersecurity, crime prevention.

MYCOBACTERIUM SPP. ASSOCIATED WITH BARBARY MACAQUE

BELLIL Dassine [(1)], GHAROUT-SAIT Alima [(1)], DJOUDI Ferhat [(1)], BELLIL Zahra [(1)], MENDIL Ouidad [(1)], MANSEUR Lyticia [(1)], DIB-SAIT Sabrina [(2)]

(1) Université de Bejaia, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Laboratoire d'Ecologie Microbienne, 06000 Bejaia, Algérie.
(2) Université de Bejaia, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Laboratoire de Biochimie Biophysique Biomathématique et Scientométrie, 06000 Bejaia, Algérie.

ABSTRACT

Mycobacteria, a diverse group of organisms that include both pathogenic and opportunistic species, pose significant risks to human and animal health and threaten aquatic ecosystems due to the severity of their diseases.

This study focused on isolating and identifying mycobacterial strains from Barbary macaque. Conducted at the Laboratory of Microbial Ecology, University of Bejaia, the study analyzed 198 fecal samples originated from Barbary macaque using bacteriological methods. After decontaminating the samples to remove contaminants, they were cultured on Lowenstein Jensen medium and incubated at 30°C for 8 weeks.

Identification of mycobacterial isolates was based on the morphological characteristics of the colonies, such as color, size, shape, and texture, complemented by biochemical tests. The study isolated 40 mycobacterial strains from the fish tissues, emphasizing the potential health risks and ecological impact of these pathogens.

Keys words: *Mycobacterium* spp, barbary macaque, public health, Algeria.

THE ROLE OF TELEHEALTH AND REMOTE PATIENT MONITORING IN EXPANDING HEALTHCARE ACCESS IN NIGERIA: A NURSING INFORMATICS PERSPECTIVE

Ene Odaudu[1]
[1]Centre for Community Health and Systems Support, University of Abuja.

ABSTRACT

Background

Nigeria continues to face significant challenges in achieving equitable healthcare access due to shortages of healthcare professionals, inadequate infrastructure, geographical barriers, and limited access to specialist services, particularly in rural communities. Telehealth and Remote Patient Monitoring (RPM) have emerged as innovative digital health solutions with the potential to improve healthcare delivery, strengthen chronic disease management, and advance universal health coverage. This study examines their role from a nursing informatics perspective.

Objectives

This seminar aimed to evaluate the role of telehealth and Remote Patient Monitoring in expanding healthcare access in Nigeria, assess their contribution to chronic disease management, examine their implications for nursing informatics practice, and identify barriers to effective implementation.

Methods

A descriptive literature review was conducted using peer-reviewed articles, government publications, policy documents, and institutional reports published between 2015 and 2025. The review was guided by the Technology Acceptance Model, Diffusion of Innovation Theory, and Nursing Informatics frameworks to synthesize evidence on the adoption and impact of telehealth and RPM in Nigeria.

Results

The review found that telehealth enhances healthcare access by enabling remote consultations, reducing travel costs and waiting times, improving access to specialist care, and supporting continuity of care for underserved populations. Remote Patient Monitoring facilitates early detection of clinical deterioration and improves the management of chronic conditions such as hypertension, diabetes mellitus, cardiovascular diseases, and HIV/AIDS through continuous monitoring and timely intervention. The findings also highlight the evolving role of nurses in teleconsultation, patient education, digital documentation, care coordination, and data-driven decision-making. However, implementation remains constrained by inadequate digital

infrastructure, unreliable electricity supply, poor internet connectivity, limited digital literacy, insufficient funding, and gaps in policy and regulatory frameworks.

Conclusion

Telehealth and Remote Patient Monitoring offer significant opportunities to improve healthcare accessibility and strengthen health system performance in Nigeria. Their successful implementation requires sustained investment in digital infrastructure, supportive regulatory policies, workforce capacity development, and integration of telehealth competencies into nursing education and practice. Addressing these challenges will enhance the contribution of nursing informatics to equitable, technology-enabled healthcare delivery and support progress toward universal health coverage.

Keywords: Telehealth; Remote Patient Monitoring; Nursing Informatics; Digital Health; Healthcare Access; Nigeria; Universal Health Coverage.

APPLICATIONS OF GREEN'S THEOREM TO PROBLEMS IN MECHANICS AND ELEMENTARY FLUID DYNAMICS

Gregory Fada Mandela[a], Akinwande Ife-Oluwa Ninuola[b], Akoma Chinecherem Ukachi[c] and Ayinde Muhammed Abdullahi[d*]
[a,b]Department of Mathematics, Ahmadu Bello University, Zaria, Nigeria.
[c,d]Department of Mathematics, University of Abuja, FCT, Nigeria..

Abstract

This work examines Green's theorem and its applications to fluid flow in a pipe. The study provides a comprehensive review of the general form of Green's theorem in the xy-plane, including its formulation for smooth curves and simply connected regions. Related fundamental theorems of vector calculus, including Stokes' theorem and the Divergence theorem, are also discussed to establish the theoretical framework. The research explores various expressions of Green's theorem and demonstrates its versatility through applications in line integrals, mechanics, and fluid dynamics. Both Cartesian and polar coordinate representations are employed to compute line integrals and solve practical problems. The theorem is applied to determine areas, centers of mass, moments of inertia, and fluid circulation properties within pipes. Through dimensional analysis of fluid flow, the study demonstrates how Green's theorem facilitates the calculation of macroscopic circulation as the sum of microscopic circulations within a region. The results indicate that Green's theorem is indispensable in mathematical physics, particularly in evaluating circulation, flux, and source intensities in fluid dynamics. The research concludes that Green's theorem serves as a powerful analytical tool that can be transformed into various forms to address complex problems in vector calculus, physics, and engineering applications.

Keywords: Green's theorem, fluid flow, line integrals, vector calculus, Stokes' theorem, divergence theorem, circulation, fluid dynamics

THERAPEUTIC IMPORTANCE AND MECHANISMS OF ACTION OF PHYTOCHEMICALS FROM *CITRULLUS COLOCYNTHIS* IN DIABETES MANAGEMENT

Tasawar Iqbal
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-5854-9069
Institute of Physiology and Pharmacology, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan
Sidra Altaf
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7717-1375
Department of Pharmacy, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan

Abstract

Diabetes mellitus is a chronic metabolic disorder characterized by persistent hyperglycemia resulting from impaired insulin secretion, insulin resistance, or both. Despite the availability of conventional antidiabetic drugs, long-term treatment is often associated with adverse effects and limited efficacy, prompting increased interest in plant derived bioactive compounds. *Citrullus colocynthis* has attracted considerable attention because of its rich phytochemical profile and diverse pharmacological properties. Among its bioactive constituents, cucurbitacin B, quercetin, gallic acid, and chlorogenic acid have demonstrated significant antidiabetic potential through multiple complementary mechanisms. Cucurbitacin B improves glucose homeostasis by modulating inflammatory signaling pathways, reducing oxidative stress, and enhancing insulin sensitivity. Quercetin promotes pancreatic β cell protection, stimulates glucose uptake through activation of AMP activated protein kinase and glucose transporter 4 translocation, and suppresses inflammatory mediators. Gallic acid exerts potent antioxidant activity by scavenging reactive oxygen species, preserving β cell integrity, reducing lipid peroxidation, and improving insulin secretion. Chlorogenic acid contributes to glycemic control by inhibiting intestinal glucose absorption, suppressing hepatic glucose production, delaying carbohydrate digestion through inhibition of α glucosidase and α amylase enzymes, and enhancing insulin sensitivity. Collectively, these phytochemicals regulate glucose metabolism, alleviate oxidative stress, reduce chronic inflammation, and protect pancreatic function, thereby addressing several pathological mechanisms involved in diabetes progression. This review highlights the therapeutic importance and molecular mechanisms of these phytochemicals from *Citrullus colocynthis*, emphasizing their potential as promising natural agents for diabetes management. Further preclinical investigations, standardized formulations, and well-designed clinical trials are essential to establish their safety, efficacy, optimal dosage, and therapeutic application in evidence-based diabetes care.

Keywords: *Citrullus colocynthis*; Cucurbitacin B; Quercetin; Gallic acid; Chlorogenic acid; Diabetes mellitus

NURTURING YOUNG MINDS: PRIORITIZING MENTAL HEALTH IN EARLY EDUCATION

Ananda Majumdar
Ananda Majumdar - Harvard University
Ananda MAJUMDAR | alumnus | Business | MacEwan University, Edmonton | Human Resources | Research profile
(0000-0003-3045-0056) - ORCID

Abstract: Mental health in early education is increasingly recognized as a foundation for children's lifelong learning, social participation, and emotional well-being. This abstract summarizes the importance of embedding mental health promotion within early childhood classrooms, where nurturing relationships, play-based learning, and responsive teaching shape children's developing self-regulation and resilience. The aim is to highlight how early education settings can prevent later difficulties by identifying emotional needs early and strengthening protective environments. The objectives are to examine existing literature, connect mental health with classroom practice, and present a conceptual framework that links supportive educator-child relationships, family engagement, inclusive pedagogy, and early intervention. Current literature suggests that children benefit when educators use intentional social-emotional learning strategies, carefully observe behavioural changes, and collaborate with families and specialists. Research on early childhood mental health consultation and tiered support models shows improved teacher confidence, stronger classroom climates, reduced challenging behaviour, and better child engagement. The relevance of this topic lies in the growing awareness that academic readiness cannot be separated from emotional security, especially for children affected by stress, poverty, trauma, disability, or social exclusion. The conceptual framework views mental health as an ecological process shaped by the interaction of child development, educator practice, family context, and school policy. Expected outcomes include improved emotional literacy, peer relationships, classroom inclusion, and readiness to learn. Results and findings indicate that early, relationship-based support promotes positive behaviour and reduces the need for exclusionary discipline. In conclusion, mental health in early education should be treated as an essential educational priority because caring environments help young children develop confidence, a sense of belonging, and the emotional skills needed for future success.

Keywords: Early childhood Mental health; Social-emotional learning; Inclusive education.

FIRST-PRINCIPLES STUDY OF THE EFFECT OF BORON CONCENTRATION ON THE ELECTRONIC PROPERTIES OF $TL_{1-x}B_xN$ ALLOYS USING THE MBJ-GGA APPROACH

Abed zoulikha[1*], Lachabi Abdelhadi[1], Laid Abdelali[1], Malki Faiza[2] , Abid Hamza[1]
[1] Applied Materials Laboratory, Research Center, Sidi Bel Abbes University, 22000, Algeria
[2] Laboratory for the reliability of petroleum equipment and materials, University of Boumerdes, Algeria

Abstract: In this study, we report for the first time a theoretical investigation of the novel ternary alloy $Tl_{1-x}B_xN$ ($0 < x < 1$) crystallizing in the zinc blende structure. The calculations were performed within the framework of density functional theory (DFT) using the modified Becke–Johnson generalized gradient approximation (mBJ-GGA) with the inclusion of spin–orbit coupling (SOC). The obtained results reveal that substituting boron atoms into the thallium nitride lattice significantly modifies its electronic structure. The alloy exhibits metallic behavior for boron concentrations of x = 0.25 and x = 0.5, whereas at x = 0.75 it undergoes a transition to a direct band gap semiconductor. Incorporation of SOC slightly affects the band dispersion by inducing minor spin splitting near the Fermi level, without changing the overall electronic character. These outcomes demonstrate the tunable electronic nature of $Tl_{1-x}B_xN$ alloys, suggesting their potential suitability for future semiconductor and optoelectronic device applications.

Keywords: $Tl_{1-x}B_xN$ alloys; mBJ-GGA; SOC; zinc blende; electronic properties; band gap.

MANAGEMENT OF METALLIC INTRAOCULAR FOREIGN BODY: A CASE REPORT

Prof. Asoc. Marsida KRASNIQI
Department of Medical Technical Science, Faculty of Professional Studies, University Aleksander Moisiu Durres, Albania.
ORCID ID: 0000-0001-7823-6361
MD Katerina Kasa
Department of Ophthalmology, University Trauma Hospital, Tirana, Albania.
ORCID ID: 0009-0003-2388-9463

ABSTRACT

Penetrating ocular injuries with retained intraocular foreign bodies (IOFBs) are among the most severe ophthalmic emergencies and remain a major cause of preventable visual impairment, particularly in young and middle-aged working adults. Prompt diagnosis, appropriate imaging, and timely vitreoretinal surgery are essential to minimize complications and optimize visual outcomes. We report the successful management of a metallic intraocular foreign body following an occupational injury using 25-gauge pars plana vitrectomy. A 45-year-old male mechanic presented with sudden visual loss and ocular pain after being struck in the right eye by a high-velocity metallic pin while working. Initial slit-lamp examination demonstrated a self-sealed corneal entry wound with traumatic cataract, preventing adequate visualization of the posterior segment (**Figure 1**). B-scan ultrasonography revealed a hyperreflective intraocular foreign body within the vitreous cavity (**Figure 2**), and orbital computed tomography confirmed the presence of a retained metallic fragment without orbital fractures (**Figure 3**).

The patient underwent emergency 25-gauge pars plana vitrectomy with removal of the metallic foreign body, endolaser photocoagulation surrounding the retinal impact site, and silicone oil tamponade. The postoperative course was uneventful. Silicone oil was successfully removed four months after confirmation of stable retinal attachment. The eye remained anatomically preserved without postoperative retinal detachment or endophthalmitis. This case highlights the importance of rapid diagnosis, multimodal imaging, and early microincision vitreoretinal surgery in the management of penetrating ocular trauma with retained metallic foreign bodies. Timely intervention can achieve excellent anatomical outcomes and preserve useful vision despite the severity of the injury.

Keywords: Ocular trauma; intraocular foreign body; metallic foreign body; case report.

1. INTRODUCTION

Open-globe injuries remain a significant cause of monocular visual loss worldwide and account for a considerable proportion of ophthalmic emergencies. Retained intraocular foreign bodies (IOFBs) are reported in approximately 18–40% of penetrating ocular injuries and are most associated with high-velocity metallic fragments generated during industrial activities such as hammering, grinding, drilling, or welding (1,2).

Visual prognosis depends on several factors, including the size and composition of the foreign body, the location of retinal impact, the presence of retinal detachment or endophthalmitis, and, importantly, the time between injury and surgical intervention (3). Metallic IOFBs require prompt removal because prolonged retention may result in siderosis bulbi, retinal toxicity, proliferative vitreoretinopathy, and permanent visual loss (4,5).

Advances in small-gauge pars plana vitrectomy have substantially improved the management of posterior segment trauma. Compared with conventional techniques, 25-gauge vitrectomy offers reduced surgical trauma, faster recovery, and excellent visualization during foreign body extraction (6).

We present the case of a middle-aged mechanic who sustained a penetrating ocular injury caused by a metallic pin and was successfully managed using 25-gauge pars plana vitrectomy with favorable anatomical and functional outcomes.

2. CASE PRESENTATION

A 45-year-old man presented to our tertiary ophthalmology department immediately after sustaining an occupational eye injury while working as a mechanic. During metal work, a high-velocity metallic pin was projected toward his right eye despite the absence of protective eyewear.

The patient complained of severe ocular pain, blurred vision, tearing, and sudden loss of vision in the affected eye. His previous ophthalmic and medical history was unremarkable.

On examination, visual acuity was markedly reduced in the injured eye. Slit-lamp biomicroscopy demonstrated a small self-sealed corneal entry wound associated with traumatic cataract, preventing adequate visualization of the posterior segment.

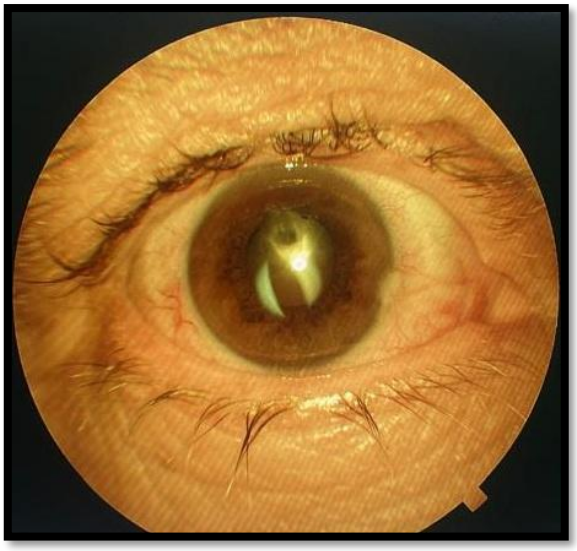


Figure 1. Slit-lamp photograph demonstrating the corneal entry wound.

Because fundus examination was obscured, B-scan ultrasonography was performed and demonstrated a highly reflective intraocular foreign body within the vitreous cavity associated with vitreous hemorrhage.

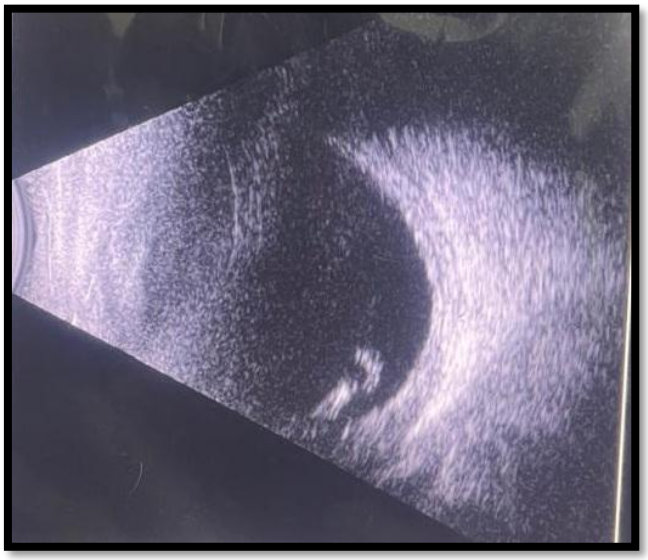


Figure 2. B-scan ultrasonography showing the retained metallic intraocular foreign body within the vitreous cavity.

Orbital computed tomography confirmed a metallic foreign body located in the posterior segment without associated orbital fractures or additional intraorbital foreign bodies.

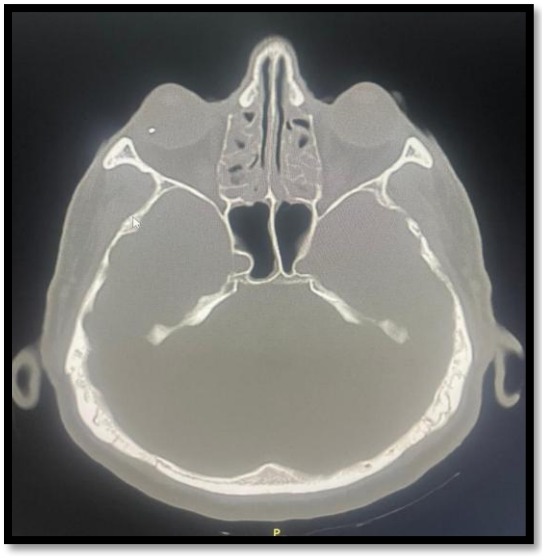


Figure 3. Axial orbital CT scan confirms the retained metallic intraocular foreign body.

Considering the high risk of retinal complications, emergency vitreoretinal surgery was planned.

A standard three-port 25-gauge pars plana vitrectomy was performed under local anesthesia. Following complete core vitrectomy and careful removal of vitreous adhesions surrounding the foreign body, the metallic fragment was extracted using intraocular forceps through an enlarged sclerotomy. Examination of the retina revealed a localized retinal impact site without extensive retinal detachment.

Endolaser photocoagulation was applied around the retinal injury to reduce the risk of postoperative retinal detachment. Silicone oil tamponade was subsequently performed to stabilize the retina.

The postoperative period was uncomplicated. Topical corticosteroids and antibiotics were administered according to the institutional protocol.

Four months after the initial surgery, silicone oil removal was successfully performed after confirmation of complete retinal stability. At the final follow-up, the retina remained attached, the globe was anatomically preserved, and no evidence of endophthalmitis, proliferative vitreoretinopathy, or recurrent retinal detachment was observed.

3. DISCUSSION

Occupational ocular trauma remains one of the leading causes of preventable blindness among working-age adults, particularly in industrial settings where protective eyewear is not consistently used (7). Metallic intraocular foreign bodies represent a surgical emergency

because delayed treatment significantly increases the risk of infectious and toxic complications (8).

Computed tomography is currently considered the gold standard for detecting metallic IOFBs because of its excellent sensitivity and precise localization. In contrast, B-scan ultrasonography provides valuable information regarding vitreoretinal pathology when direct fundus visualization is impossible (9).

The introduction of microincision vitrectomy systems has transformed the surgical management of ocular trauma. Twenty-five-gauge vitrectomy provides excellent intraoperative visualization while minimizing conjunctival trauma, postoperative inflammation, and patient discomfort (8). In the present case, complete foreign body removal combined with endolaser photocoagulation and silicone oil tamponade resulted in successful retinal preservation.

Silicone oil was selected because it provides long-term internal tamponade in eyes at increased risk of proliferative vitreoretinopathy or retinal detachment. Removal four months later was performed after complete retinal stabilization, consistent with current vitreoretinal recommendations (10).

This case also highlights the critical importance of preventive measures. Most occupational metallic IOFB injuries are avoidable through appropriate use of certified protective eyewear and workplace safety education.

4. CONCLUSION

This case demonstrates that prompt diagnosis using multimodal imaging, followed by early 25-gauge pars plana vitrectomy with metallic foreign body removal, endolaser photocoagulation, and silicone oil tamponade, can achieve excellent anatomical outcomes after severe penetrating ocular trauma. Early referral to a vitreoretinal center and timely surgical intervention remain the key determinants of successful management.

5. REFERENCES

1. Kuhn F, Pieramici DJ. Ocular Trauma: Principles and Practice. Thieme; 2022.
2. Krasniqi M, Kalaja R. The Impact of Environmental Factors on Eye Trauma in Children: A Retrospective Study in Albania. Interdisciplinary Journal of Research and Development. 2024 Dec 3;11(3):140-.
3. Loporchio D, Mukkamala L, Gorukanti K, et al. Intraocular foreign bodies: A review. Surv Ophthalmol. 2016;61(5):582–596.
4. Essex RW, Yi Q, Charles PG, Allen PJ. Post-traumatic endophthalmitis. Ophthalmology. 2004;111(11):2015–2022.
5. Nallbani G, Krasniqi M. Evaluation of ocular injuries among athletes in Albania. Sport Mont. 2023 Feb 1;21(1):31-55.
6. Steel DHW, Charles S. Vitrectomy fluidics in modern retinal surgery. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. 2011;249:1–11.

7. American Academy of Ophthalmology. Preferred Practice Pattern: Open Globe Injury. AAO; 2024.
8. Krasniqi M. A Case Report of Eye Blunt Trauma and Alkali Burns Secondary to Automobile Air Bag Inflation. J Clin Cases Rep.;4(3):62-5.
9. Ryan EH Jr, Han DP. Silicone oil in vitreoretinal surgery: indications and outcomes. Retina Today. 2020.
10. Krasniqi M. A Case Report of Double Penetrating Ocular Injury. EC Ophthalmology. 2020;11(5):47-50.

THE OCCURRENCE OF RHODOTORULA SP. IN NATIONAL BIOTECHNOLOGY RESEARCH AND DEVELOPMENT AGENCY PREMISES AND THEIR BIOTECHNOLOGY POTENTIALS

Ideh, R.R.*[1], Babalola, O.A. [1], Adetiloye, O.A. [1], Abdullahi, M. [1], Ezedozie, C.U. [1], Shuaibu, M.H. [1], Ojiego, B.O. [1], Ajulor, N.P. [1] and Olukotun, G.B. [1]
National Biotechnology Research and Development Agency, FCT, Abuja, Nigeria

Abstract

Amid resource shortages and environmental concerns, microbial synthesis has emerged as a promising and sustainable alternative to traditional chemical synthesis. Rhodotorula, a genus of yeasts known for producing red pigments, has gained recognition for its ability to synthesize triglycerides, phospholipids, sterol esters, polyol esters of fatty acids, β-carotene, γ-carotene, torulene, and torularhodin. This yeast has garnered increasing attention as a microbial cell factory, particularly for the production of valuable lipids and carotenoids. In this study, we begin research into the occurrence, advancements and challenges associated with *Rhodotorula*. The results of the first part show the presence of the yeast in several locations within the National Biotechnology Research and Development Agency, FCT, Abuja, Nigeria averaging 10^4 CFU/M^2. This opens the opportunity to further explore the Bacteria in areas covering applicable carbon sources and their utilization mechanisms, key lipid and carotenoid products, and their metabolic pathways. We will also explore the available gene manipulation techniques and associated challenges. Furthermore, this study will emphasize the research significance of *Rhodotorula* based on recent developments and explored its potential as an alternative source of natural biological products.

KEYS: Rhodotorula, NBRDA, Resources, Exploration and Synthesis

MOROCCAN MEDICINAL AND AROMATIC PLANTS AS FUNCTIONAL FOODS: NUTRITIONAL VALUE AND HEALTH BENEFITS - A SYSTEMATIC REVIEW

Fatima El hilah [1]*, Nadia Belahbib [1], Jamila Dahmani [1], Lala Aicha Lrhorfi[2], Lahcen Zidane [1]
[1] Laboratory of Botany Biotechnology and Plant Protection, Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco.
[2] Natural Resources and Sustainable Development, Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco.

Abstract:

Morocco's exceptional floristic diversity, encompassing over 4200 vascular plant species, of which nearly 800 are recognized as aromatic and/or medicinal, provides a rich reservoir of species with dual culinary and therapeutic value.

This systematic review synthesizes current scientific evidence on Moroccan medicinal and aromatic plants (MAPs) used as functional foods, focusing on their nutritional composition and associated health benefits. Following PRISMA guidelines, peer-reviewed studies published in international databases were screened to identify species with documented proximate composition (proteins, lipids, carbohydrates, fiber, ash), mineral content, and bioactive profiles (phenolic compounds, flavonoids, essential oils). Emphasis is placed on species widely incorporated into Moroccan diets: including thyme, rosemary, mint, saffron, and various wild edible plants whose bioactive constituents have been associated with antioxidant, antidiabetic, anti-inflammatory, and cardioprotective properties.

The review highlights the growing scientific interest in valorizing underutilized wild edible species, several of which show mineral and protein contents comparable to or exceeding cultivated crops. Gaps identified include heterogeneity in analytical methodologies across studies, limited clinical validation of health claims, and insufficient data on safety and toxicological thresholds for regular dietary consumption.

This work underscores the potential of Moroccan MAPs as a sustainable resource for functional food development, while calling for standardized nutritional profiling and expanded in vivo/clinical research to substantiate traditional and preliminary in vitro findings.

Keywords: Medicinal and aromatic plants; functional foods; nutritional value; bioactive compounds; Morocco.

VALORIZATION OF AGRICULTURAL WASTE IN SUSTAINABLE BIOCOMPOSITES: ENHANCING MECHANICAL PROPERTIES WITH NATURAL FIBER REINFORCEMENTS

OUMAIMA. EL MTIOUY[1], HAMID.ESSABIR[1]
[1] Mechanic Materials and composites (MMC), Laboratory of Energy Engineering, Materials and Systems, National School of Applied Sciences of Agadir, Ibn Zohr University, Morocco.

Abstract

In response to the rising demand for sustainable materials and the depletion of non-renewable resources, this study focuses on developing high-performance bio-composites reinforced with agricultural residues, specifically utilizing coconut fibers as a low-cost, thermally stable natural filler in polypropylene matrices to create eco-friendly materials with enhanced mechanical properties. Bio-composites, consisting of a matrix that binds the structure and transfers loads, and natural fibers that provide strength and stiffness, face a key challenge in the poor interfacial adhesion between the hydrophilic fibers and hydrophobic thermoplastic matrices. To improve fiber-matrix compatibility and overall performance, chemical treatments such as alkaline processing were employed.

This study investigates the effect of fiber length on the mechanical behavior of polypropylene reinforced with coconut fibers, using extrusion and injection molding processes. A detailed experimental analysis encompassing structural, morphological, thermo-mechanical, and moisture absorption tests was conducted to determine the optimal fiber configuration. The use of agricultural biomass as functional fillers, combined with tailored coupling agents and processing methods, resulted in composites with significantly enhanced properties, including a more than 70% increase in Young's modulus, improved thermal stability, and reduced water absorption. These results underscore the potential of valorizing agricultural waste to develop high-performance, bio-based materials, positioning such bio-composites as sustainable alternatives to petroleum-based plastics for applications in agriculture, packaging, and the processing industry.

Key words: Biocomposites, natural fibers, agricultural residues, polypropylene, thermomechanical properties, sustainability, biomass valorization,

AUTOMATED DETECTION OF CANCEROUS CELLS IN MICROSCOPIC IMAGERY USING DEEP LEARNING ARCHITECTURES

Chioma Juliet Olugh
Solomon Onen Abam. Orcid-ID: 0009-0003-3084-8918
Federal College of Education (Technical), Isu, Ebonyi State, Nigeria
David Oloruntoba Aransiola
Lagos State University

Abstract

The manual interpretation of histological and cytological imagery is a resource-intensive task susceptible to inter-observer variability and human fatigue, which can impede timely diagnostic accuracy. This study proposes a robust computational framework for the automated identification and classification of cancerous cells within microscopic images. We utilized a Convolutional Neural Network (CNN) architecture specifically optimized for feature extraction from high-resolution biological specimens. The model was trained on a standardized dataset subjected to extensive preprocessing, including image normalization and data augmentation, to address class imbalances. Experimental results demonstrate that the proposed architecture achieves high sensitivity and specificity in localizing malignant cellular structures, significantly reducing diagnostic turnaround time compared to traditional manual screening methods. The findings underscore the efficacy of deep learning as a supportive diagnostic tool, offering potential for integration into clinical digital pathology workflows. This research provides a scalable, reproducible approach to enhancing oncological screening, with implications for improved patient outcomes and objective biological data analysis.

Keywords: Deep Learning, Computer Vision, Digital Pathology, Cancer Detection, Biological Image Processing

ZAKAT-DRIVEN VENTURE PHILANTHROPY: A BLENDED FINANCE MODEL FOR ISLAMIC SOCIAL ENTREPRENEURSHIP

Zahiduzzaman Zahid[2], Md. Shahed Alamm[3], Md. Mozammel Hoque[4],
https://orcid.org/0009-0009-0075-0905

Abstract:
Conventional venture philanthropy models, while effective in mobilizing risk capital for social enterprises, remain largely disconnected from faith-based redistributive instruments such as Zakat, Sadaqah, and Waqf. This study proposes a blended finance framework that integrates Zakat-based capital with venture philanthropy principles to support early-stage Islamic social enterprises operating in underserved and disaster-prone communities. Drawing on Maqasid al-Shariah as a normative foundation, the paper argues that Zakat funds—traditionally deployed through direct, one-time disbursement—can be structured into a phased, milestone-based investment vehicle that combines grant capital (for the poorest beneficiaries, in line with classical Zakat eligibility criteria) with returnable, profit-sharing instruments such as Mudarabah and Qard al-Hasan for viable micro and small enterprises. The proposed model addresses two persistent gaps in Islamic social finance: the underutilization of Zakat as patient, catalytic capital, and the absence of structured mentorship and performance monitoring mechanisms common to conventional venture philanthropy. Using a conceptual and comparative methodology, the study examines existing Zakat institutions, Islamic microfinance practices, and international venture philanthropy models to derive a governance structure encompassing beneficiary selection, Shariah-compliant capital tranching, impact measurement, and exit/graduation pathways for social entrepreneurs. The paper further discusses regulatory and institutional prerequisites for implementation in emerging Muslim-majority economies, including Bangladesh, and identifies potential risks such as moral hazard, Shariah governance ambiguity, and the tension between Zakat's redistributive mandate and venture philanthropy's return-oriented logic. Findings are expected to offer a novel policy and institutional roadmap for Zakat authorities, Islamic social finance institutions, and social entrepreneurship ecosystems seeking to combine ethical capital mobilization with sustainable

[2] Dr. Zahiduzzaman Zahid (CISA, CSAA, CIPA, PMP), Islamic FinTech & Business Analytics Researcher, University of the Cumberlands, Kentucky, USA,https://orcid.org/0009-0009-0075-0905
[3] Md. Shahed Alamm (CSAA), Head of Researcher, Research Network and Islamic Banking and Finance Professional, Senior Manager, Islamic Financing Division, Bangladesh Finance PLC, Bangladesh https://orcid.org/0009-0004-5203-0866
[4] Md. Mozammel Hoque (CSAA), Associate Researcher, Research Network, Bangladesh;

enterprise development, contributing to the broader discourse on Islamic Sustainable Development Goals (SDGs) and inclusive economic resilience.

Keywords: Zakat, Venture Philanthropy, Islamic Social Finance, Social Entrepreneurship, Blended Finance, Maqasid al-Shariah

MODELING THE IMPACT OF VACCINATION AND TREATMENT STRATEGIES ON TUBERCULOSIS AND DRUG-RESISTANT TUBERCULOSIS TRANSMISSION

Diala Leona Concord
Margaret Lawrence University, School of Basic Science and General studies, Department of Mathematics, Abuja, Nigeria
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0009-2015-078X
Dr. Abah Roseline Toyin
University of Abuja, Faculty of Physical Sciences, Department of Mathematics, Abuja, Nigeria
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-8970-3586
Dr. Azuaba Emmanuel
Bingham University, Faculty of Science, Department of Mathematical Sciences, Karu, Nigeria
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-3076-5595

ABSTRACT

Tuberculosis (TB) remains one of the leading causes of morbidity and mortality worldwide, with drug-resistant tuberculosis (DR-TB) posing a major challenge to disease control, particularly in high-burden countries such as Nigeria. This study developed and analyzed a deterministic compartmental model to investigate the transmission dynamics of TB by incorporating vaccination, latent infection, first-line treatment, drug resistance, second-line treatment, and recovery. The model was shown to be mathematically well-posed through proofs of existence, uniqueness, positivity, and boundedness of solutions. The basic re-production number (R_0) was derived using the next-generation matrix method, while local and global stability analyses established that the endemic equilibrium is asymptotically stable whenever ($R_0 > 1$). Normalized forward sensitivity analysis revealed that the transmission rate, progression from latent infection, waning vaccine immunity, and first-line treatment failure increase disease transmission, whereas vaccination, first-line treatment, second-line treatment, and recovery reduce the basic reproduction number. Numerical simulations showed that vaccination alone slows TB transmission but is insufficient to eliminate the disease. First-line treatment reduced the infectious population, while second-line treatment effectively controlled drug-resistant tuberculosis. Also, combined intervention strategies produced the greatest reduction in both infectious and drug-resistant cases compared with uncontrolled scenarios. This study offers a useful mathematical framework for evaluating TB intervention strategies and provides evidence based insights to support public health policies aimed at achieving sustainable tuberculosis control in Nigeria and other high-burden settings.

Keywords: Tuberculosis, treatment strategies, Modeling, Vaccination, Drug resistance, Basic reproduction number.

1. INTRODUCTION

Tuberculosis is a bacteria disease caused by the Mycobacterium tuberculosis. It is an airborne infectious disease which spread through respiratory droplets and primarily affects the lungs but can move through the blood to other parts of the body such as kidney, spine and the brain (Dheda *et al.*, 2019). These droplets, known as droplet nuclei. They are remarkably small, typically 1-5 micrometers in diameter (Sarkar and Sarkar, 2025). The most common symptom of TB is persistent cough, accompanied by fever, night sweats, weight loss, fatigue, and loss of appetite (Ntshiqa *et al.*, 2025). TB has a complex natural history, characterized by a long latent phase and variable progression to active disease. The latent TB infection can survive in the body without causing any symptoms. It is estimated that about one-quarter of the global population is latently infected with TB, posing a significant reservoir for future reactivation (Houben and Dodd, 2016). Despite the long-standing availability of curative treatment, the disease persists due to various social, economic, and health systems challenges. These include delayed diagnosis, incomplete treatment, rising drug resistance, and inadequate health infrastructure in high burden areas.

This disease has continued to be a significant global health concern, particularly in low- and middle-income countries like Nigeria. The World Health Organization (WHO) declared TB a global emergency in 1993, which has led to emergence of initiatives such as "End TB Strategy". (World Health Organization, 2024) aim is to reduce TB incidence by 90% and mortality by 2035 compared to 2015. In 2022 alone, there were an estimated 10.6 million new cases and approximately 1.3 million deaths due to TB (World Health Organization, 2023a).

In 2023, Nigeria recorded an estimated 467,000 new cases, with an incidence rate of 219 per 100,000 population (Onyedum *et al.*, 2017). By 2024, notifications reached a record high of over 400,000 cases out of an estimated 506,000, reflecting improved detection but also a persistent epidemic (The Cable, 2025). Nigeria ranks sixth among the eight countries driving over two-thirds of the global TB burden, behind India (2.8 million) and Indonesia (1.1 million) and the nation with the highest TB burden in Africa. The burden is particularly severe in northern Nigeria, where rising DR-TB prevalence has been

documented in states such as Kano, Bauchi, and conflict affected regions (Magaji *et al.*, 2025). The management of D_R-TB in Nigeria is limited by systemic weaknesses. Delays in diagnosis, poor treatment compliance, frequent drug shortages, and inadequate referral mechanisms are some of the main causes (Magaji *et al.*, 2025).

Socio-economic factors play an important role in the transmission of TB. De-spite the international and local commitments to eradicate the disease by 2030, it continues to thrive. This is fueled by complex socio-economic and structural barriers (Ogunniyi *et al.*, 2024). Awareness of TB, specifically understand-ing its symptoms, modes of transmission, and the fact that it is a curable condition is the foundation of effective health seeking behavior (Ugwu et al.,2026). While the Nigerian National Tuberculosis, Leprosy, and Buruli Ulcer Control Programme (NTBLCP) has made strides in expanding diagnostic ser-vices, the ”missing millions”, those who remain undiagnosed persist (Ogunniyi *et al.*, 2024). This occurrence is largely attributed to a lack of awareness.

Preventive treatment reduces the progression from latent infection to active dis-ease and is a key component of global TB control programs (Martinez et al., 2024). Early detection and treatment of infectious cases, adequate ventilation in crowded environments, respiratory hygiene, and the use of personal protective measures in healthcare and high-risk settings are key in limiting the spread of TB (Daradkeh *et al.*, 2025). Administrative and environmental control strategies such as screening programs, isolation of infectious patients, and improved airflow in healthcare facilities have been shown to significantly reduce TB trans-mission (Fox *et al.*, 2021).

3. LITERATURE REVIEW

Mathematical compartmental models, provide a structured framework to de-scribe disease transmission using ordinary differential equations that categorize individuals into compartments based on disease status, such as Susceptible, Ex-posed, Infectious, and Recovered (SEIR) (Brauer et al., 2019). For TB, models are often extended to include features such as latent infection, treatment stages, relapse, and drug resistance, allowing for more realistic simulation of TB dynamics (Zerefe and Mekonnen, 2020). These models are particularly useful for estimating key epidemiological parameters, such as the basic reproduction number (R_0), and for simulating various intervention strategies.

Enagi *et al.* (2019) used mathematical modeling to perform analytical solution of TB with passively immune compartment. The aim of the study is to pro-pose a

mathematical model to analyze TB disease dynamics and understand the impact of various factors on the disease's transmission and recovery rate. The Homotopy Perturbation Method (HPM) was used to derive the generated using MAPPLE computer software. The findings indicated that with a low contracting rate and high recovery rate, the population of susceptible individuals increased while the population of the infected individuals decreased, showing the model's effectiveness in simulating TB dynamics.

A mathematical model was developed by (Oguntolu *et al.*, 2022) to analyze TB transmission dynamics by incorporating different control strategies such as vaccination, treatment and isolation. The compartments were partitioned into seven (susceptible, vaccinated, latent, mild TB, chronic TB, isolated infectious and treated individuals). The result showed that effective control measures, including vaccination, isolation and treatment rates are very important for minimizing TB transmission. The study also identifies that the contact rate significantly influences the spread of TB.

A descriptive cross-sectional study was conducted by (Takarinda *et al.*, 2015) using a structured questionnaire administered to 383 patients at 47 randomly selected health facilities. Data collection involved assessing the timing of TB symptoms, first health worker encounter, and number of health facility visits prior to treatment. The aim of the study is to assess the extent of patient and health system delays in TB treatment among patients with microbiologically confirmed pulmonary TB in Zimbabwe and identify associated risk factors. The study found that the majority of patients (55%) were male, with a median age of 34 years. Most patients (75%) started TB treatment at diagnosing centers, and 62% were HIV-infected, indicating significant patient delays primarily linked to access issues in rural areas. The study's findings may not be representative of the broader HIV patient population, particularly those with smear negative TB, where delays could be more complex. Also, the study focused only on microbiologically confirmed pulmonary TB (PTB) patients, potentially overlooking other 25 TB cases. There is a need for qualitative studies to better understand patient responses regarding delays, especially in rural settings. Further research is also required to explore treatment delays specifically among HIV-positive patients with smear-negative TB.

3. MATERIAL AND METHODS

A deterministic compartmental model was developed using ordinary differential equations (ODEs) to capture the key stages of TB infection including the drug-resistant stage. The population was stratified into eight compartments such as: susceptible (S),

vaccinated (V), latently infected (L), infectious (I), first-line of treatment (T_1), drug resistant (D_R), second- line of treatment (T_2) and the recovered (R). The model assumes that only two compartments are infectious namely: I (active untreated) and D_R (drug resistant), whereas people on effective first or second line treatment (T_1, T_2) have greatly reduced or zero transmission. All new infections enter the latent compartment L. The model assumes that D_R has the same transmission rate as I. Therefore, the rate at which new infections appear in the system per unit time $\psi = \beta\ \mathrm{S}\ \mathrm{I} + \beta\ \mathrm{S}\ D_R$.

Differential Equations of the Model

$$\frac{dS}{dt} = \Lambda - \psi - \rho S + \omega V + \theta R - \mu S, \quad (3.1)$$

$$\frac{dV}{dt} = \rho S - \omega V - \mu V, \quad (3.2)$$

$$\frac{dL}{dt} = \psi - \varepsilon L - \mu L, \quad (3.3)$$

$$\frac{dI}{dt} = \varepsilon L - \tau_1 I - (\mu + \phi) I, \quad (3.4)$$

$$\frac{dT_1}{dt} = \tau_1 I - \eta T_1 - \gamma_1 T_1 - (\mu + \phi) T_1, \quad (3.5)$$

$$\frac{dDR}{dt} = \eta T_1 - \tau_2 DR - (\mu + \phi) D_R\ , \quad (3.6)$$

$$\frac{dT_2}{dt} = \tau_2 D_R - \gamma_2 T_2 - (\mu + \phi) T_2, \quad (3.7)$$

$$\frac{dR}{dt} = \gamma_1 T_1 + \gamma_2 T_2 - (\theta + \mu) R. \quad (3.8)$$

The total population equation will be formatted as

$$N(t) = S(t) + V(t) + L(t) + I(t) + T_1(t) + D_R(t) + T_2(t) + R(t).$$

Likewise, the force of infection will be written clearly as

$$\psi = \beta S(I + DR),$$

For $S_0 > 0$, $V_0 > 0$, $L_0 > 0$, $T_1 > 0$, $DR_0 > 0$, $T_2 \geq 0$, $R_0 \geq 0$ be the initial conditions of the model.

The parameters used in the model are defined in Table 1.

Table 1: Parameter Definition

Parameter	**Definition**
ψ	Transmission rate of TB

ρ	Vaccination rate
ω	Rate of waning immunity from vaccination
ϵ	Progression rate from latent to active TB
τ_1	Rate of entering first-line treatment
η.	Rate of failure of first-line treatment (into D_R)
Λ	Recruitment (birth or immigration) rate
τ_2	Rate of second-line treatment from D_R
γ_1, γ_2	Recovery rates from T_1, T_2, respectively
θ	Loss of immunity or relapse from R
μ	Natural death rate
ϕ	TB induced death rate

3.1 Model Analysis

Existence and Uniqueness of Solution

To establish that the proposed tuberculosis transmission model is mathematically well-defined, we verify the existence and uniqueness of its solutions using the **Picard–Lindelöf (Cauchy–Lipschitz) Theorem**.

Theorem 3.1 (Picard–Lindelöf Theorem).

Let $D \subset \mathbb{R} \times \mathbb{R}^n$be an open domain containing the point (t_0, x_0). Suppose that the vector-valued function

f: $D \to \mathbb{R}^n$ is continuous on $D$and satisfies a Lipschitz condition with respect to the state variable **x**; that is, there exists a positive constant $K > 0$such that

$$\| \mathrm{f}(t, \mathrm{x}_1) - \mathrm{f}(t, \mathrm{x}_2) \| \leq K \| \mathrm{x}_1 - \mathrm{x}_2 \|,$$

for all

$$(t, \mathrm{x}_1), (t, \mathrm{x}_2) \in D.$$

Then the initial value problem

$$\frac{d\mathrm{x}}{dt} = \mathrm{f}(t, \mathrm{x}),$$

subject to the initial condition

$$\mathrm{x}(t_0) = \mathrm{x}_0,$$

admits a unique solution on some interval containing t_0.

Proof

Let the state vector of the tuberculosis model be defined by

$$\mathrm{X}(t) = (S,\ V,\ L,\ I,\ T_1,\ DR,\ T_2,\ R)^T.$$

Then the model given by Equations (3.1)–(3.8) can be written in compact vector form as

$$\frac{d\mathrm{X}}{dt} = \mathrm{F}(\mathrm{X}),$$

where

$$\mathrm{F}(\mathrm{X}) = (f_1, f_2, f_3, f_4, f_5, f_6, f_7, f_8)^T.$$

The component functions are

$$\begin{aligned}
f_1 &= \Lambda - \psi - \rho S + \omega V + \theta R - \mu S,\\
f_2 &= \rho S - \omega V - \mu V,\\
f_3 &= \psi - \varepsilon L - \mu L,\\
f_4 &= \varepsilon L - \tau_1 I - (\mu + \phi) I,\\
f_5 &= \tau_1 I - \eta T_1 - \gamma_1 T_1 - (\mu + \phi) T_1,\\
f_6 &= \eta T_1 - \tau_2 DR - (\mu + \phi) DR,\\
f_7 &= \tau_2 DR - \gamma_2 T_2 - (\mu + \phi) T_2,\\
f_8 &= \gamma_1 T_1 + \gamma_2 T_2 - (\theta + \mu) R.
\end{aligned} \qquad (3.9)$$

Since each component function consists of polynomial and linear combinations of the state variables, all first-order partial derivatives

$$\frac{\partial f_i}{\partial x_j}, i, j = 1,2, \ldots,8,$$

exist and are continuous throughout the biologically feasible region

$$\Omega = \{(S, V, L, I, T_1, DR, T_2, R) \in \mathbb{R}_+^8\}.$$

Furthermore, all model parameters

$$\Lambda, \beta, \rho, \omega, \varepsilon, \tau_1, \eta, \tau_2, \gamma_1, \gamma_2, \theta, \mu, \phi$$

are assumed to be finite and non-negative constants. Consequently, every entry of the Jacobian matrix

$$J(\mathrm{X}) = \left[\frac{\partial f_i}{\partial x_j}\right]$$

is bounded on every compact subset of Ω. Hence, the vector field F(X)satisfies the Lipschitz condition with respect to the state variables.

Therefore, by the Picard–Lindelöf Theorem, the initial value problem associated with the tuberculosis transmission model admits a unique local solution for every non-negative initial condition.

Since all state variables are subsequently shown to remain positive and bounded within the invariant region, the local solution extends uniquely for all $t \geq 0$. Therefore, the tuberculosis transmission model possesses a unique global solution in the biologically feasible region.

Hence, the model is mathematically well-posed and admits a unique solution for all t ≥ 0

3.1.2 Positivity of Solutions

The possibility of solutions is a fundamental requirement for modeling infectious disease. It shows that the population variables (Susceptible, vaccinated, infected e.t.c) can never become negative. Since these variables represent real counts of living people or animals, they must always remain greater than or equal to zero for the model to be biologically meaningful. All the solutions of the model equations (3.1) to (3.8) remain positive for all time t ≥ 0 provided that the initial conditions are positive.

Theorem 3.2

Let $(S(0),\ V(0),\ L(0),\ I(0),\ T_1(0),\ D_R(0),\ T_2(0),\ R(0)) \in \mathbb{R}_+^8$. Then the solution of the tuberculosis transmission model given by Equations (3.1) – (3.8) satisfies $S(t), V(t), L(t), I(t), T_1(t),\ D_R(t), T_2(t), R(t) \geq 0, \forall\ t \geq 0$.

Proof

Suppose that all initial conditions are non-negative.

Since every inflow into each compartment is non-negative, we estimate each differential equation from below by neglecting the positive inflow terms.

From Equation (3.2), $\frac{dV}{dt} = \rho S - (\omega + \mu)V.$

Since $\rho S \geq 0,$

We have $\frac{dV}{dt} \geq -(\omega + \mu)V.$ (3.10)

Integrating,

$V(t) \geq V(0)e^{-(\omega+\mu)t} > 0.$ (3.11)

Hence, V(t) > 0 for all t > 0.

Therefore, the positivity of the state variable V for all t ≥ 0 is proved. Similarly, the positivity of S, L, I, T_1, T_2, D_R, and R can also be established. Hence, all solutions of the TB model remain positive for any positive initial conditions.

.1.3 Invariant Region

To ensure that the solutions of the proposed tuberculosis transmission model remain biologically meaningful for all time, it is necessary to establish that the model possesses a

positively invariant and bounded feasible region.

Theorem 3.3

Let $\Omega = \left\{(S, V, L, I, T_1, DR, T_2, R) \in \mathbb{R}_+^8 : N(t) \leq \frac{\Lambda}{\mu}\right\}$ where $N(t) = S(t) + V(t) + L(t) + I(t) + T_1(t) + D_R(t) + T_2(t) + R(t)$ denotes the total human population. Then the region Ωis positively invariant with respect to the system (3.1)–(3.8). Consequently, every solution of the model that starts in Ωremains in Ωfor all $t \geq 0$.

Proof

Differentiate N with respect to time:

$$\frac{dN}{dt} = \frac{dS}{dt} + \frac{dV}{dt} + \frac{dL}{dt} + \frac{dI}{dt} + \frac{dT_1}{dt} + \frac{dD_R}{dt} + \frac{dT_2}{dt} + \frac{dR}{dt}.$$

Substituting the right hand sides of equation (3.15) and observing the cancellations:

Therefore, $\frac{dN}{dt} = \Lambda - \mu N - \phi\,(I + T_1 + D_R + T_2)$ (3.12)

Since $I, T_1, D_R, T_2 \geq 0$ and $\phi \geq 0$, the terms $-\phi\,(I + T_1 + D_R + T_2) \leq 0$

$$\therefore \quad \frac{dN}{dt} \leq \Lambda - \mu N. \qquad (3.13)$$

Consider the auxiliary differential equation $\frac{dM}{dt} = \Lambda - \mu M$, with initial condition

$$M(0) = N(0).$$

The solution is $M(t) = \frac{\Lambda}{\mu} + \left(M(0) - \frac{\Lambda}{\mu}\right) e^{-\mu t}.$ (3.14)

By the Comparison Theorem,

$N(t) \leq M(t)$, for every $t \geq 0$.

Therefore, $N(t) \leq \frac{\Lambda}{\mu} + \left(N(0) - \frac{\Lambda}{\mu}\right) e^{-\mu t}.$

Taking the limit as $t \to \infty$, $\lim_{t\to\infty} N(t) \leq \frac{\Lambda}{\mu}$.

Hence, $N(t) \leq \frac{\Lambda}{\mu}, \forall t \geq 0$ (3.15)

Therefore, $\Omega = \left\{(S, V, L, I, T_1, DR, T_2, R) \in \mathbb{R}_+^8 : N(t) \leq \frac{\Lambda}{\mu}\right\}$ is positively invariant.

Since all state variables have already been shown to remain non-negative (Theorem 3.2), every solution initiating in Ω remains in the biologically feasible region for all future time.

3.2 Endemic Equilibrium (EE)

The endemic equilibrium of the tuberculosis model corresponds to the steady-state solution at

which tuberculosis persists in the population. At this equilibrium, all state variables remain constant over time and the disease is maintained at a positive level.

Let the endemic equilibrium point be denoted by $E^* = (S^*, V^*, L^*, I^*, T_1^*, DR^*, T_2^*, R^*)$

At equilibrium,

$$\frac{dS}{dt} = \frac{dV}{dt} = \frac{dL}{dt} = \frac{dI}{dt} = \frac{dT_1}{dt} = \frac{dD_R}{dt} = \frac{dT_2}{dt} = \frac{dR}{dt} = 0.$$

From Equation (3.2), $V^* = \frac{\rho S^*}{\omega+\mu}$. (3.16)

From Equation (3.3), $L^* = \frac{\psi^*}{\varepsilon+\mu}$. (3.17)

From Equation (3.4), $I^* = \frac{\varepsilon}{\tau_1+\mu+\phi} L^*$. (3.18)

Substituting Equation (3.17) into Equation (3.18),

$$I^* = \frac{\varepsilon\psi^*}{(\varepsilon+\mu)(\tau_1+\mu+\phi)}. \quad (3.19)$$

Similarly, $T_1^* = \frac{\tau_1}{\eta+\gamma_1+\mu+\phi} I^*$, (3.20)

$$DR^* = \frac{\eta\, I*}{\tau_2+\mu+\phi} T_1^*, \quad (3.21)$$

which gives

$$DR^* = \frac{\eta\tau_1 I^*}{(\eta+\gamma_1+\mu+\phi)(\tau_2+\mu+\phi)}. \quad (3.22)$$

Likewise,

$$T_2^* = \frac{\tau_2}{\gamma_2+\mu+\phi} DR^*, \quad (3.23)$$

so that

$$T_2^* = \frac{\tau_2\eta\tau_1 I^*}{((\eta+\gamma_1+\mu+\phi)(\tau_2+\mu+\phi)(\gamma_2+\mu+\phi)}. \quad (3.24)$$

$$R^* = \frac{\gamma_1 T_1^* + \gamma_2 T_2^*}{\theta+\mu}. \quad (3.25)$$

$$S^* = \frac{(\tau_1 + \mu + \theta)\,(\varepsilon + \mu)}{\varepsilon\beta\psi}. \quad (3.26)$$

Endemic Equilibrium Point

Therefore, the endemic equilibrium of the tuberculosis model is each component as given by Equations (3.16) – (3.26).

3.3 Basic Reproduction Number (R_0)

The basic reproduction number, denoted by R_0, is defined as the expected number of secondary tuberculosis infections generated by a single infectious individual introduced into a susceptible population.

Take partial derivatives with respect to each infected compartment, evaluated at the disease-free equilibrium (DFE).

At the DFE: L= I = T_1 = D_R = T_2 = 0

Therefore, $F = \begin{bmatrix} 0 & \beta S & 0 & \beta S & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ (3.27)

Matrix V (Transitions Out)

The matrix V shows how people leave the infected compartments (e.g recovering, progression, dying or moving to another stage). We look at the terms that reduce the number in each compartment. The transition terms are the negative of the derivatives of the right-hand sides of the infected compartment equations with respect to their own compartments, evaluated at the DFE. It also includes inflows from one compartment to another (Off-diagonal terms).

Therefore; $V =$

$$\begin{bmatrix} \epsilon + \mu & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\epsilon & \tau_1 + \mu + \phi & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\tau_1 & \eta + \gamma 1 + \mu + \phi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\eta & \tau_2 + \mu + \phi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\tau_2 & \gamma_2 + \mu + \phi \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

Let “a, b, c, d, e” denote the diagonal elements

a = ϵ + μ, b = τ_1 + μ + ϕ, c = η + γ_1 + μ + ϕ, d = τ_2 + μ + ϕ, e = γ_2 + μ + ϕ

Then, V = $\begin{bmatrix} a & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\epsilon & b & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\tau_1 & c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\eta & d & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\tau_2 & e \end{bmatrix}$ (3.28)

$$V^{-1} = \begin{bmatrix} \frac{1}{a} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\varepsilon}{ab} & \frac{1}{b} & 0 & 0 & 0 \\ \frac{\tau_1 \varepsilon}{abc} & \frac{\tau_1}{bc} & \frac{1}{c} & 0 & 0 \\ \frac{\eta\tau_1 \varepsilon}{abcd} & \frac{\eta\tau_1}{bcd} & \frac{\eta}{cd} & \frac{1}{d} & 0 \\ \frac{\eta\tau_1 \tau_2 \varepsilon}{abcde} & \frac{\eta\tau_1 \tau_2}{bcde} & \frac{\eta\tau_2}{cde} & \frac{\tau_2}{de} & \frac{1}{e} \end{bmatrix} \quad (3.29)$$

$$FV^{-1} = \left[\beta S\left(\frac{\varepsilon}{ab} + \frac{\eta\tau_1 \varepsilon}{abcd}\right),\ 0,\ 0,\ 0,\ 0\right]$$

$$R_0 = \frac{\beta\Lambda(\omega+\mu)\varepsilon}{\mu(\omega+\mu+\rho)(\varepsilon+\mu)(\tau_1+\mu+\phi)}\left(1 + \frac{\tau_1\eta}{(\eta+\gamma_1+\mu+\phi)(\tau_2+\mu+\phi)}\right) \quad (3.30)$$

3.4 Local Stability of the Endemic Equilibrium

Local stability of endemic equilibrium means that if a disease is already present in a population at a specific level, small, temporary disturbances (such as a minor fluctuation in infected individuals) will not cause the disease to die out or grow boundlessly, instead, the system will naturally return to that consistent, persistent endemic state.

Theorem 3.4

Let $E^* = (S^*, V^*, L^*, I^*, T_1^*, DR^*, T_2^*, R^*)$ be the endemic equilibrium of the tuberculosis model. Then the endemic equilibrium $E^*$is locally asymptotically stable whenever $R_0 > 1$.

Proof

The Jacobian matrix of the system (3.1) – (3.8) evaluated at the endemic equilibrium is

$$J = \begin{bmatrix} -\psi-\rho-\mu-\lambda & \omega & 0 & -\beta S^* & 0 & -\beta S^* & 0 & \theta \\ \rho & -\omega-\mu-\lambda & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \psi & 0 & -\varepsilon-\mu--\lambda & \beta S^* & 0 & \beta S^* & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \varepsilon & -(\tau_1+\mu+\phi)-\lambda & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \tau_1 & -(\eta+\gamma_1+\mu+\phi)-\lambda & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \eta & -(\tau_2+\mu+\phi)-\lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \tau_2 & -(\gamma_2+\mu+\phi)-\lambda & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \gamma_2 & -(\theta+\mu)-\lambda \end{bmatrix} \quad (3.31)$$

Since the matrix is not triangular matrix due to off-diagonal terms, so the eigenvalues would be calculated using Gaussian elimination method and Routh-Hurwitz stability criteria. Routh-Hurwitz stability criterion for a second-degree polynomial states that all roots will have a negative real parts (making the system stable) if and only if all of its coefficients are strictly positive.

Consider the polynomial $p(\lambda) = \lambda^2 + a_1\lambda + a_0$

If $a_1 > o$ and $a_0 > o$ then, $\lambda_1, \lambda_2 < 0$

Susceptible–Vaccinated Subsystem

$$A = \begin{pmatrix} -\psi - \rho - \mu - \lambda & \omega \\ \rho & -\omega - \mu - \lambda \end{pmatrix}.$$

$$\begin{vmatrix} -\psi - \rho - \mu - \lambda & \omega \\ \rho & -\omega - \mu - \lambda \end{vmatrix} = 0.$$

Expanding,

$$(-\psi - \rho - \mu - \lambda)(-\omega - \mu - \lambda) - \rho\omega = 0.$$

Hence, $\lambda^2 + \lambda(\omega + 2\mu + \rho + \psi) + \psi\omega + \psi\mu + \rho\mu + \mu\omega + \mu^2 = 0$

Which is in the form of $\lambda^2 + b_1\lambda + c_1 = 0$

Where $b_1 = \omega + 2\mu + \rho + \psi$ and $c_1 = \psi\omega + \psi\mu + \rho\mu + \mu\omega + \mu^2$.

Since all model parameters are positive,

$$b_1 > 0, c_1 > 0.$$

By the Routh–Hurwitz criterion for quadratic polynomials,

$$\boxed{\lambda_1, \lambda_2 < 0.}$$

Latent–Infectious Subsystem

$$B = \begin{pmatrix} -\varepsilon - \mu - \lambda & \beta S^* \\ \varepsilon & -(\tau_1 + \mu + \phi) - \lambda \end{pmatrix}.$$

becomes

$$(-\varepsilon - \mu - \lambda)(-\tau_1 - \mu - \phi - \lambda) - \varepsilon\beta S^* = 0.$$

$$\therefore \lambda^2 + b_2\lambda + c_2 = 0$$

$b_2 = \varepsilon + \tau_1 + 2\mu + \phi$ and $c_2 = (\varepsilon + \mu)(\tau_1 + \mu + \phi) - \varepsilon\beta S^*$.

$$c_2 > 0 \ and \ b_2 > 0,$$

The quadratic satisfies the Routh–Hurwitz conditions.

Therefore, $\lambda_3, \lambda_4 < 0$.

Treatment, Drug-resistant & Recovery Subsystem

$$C = \begin{pmatrix} -(\eta+\gamma_1+\mu+\phi) - \lambda & 0 & 0 & 0 \\ \eta & -(\tau_2+\mu+\phi) - \lambda & 0 & 0 \\ 0 & \tau_2 & -(\gamma_2+\mu+\phi) - \lambda & 0 \\ \gamma_1 & 0 & \gamma_2 & -(\theta+\mu) - \lambda \end{pmatrix}.$$

Since $C$is lower triangular matrix, its eigenvalues are simply its diagonal entries,

$\lambda_5 = -(\eta+\gamma_1+\mu+\phi), \quad \lambda_6 = -(\tau_2+\mu+\phi), \quad \lambda_7 = -(\gamma_2+\mu+\phi), \ \lambda_8 = -(\theta+\mu).$

Clearly, $\lambda_5, \lambda_6, \lambda_7, \lambda_8 < 0$.

All eigenvalues of the Jacobian matrix have strictly negative real parts whenever $R_0 > 1$. Hence, E^* is locally asymptotically stable whenever $R_0 > 1$.

3.5 Global Stability of the Endemic Equilibrium

To establish the global asymptotic stability of the endemic equilibrium, we construct a nonlinear Lyapunov function.

Theorem 3.5

Suppose $R_0 > 1$. Then the endemic equilibrium $E^* = (S^*, V^*, L^*, I^*, T_1^*, DR^*, T_2^*, R^*)$ of system (3.1) – (3.8) is globally asymptotically stabe.

Proof

Since the vaccinated compartment does not generate new infections directly and the recovered compartment contributes only through relapse, the global dynamics are governed primarily by the infection chain

$$S \longrightarrow L \longrightarrow I \longrightarrow T_1 \longrightarrow D_R \longrightarrow T_2.$$

Consider the nonlinear Lyapunov function

$$F = S - S^* \ln S + L - L^* \ln L + I - I^* \ln I + T_1 - T_1^* \ln T_1 + D_R - DR^* \ln D_R + T_2 - T_2^* \ln T_2$$

Differentiating with respect to time,

$$\dot{F} = \left(1-\frac{S^*}{S}\right)\dot{S} + \left(1-\frac{L^*}{L}\right)\dot{L} + \left(1-\frac{I^*}{I}\right)\dot{I} + \left(1-\frac{T_1^*}{T_1}\right)\dot{T}_1 + \left(1-\frac{D_R*}{D_R}\right)\dot{D}_R + \left(1-\frac{T_2^*}{T_2}\right)\dot{T}_2$$

Substituting the governing equations into the above expression gives

$\dot{F} = \sum_{i=1}^{6}\left(1-\frac{x_i^*}{x_i}\right) f_i(x)$, where each $f_i(x)$denotes the corresponding right-hand side of the model equations.

The derivative simplifies to:

$$\dot{F} = \psi\left(1-\frac{S^*}{S}\right) - (\rho+\mu)S\left(\frac{\psi}{\psi_1} - \frac{S^*}{S} + \frac{(\rho+\mu)S^*}{\psi_1}\right) + (\varepsilon+\mu)L^*\left(2-\frac{L}{L^*}-\frac{L^*}{L}\right) + (\tau_1+\mu+$$

$\phi)I^*\left(2-\frac{I}{I^*}-\frac{I^*}{I}\right) + (\eta+\gamma_1+\mu+\phi)T_1^*\left(2-\frac{T_1}{T_1^*}-\frac{T_1^*}{T_1}\right) + (\tau_2+\mu+\phi)D_{R*}\left(2-\frac{D_R}{D_{R*}}-\frac{D_{R*}}{D_R}\right)$

$+(\gamma_2+\mu+\phi)T_2^*\left(2-\frac{T_2}{T_2^*}-\frac{T_2^*}{T_2}\right).$ (3.32)

Using the Arithmetic Mean–Geometric Mean inequality, we obtain for any positive real number x"

$$\frac{x}{x^*}+\frac{x^*}{x}\geq 2,$$

Therefore, $2-\frac{x}{x^*}-\frac{x^*}{x}\leq 0.$

Applying this inequality to every state variable,

$$2-\frac{L}{L^*}-\frac{L^*}{L}\leq 0,\quad 2-\frac{I}{I^*}-\frac{I^*}{I}\leq 0,\quad 2-\frac{T_1}{T_1^*}-\frac{T_1^*}{T_1}\leq 0,\quad 2-\frac{D_R}{D_R*}-\frac{D_R*}{D_R}\leq 0,$$

$$2-\frac{T_2}{T_2^*}-\frac{T_2^*}{T_2}\leq 0$$

$\therefore \dot{F}\leq 0$

Also, $\dot{F}=0$ if and only if $S=S^*, L=L^*, I=I^*, T_1=T_1^*, DR=DR^*, T_2=T_2^*.$

$\therefore \dot{F}=0$ only at the endemic equilibrium.

LaSalle's Invariance Principle implies that every solution in the feasible region converges to E^*.

Hence, E^* is globally asymptotically stable whenever $R_0>1$.

3.6 Sensitivity Analysis

For any parameter p, the normalized forward sensitivity index is defined as

$$\Upsilon_{R_0}^{p}=\frac{\partial R_0}{\partial p}\cdot\frac{p}{R_0}.$$ (3.33)

This measures the relative change in R_0due to a relative change in parameter p. The sensitivity indices are used to measure the relative change in a state variable when a parameter changes. The formula in Equation (3.28) was used to calculate the sensitivity indices of $R_0$with respect to the model parameters.

Let $R_0=\beta K$, where Kcontains all other factors.

Differentiating with respect to β, $\frac{\partial R_0}{\partial \beta}=K=\frac{R_0}{\beta}.$ (3.34)

Therefore, $\Upsilon_{R_0}^{\beta}=\frac{\partial R_0}{\partial \beta}\cdot\frac{\beta}{R_0}=\frac{R_0}{\beta}\cdot\frac{\beta}{R_0}=1.$ (3.35)

Hence, $\boxed{\Upsilon_{R_0}^{\beta}=1.}$ (3.36)

Since $R_0$is directly proportional to Λ, $\frac{\partial R_0}{\partial \Lambda} = \frac{R_0}{\Lambda}$.

Therefore, $\Upsilon_{R_0}^{\Lambda} = \frac{\partial R_0}{\partial \Lambda} \cdot \frac{\Lambda}{R_0} = \frac{R_0}{\Lambda} \cdot \frac{\Lambda}{R_0} = 1.$

Hence, $\Upsilon_{R_0}^{\Lambda} = 1.$ (3.37)

Also,

$$\Upsilon_{R_0}^{\rho} = \frac{\partial R_0}{\partial \rho} \cdot \frac{\rho}{R_0} = -\frac{\rho}{\omega + \rho + \mu} < 0.$$

$$\Upsilon_{R_0}^{\omega} = \frac{\partial R_0}{\partial \omega} \cdot \frac{\omega}{R_0} = \frac{\omega\rho}{(\omega + \mu)(\omega + \rho + \mu)} > 0.$$

$$\Upsilon_{R_0}^{\varepsilon} = \frac{\partial R_0}{\partial \varepsilon} \cdot \frac{\varepsilon}{R_0} = \frac{\mu}{\varepsilon + \mu} > 0.$$

$$\Upsilon_{R_0}^{\tau_1} = -\frac{\tau_1}{\tau_1 + \mu + \phi} + \frac{\tau_1\eta}{(\eta + \gamma_1 + \mu + \phi)(\tau_2 + \mu + \phi)}\left[1 + \frac{\tau_1\eta}{(\eta + \gamma_1 + \mu + \phi)(\tau_2 + \mu + \phi)}\right]^{-1} < 0.$$

$$\Upsilon_{R_0}^{\eta} = \frac{\eta\tau_1(\gamma_1 + \mu + \phi)}{(\eta + \gamma_1 + \mu + \phi)^2(\tau_2 + \mu + \phi)}\left[1 + \frac{\tau_1\eta}{(\eta + \gamma_1 + \mu + \phi)(\tau_2 + \mu + \phi)}\right]^{-1} > 0.$$

$$\Upsilon_{R_0}^{\gamma_1} = -\frac{\gamma_1\tau_1\eta}{(\eta + \gamma_1 + \mu + \phi)^2(\tau_2 + \mu + \phi)}\left[1 + \frac{\tau_1\eta}{(\eta + \gamma_1 + \mu + \phi)(\tau_2 + \mu + \phi)}\right]^{-1} < 0.$$

$$\Upsilon_{R_0}^{\tau_2} = -\frac{\tau_2\tau_1\eta}{(\gamma_1 + \mu + \phi)(\tau_2 + \mu + \phi)^2}\left[1 + \frac{\tau_1\eta}{(\eta + \gamma_1 + \mu + \phi)(\tau_2 + \mu + \phi)}\right]^{-1} < 0.$$

The sensitivity analysis reveals that the parameters with the greatest positive influence on the basic reproduction number, R_0, are the transmission rate β, the progression rate ϵ, the waning immunity rate ω, and the treatment-failure (drug-resistance) rate η. An increase in any of these parameters leads to an increase in R_0, thereby enhancing the transmission and persistence of tuberculosis within the population. Conversely, the vaccination rate ρ, first-line treatment rat e τ_1, second-line treatment rate τ_2, and recovery rate γ_1 have negative sensitivity indices, indicating that increases in these parameters reduce R_0 and consequently suppress disease transmission. Therefore, effective tuberculosis control strategies should focus on increasing vaccination coverage, improving treatment success rates, strengthening access to first- and second-line treatment interventions, and implementing measures to prevent the emergence of drug-resistant tuberculosis strains. Such interventions are expected to significantly reduce the disease burden and contribute to the eventual elimination of tuberculosis.

This analysis is done using parameter values gotten from WHO and Nigeria National TB Programme data and other related literatures. Initial conditions are S (0) = 150000000, V (0) = 10000000, L (0) =50000000, I (0) = 500000, T_1 (0) =200000, D_R (0) =20000, T_2 (0) =10000, R (0) = 7270000.

Table 2: Model Parameter Estimation

Description	Symbol	Value	Source
Transmission rate of TB	ψ	$2.5338 \times 10{-}5$	(Fenuga et al., 2024)
Vaccination rate	ρ	0.74	(Zero-Dose Learning Hub, 2023)
Rate of waning immunity from vaccination	ω	0.25	(Fenuga et al., 2024)
Progression rate from latent to active TB	ϵ	0.05	(Okuonghae and Ikhimwin, 2016)
Rate of entering first-line treatment	$\tau 1$	1.5	(Fenuga et al., 2024)
Rate of failure of first-line treatment	η.	0.14	Estimated
Recruitment (birth or immigration) rate	Λ	36.03	(Macrotrends, 2025)
Rate of second-line treatment from DR	$\tau 2$	1.0	Assumed
Recovery rate from T1	$\gamma 1$	1.86	Estimated
Recovery rate from T2,	$\gamma 2$	0.71	(World Health Organization, 2023
Loss of immunity or relapse from R	θ	0.1	(Colangeli et al., 2018)
Natural death rate	μ	0.0087	(Wikipedia contributors, 2026)
TB induced death rate	ϕ	0.365	(Okuonghae and Ikhimwin, 2016)

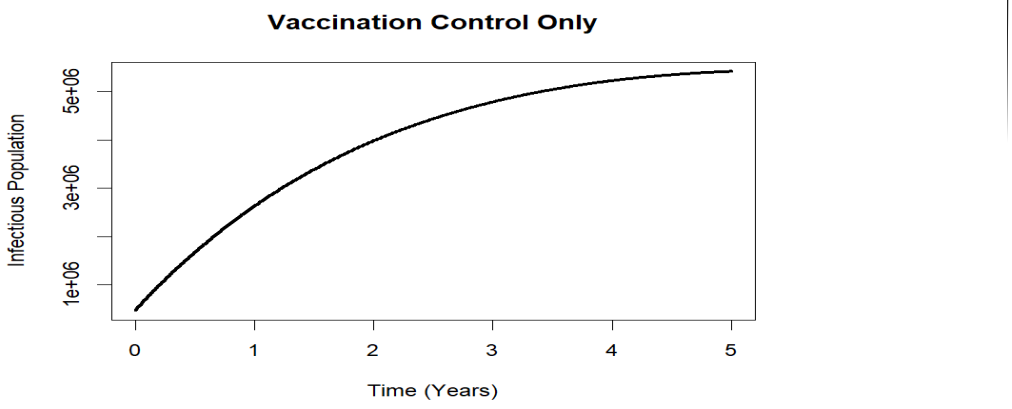


Figure 1: Vaccination Control

Figure 1 shows the dynamics of the infectious TB population when vaccination is implemented as the sole control strategy. The infectious population remains high throughout the simulation period. This suggests that vaccination alone is insufficient to suppress TB transmission effectively. While vaccination slows the rate of increase in infectious cases, it does not reduce the infectious burden, indicating the need for additional interventions.

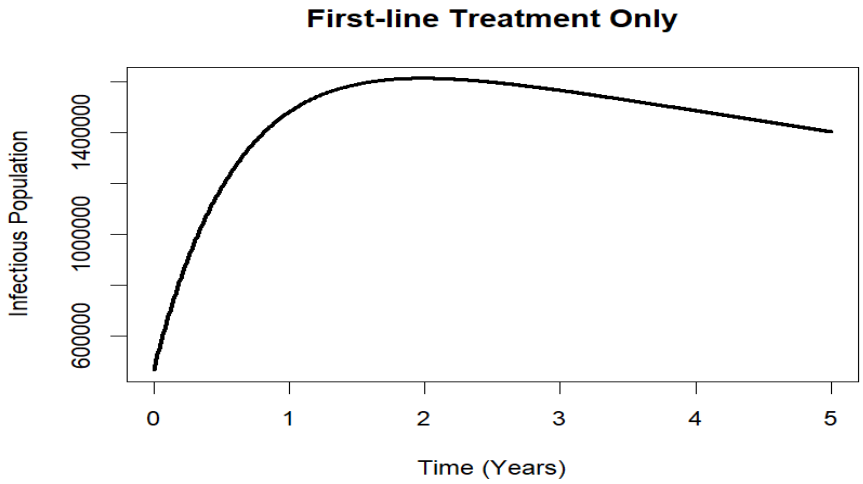


Figure 2: First-Line Treatment

Figure 2 shows the dynamics of the infectious TB population under the first-line treatment control strategy. The infectious population initially increases at the beginning and peak around the second year of simulation. Thereafter, the infectious population gradually declines by the fifth year. The initial increase reflects ongoing transmission and progression of latent infections before treatment effects become dominant. The subsequent decline demonstrates the effectiveness of first-line treatment in reducing the infectious burden by accelerating recovery and decreasing transmission. Compared with vaccination-only intervention, first-line treatment produces a more pronounced reduction in infectious cases, indicating its importance in TB control programs.

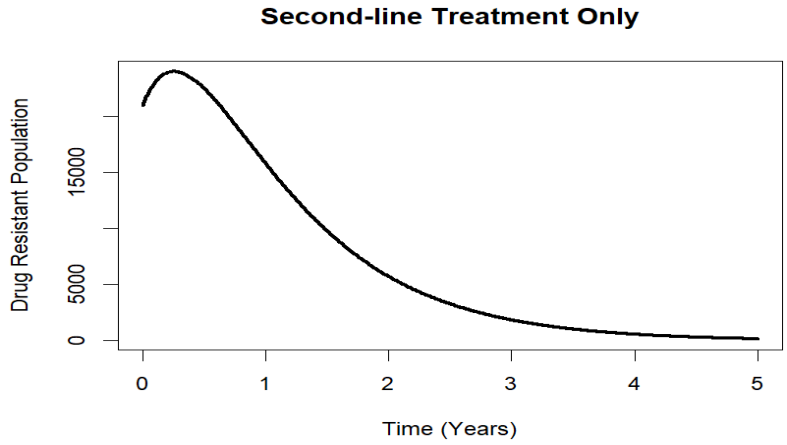


Figure 3: Drug Resistant

Figure 3 presents the dynamics of the drug-resistant tuberculosis population under the implementation of second-line treatment as the sole control strategy. The drug-resistant population increases during the early stage of the simulation, thereafter there was a

sustained decline with the population approaching zero by the fifth year. The initial increase reflects the continued progression of infectious individuals into the drug-resistant class before treatment effects become dominant. The subsequent rapid decline demonstrates the effectiveness of second-line treatment in reducing drug-resistant TB cases through enhanced recovery and reduced transmission. The results indicate that second-line treatment is highly effective in controlling drug-resistant tuberculosis and may contribute significantly to reducing the overall burden of resistant infections when incorporated into comprehensive TB control programs.

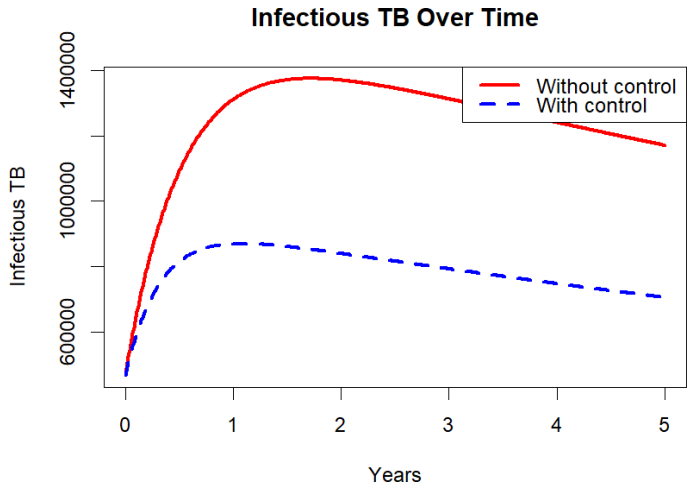


Figure 4: Control of Infectious TB

Figure 4 compares the dynamics of the infectious tuberculosis population in the absence and presence of control interventions. In the absence of control, the infectious population increases rapidly and reaches a peak around the second year before declining slowly by the fifth year. The controlled system shows a lower peak and continued to decline. The results indicate that the control measures significantly suppress TB transmission, lower the epidemic peak, and reduce the long-term infectious burden. Therefore, the implementation of combined control strategies is effective in mitigating the spread of tuberculosis and improving disease outcomes.

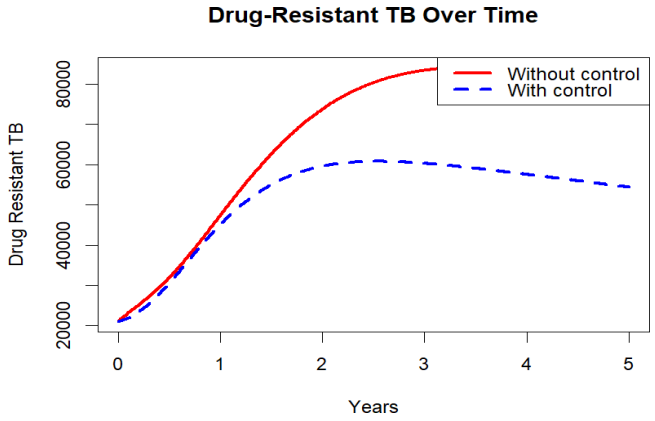


Figure 5: Control of Drug-resistant TB

Figure 5 compares the dynamics of the drug-resistant tuberculosis population in the absence and presence of control measures. In the absence of control, the drug-resistant population increases continuously after five years. This in-dicates the persistent transmission and accumulation of resistant cases. Under the controlled scenario, the drug-resistant population initially increases around the second year before gradually declining by the end of the simulation period. The results demonstrate that the implemented controls substantially reduce the burden of drug-resistant tuberculosis, lower the epidemic peak, and prevent the continued rise observed in the uncontrolled case. Therefore, the control strate-gies contribute significantly to the mitigation of drug-resistant TB transmission.

4. RESULTS AND DISCUSSION

The deterministic mathematical model was analyzed theoretically and numerically to investigate the transmission dynamics of tuberculosis (TB), with particular emphasis on vaccination, first-line treatment, second-line treatment, and the emergence of drug-resistant tuberculosis (DR-TB). The analytical results established the mathematical validity of the model through the existence, unique-ness, positivity, and boundedness of solutions, ensuring that all state variables remain biologically meaningful throughout the simulation period. The local and global stability analyses showed that the endemic equilibrium is stable whenever R_0 ¿ 1, implying that tuberculosis persists in the population unless effective intervention strategies are implemented.

The normalized forward sensitivity analysis of R_0 revealed that the transmission rate (β) and recruitment rate (Λ) possess the highest positive sensitivity indices, indicating that proportional increases in either parameter produce an equal proportional increase in the basic reproduction number. This result high-lights that reducing human-to-human transmission remains the most effective strategy for controlling TB spread. The progression

rate from latent infection to active disease (ϵ), waning immunity (ω), and first-line treatment failure rate (η) also exhibited positive sensitivity indices, suggesting that increases in these parameters enhance disease transmission and persistence. Epidemiologically, this implies that rapid progression from latent infection, declining vaccine-induced immunity, and poor treatment outcomes contribute to sustaining TB transmission and promoting the emergence of drug-resistant strains.

The vaccination rate (ρ), first-line treatment rate (τ_1), second-line treatment rate (τ_2), and recovery rate under first-line treatment (γ_1) produced negative sensitivity indices. These findings indicate that increasing vaccination coverage, improving access to effective treatment, and ensuring successful recovery significantly reduce the basic reproduction number. The sensitivity results therefore emphasize that although vaccination contributes to disease control, treatment-related interventions have a stronger influence on reducing TB transmission within the population.

The study therefore provides a useful mathematical framework for evaluating tuberculosis intervention strategies and offers evidence that strengthening treatment programmes, reducing treatment failure, and expanding access to drug-resistant TB management will play a crucial role in reducing the burden of tuberculosis in Nigeria and other high-burden settings, thereby supporting progress toward the global End TB Strategy.

5. RECOMMENDATIONS

Based on the analytical and numerical findings of this study, it is recommended that tuberculosis (TB) control programmes prioritize interventions that reduce disease transmission while improving treatment outcomes. Since the sensitivity analysis identified the transmission rate as the most influential parameter driving the basic reproduction number, public health authorities should strengthen strategies aimed at minimizing person-to-person transmission, and increased public awareness of TB symptoms and transmission. The simulation results demonstrated that vaccination alone is insufficient to control tuberculosis transmission. Therefore, vaccination programmes should be maintained and expanded as part of a comprehensive TB control strategy rather than being relied upon as a standalone intervention. Since first-line treatment significantly reduced the infectious population in the numerical simulations, healthcare systems should prioritize early initiation of treatment immediately after diagnosis and ensure strict adherence to prescribed treatment regimens.

The study further revealed that treatment failure is a major contributor to the emergence

and persistence of drug-resistant tuberculosis. National TB pro-grammes should implement measures to minimize first-line treatment failure through routine treatment monitoring, timely assessment of patient response, improved laboratory diagnostics, and rapid identification of individuals at risk of developing drug resistance. Reducing treatment failure will not only improve patient outcomes but also substantially decrease the emergence of multidrug-resistant tuberculosis.

Finally, future studies should extend the present model by incorporating additional epidemiological factors such as age structure, HIV/TB co-infection, diabetes, heterogeneous mixing patterns, migration, stochastic effects, and optimal control strategies. Incorporating economic evaluations and cost-effectiveness analyses would also provide policymakers with practical guidance for allocating limited healthcare resources toward the most efficient tuberculosis intervention strategies. Such extensions would improve the predictive capability of the model and further support evidence-based decision-making for tuberculosis control in Nigeria and other high-burden settings.

REFERENCES

Colangeli, R., Jedrey, H., Kim, S., Connell, R., Ma, S., Chippada Venkata, U. D., Chakravorty, S., Gupta, A., Sizemore, E. E., Diem, L., et al. (2018). Bacterial factors that predict relapse after tuberculosis therapy. *New England Journal of Medicine*, 379(9):823–833.

Daradkeh, A. F., Alawyia, B., Ballas, H., Spernovasilis, N., & Alon-Ellenbogen, D. (2025). Strategies for tuberculosis prevention in healthcare settings: A narrative review. *Tropical Medicine and Infectious Disease*, *10*(11), 316.

Dheda, K., Gumbo, T., Maartens, G., Dooley, K. E., Murray, M., Furin, J., Nardell, E. A., Warren, R. M., Esmail, A., Nardell, E., et al. (2019). The lancet respiratory medicine commission: 2019 update: epidemiology, patho-genesis, transmission, diagnosis, and management of multidrug-resistant and incurable tuberculosis. *The Lancet Respiratory Medicine*, 7(9):820–826.

Enagi, A. I., Ibrahim, M. O., & Bako, D. U. (2019). Analytical solution of a mathematical model of tuberculosis with passively immune compartment.

Fenuga, O. J., Yusuff, A. O., and Isah, N. (2024). Analysis of a non linear dynamics model for transmission tuberculosis in nigeria incorporating treatment and vaccination. *Journal of Fundamental Mathematics and Applications (JFMA)*, 7(2):174–186.

Fox, G. J., Redwood, L., Chang, V., & Ho, J. (2021). The effectiveness of individual and environmental infection control measures in reducing the transmission of Mycobacterium tuberculosis: a systematic review. *Clinical Infectious Diseases*, *72*(1), 15-26.

Houben, R. M. and Dodd, P. J. (2016). The global burden of latent tuberculosis infection: a re-estimation using mathematical modelling. *PLoS medicine*, 13(10):e1002152.

Macrotrends (2025). Nigeria birth rate (1950–2025). https://www.macrotre nds.net/global-metrics/countries/nga/nigeria/birth-rate.

Magaji, A., Kwarau, N. L., Babayo, M. K., Mahmud, Z., Jibo, A. A., Liyo, H. I., Maradun, R. S., Aminu, S., Zamo, A. B., AM, Z., et al. (2025). Drug-resistant tuberculosis in northern nigeria: Burden, barriers, and health system challenges. *Science World Journal*, 20(3):1098–1106.

Martinez, L., Seddon, J. A., Horsburgh, C. R., Lange, C., Mandalakas, A. M., Seddon, J., ... &

Mandalakas, A. M. (2024). Effectiveness of preventive treatment among different age groups and Mycobacterium tuberculosis infection status: a systematic review and individual-participant data meta-analysis of contact tracing studies. *The Lancet Respiratory Medicine*, *12*(8), 633-641.

Ntshiqa, T., Jawad, S., Hanifa, Y., Chihota, V., Charalambous, S., Ndlovu, N., Churchyard, G., Fielding, K., and Grant, A. D. (2025). Frequency of tuberculosis symptoms at repeat visits amongst adults attending for hiv care in gauteng province, south africa. *BMC Public Health*, 25(1):3667.

Oguntolu, F. A., Peter, O. J., Oshinubi, K., Ayoola, T. A., Oladapo, A. O., & Ojo, M. M. (2022). Analysis and dynamics of tuberculosis outbreak: A mathematical modelling approach.

Okuonghae, D. and Ikhimwin, B. O. (2016). Dynamics of a mathematical model for tuberculosis with variability in susceptibility and disease progressions due to difference in awareness level. *Frontiers in microbiology*, 6:1530.

Onyedum, C. C., Alobu, I., and Ukwaja, K. N. (2017). Prevalence of drug-resistant tuberculosis in nigeria: A systematic review and meta-analysis. *PloS one*, 12(7):e0180996.

Sarkar, M. and Sarkar, J. (2025). Transmission of mycobacterium tuberculosis.
The Journal of the Association of Physicians of India, 73(9):91–96.

Takarinda, K. C., Harries, A. D., Nyathi, B., Ngwenya, M., Mutasa-Apollo, T., & Sandy, C. (2015). Tuberculosis treatment delays and associated factors within the Zimbabwe national tuberculosis programme. *BMC public health*, *15*(1), 29.

The Cable (2025). Nigeria recorded over 400,000 tb cases in 2024. https: //www.facebook.com/thecableng/posts/nigeria-recorded-over-40000 0-tb-cases-in-2024-the-highest-ever-reported-in-the-c/9674342 92239544/.

Ugwu, C., Aneke, C., Alex-Uzoatu, C., Udu, K., Olaolu, M., Anyigor, C., ... & Wingfield, T. (2026). Assessing the gender responsiveness of tuberculosis interventions: a scoping review (2000–2025). *Systematic Reviews*.

Wikipedia contributors (2026). Demographics of nigeria. https://en.wikiped ia.org/wiki/Demographics_of_Nigeria.

World Health Organization (2023a). Global tuberculosis report 2023. https://www.who.int/publications/i/item/9789240076729.

World Health Organization (2023b). Global tuberculosis report 2023: Drug-resistant tb treatment.

World Health Organization (2024). Global tuberculosis report: 1.3 drug-resistant tb. https://www.who.int/teams/global-programme-on-tub erculosis-and-lung-health/tb-reports/global-tuberculosis-repor t-2024/tb-disease-burden/1-3-drug-resistant-tb.

Zerefe, S. B., & Mekonnen, T. T. (2020). Spread and Control of Multi-drug Resistance Tuberculosis and Drug-sensitive Tuberculosis in Ethiopia: A Mathematical Model Analysis. *American Journal of Applied Mathematics*, *8*(3), 123-144.

Zero-Dose Learning Hub (2023). Nigeria zero-dose landscape.

18-25 YAŞ ARASI ÜNİVERSİTE GENÇLERİNDE SAĞLIK ÖZ YETERLİĞİ

Dr. Öğr. Üyesi Hurigül EKEN
Selçuk University, Faculty of Letters, Department of Sociology,42130, Konya
ORCID ID: 0000-0001-9914-9718

ÖZET

Bu araştırmanın amacı, 18-25 yaş aralığındaki üniversite öğrencilerinin sağlık öz yeterliliği algılarının nasıl şekillendiğini incelemektir. Araştırma nitel araştırma yöntemlerinden durum çalışması desenine göre yürütülmüştür. Araştırmanın çalışma grubunu 18-25 yaş aralığında bulunan ve farklı bölümlerde öğrenim gören 21 üniversite öğrencisi oluşturmaktadır. Veriler yarı yapılandırılmış görüşme formu aracılığıyla toplanmış ve içerik analizi yöntemiyle çözümlenmiştir.

Araştırma sonucunda katılımcıların sağlık kavramını yalnızca fiziksel iyilik hâli olarak değerlendirmedikleri, psikolojik ve sosyal boyutları da kapsayan bütüncül bir anlayış geliştirdikleri belirlenmiştir. Katılımcılar düzenli su tüketimi, dengeli beslenme, fiziksel aktivite ve uyku düzenine dikkat etme gibi davranışları sağlıklarını destekleyen alışkanlıklar olarak ifade etmişlerdir. Bununla birlikte üniversite yaşamının getirdiği akademik yoğunluk, sınav stresi, zaman yetersizliği ve ekonomik koşullar nedeniyle bu alışkanlıkların sürdürülebilirliğinde çeşitli güçlükler yaşandığı görülmüştür.

Araştırmada öğrencilerin büyük çoğunluğunun sağlıklarını koruma ve sürdürme konusunda kendilerini yeterli ya da kısmen yeterli hissettikleri belirlenmiştir. Katılımcılar sağlıkla ilgili sorunlarla karşılaştıklarında çözüm yolları arayabileceklerine, gerekli bilgiye ulaşabileceklerine ve gerektiğinde profesyonel destek alabileceklerine inandıklarını ifade etmişlerdir. Ayrıca sosyal çevrenin, sağlık okuryazarlığının ve stres yönetimi becerilerinin sağlık davranışlarının şekillenmesinde önemli bir rol oynadığı sonucuna ulaşılmıştır.

Araştırma sonucunda üniversite öğrencilerinin sağlık öz yeterliliği algılarının bireysel deneyimler, sosyal çevre, sağlık bilgisi, üniversite yaşamı ve psikolojik etkenlerin etkileşimiyle şekillendiği belirlenmiştir. Bu doğrultuda üniversite öğrencilerine yönelik sağlık okuryazarlığını geliştiren, sağlıklı yaşam alışkanlıklarını destekleyen ve stres yönetimi becerilerini güçlendiren çalışmaların yaygınlaştırılması önerilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Sağlık öz yeterliliği, üniversite öğrencileri, sağlık algısı, sağlık davranışları, sağlık okuryazarlığı, nitel araştırma.

ABSTRACT

The aim of this study is to examine how health self-efficacy perceptions of university students aged between 18 and 25 are shaped. The study was conducted using a qualitative case study

design. The study group consisted of 21 university students aged between 18 and 25 studying in different departments. Data were collected through a semi-structured interview form and analyzed using content analysis.

The findings revealed that participants did not define health solely as physical well-being but adopted a holistic perspective that also included psychological and social dimensions. Participants identified behaviors such as regular water consumption, balanced nutrition, physical activity, and maintaining a regular sleep schedule as health-promoting habits. However, it was found that academic workload, examination stress, lack of time, and economic conditions associated with university life made it difficult to maintain these habits consistently.

The majority of participants reported that they felt competent or partially competent in protecting and maintaining their health. They stated that they believed they could seek solutions when encountering health-related problems, access necessary information, and obtain professional support when needed. Furthermore, social environment, health literacy, and stress management skills were found to play significant roles in shaping health behaviors.

The study concluded that university students' perceptions of health self-efficacy are shaped by the interaction of individual experiences, social environment, health knowledge, university life, and psychological factors. Therefore, it is recommended that programs aimed at improving health literacy, supporting healthy lifestyle habits, and strengthening stress management skills among university students should be expanded.

Keywords: Health self-efficacy, university students, health perception, health behaviors, health literacy, qualitative research.

1. GİRİŞ

Sağlık, bireyin yaşamını sürdürebilmesi, günlük işlevlerini yerine getirebilmesi ve toplumsal yaşama etkin biçimde katılabilmesi açısından temel bir olgudur. Geleneksel yaklaşımlarda sağlık çoğunlukla hastalık ya da sakatlığın bulunmaması durumu olarak ele alınırken, günümüzde sağlık kavramı daha geniş bir çerçevede değerlendirilmektedir. Buna göre sağlık; bireyin yalnızca fiziksel açıdan iyi olmasını değil, aynı zamanda ruhsal ve sosyal yönden de iyilik hâli içinde bulunmasını ifade etmektedir. Modern toplumlarda sağlık anlayışının bu şekilde genişlemesi, bireyin sağlıkla ilgili davranışlarını, yaşam biçimini, sosyal çevresini, ekonomik koşullarını ve psikolojik dayanıklılığını da araştırılması gereken önemli değişkenler hâline getirmiştir.

Sağlığın korunması ve geliştirilmesi yalnızca sağlık kurumlarının sunduğu hizmetlerle sınırlı değildir. Bireyin gündelik yaşam içerisinde aldığı kararlar, sahip olduğu alışkanlıklar ve

sağlığını yönetme biçimi de sağlık düzeyini doğrudan etkilemektedir. Düzenli beslenme, yeterli uyku, fiziksel aktivite, stresle baş etme, zararlı alışkanlıklardan uzak durma ve gerektiğinde sağlık hizmetlerine başvurma gibi davranışlar, bireyin sağlığını koruyabilmesi açısından önemli görülmektedir. Ancak bu davranışların sürdürülebilmesi, yalnızca bireyin bilgi sahibi olmasıyla açıklanamaz. Bireyin bu davranışları gerçekleştirebileceğine, sürdürebileceğine ve karşılaştığı güçlüklerle baş edebileceğine inanması da büyük önem taşımaktadır. Bu noktada sağlık öz yeterliliği kavramı ön plana çıkmaktadır.

Sağlık öz yeterliliği, bireyin kendi sağlığını koruma, geliştirme ve sağlıkla ilgili sorunlarla baş etme konusunda kendisini ne ölçüde yeterli gördüğünü ifade eden önemli bir kavramdır. Bireyin sağlıkla ilgili karar alma süreçlerine katılması, sağlıklı yaşam davranışlarını sürdürebilmesi ve karşılaştığı risklerle başa çıkabilmesi, sahip olduğu öz yeterlilik algısıyla yakından ilişkilidir. Öz yeterlilik algısı yüksek olan bireylerin sağlıklarını koruma konusunda daha aktif davrandıkları, sağlıklı davranışları sürdürmede daha kararlı oldukları ve olumsuz koşullar karşısında daha dirençli bir tutum sergileyebildikleri söylenebilir. Buna karşılık öz yeterlilik algısının düşük olması, bireyin sağlıkla ilgili sorumluluklarını ertelemesine, sağlıklı davranışları sürdürmede zorlanmasına ve riskli sağlık davranışlarına daha açık hâle gelmesine neden olabilmektedir.

Bu araştırmanın konusunu, 18-25 yaş arası üniversite gençlerinde sağlık öz yeterliliğinin incelenmesi oluşturmaktadır. Üniversite gençliği, bireyin ergenlikten yetişkinliğe geçiş sürecini yaşadığı, aileden görece bağımsızlaştığı, kendi yaşamına ilişkin kararları daha fazla kendisinin almaya başladığı ve gündelik yaşam sorumluluklarını üstlendiği önemli bir dönemdir. Bu yaş aralığı, beliren yetişkinlik dönemi olarak da değerlendirilmektedir. Beliren yetişkinlik döneminde bireyler kimliklerini, yaşam tarzlarını, sosyal ilişkilerini ve gelecek beklentilerini yeniden şekillendirmektedir. Bu süreç, sağlık algısı ve sağlık davranışları açısından da önemli dönüşümleri beraberinde getirmektedir.

Üniversite yaşamı, genç bireyler için hem özgürlük hem de sorumluluk alanı oluşturmaktadır. Öğrenciler bu dönemde beslenme düzenlerini, uyku alışkanlıklarını, fiziksel aktivite düzeylerini, sosyal ilişkilerini ve sağlıkla ilgili kararlarını büyük ölçüde kendileri belirlemeye başlamaktadır. Ancak üniversite yaşamı her zaman sağlıklı davranışların gelişmesini destekleyen bir süreç olarak ilerlememektedir. Akademik yoğunluk, sınav stresi, gelecek kaygısı, ekonomik problemler, düzensiz yaşam koşulları, aileden uzak yaşama, sosyal çevre baskısı ve dijital bilgi kaynaklarının etkisi, üniversite gençlerinin sağlık davranışlarını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Bu nedenle üniversite öğrencileri arasında düzensiz beslenme, uyku

problemleri, fiziksel hareketsizlik, stres yönetiminde güçlük, sigara ve alkol kullanımı gibi riskli sağlık davranışları görülebilmektedir.

Bu araştırmanın temel problemi, 18-25 yaş arası üniversite gençlerinin sağlık öz yeterlilik algılarının nasıl şekillendiği ve bu algının sağlık davranışlarına nasıl yansıdığıdır. Üniversite öğrencilerinin sağlıklı olmayı nasıl tanımladıkları, kendi sağlıklarını koruma konusunda kendilerini ne ölçüde yeterli gördükleri, sağlıkla ilgili kararları hangi faktörlerin etkisi altında aldıkları ve karşılaştıkları sağlık sorunlarıyla nasıl baş ettikleri araştırmanın temel ilgi alanını oluşturmaktadır. Bunun yanında öğrencilerin sağlık davranışlarını etkileyen bireysel, sosyal, kültürel ve çevresel faktörlerin neler olduğu da bu çalışmanın problem alanı içinde yer almaktadır.

Literatürde üniversite öğrencilerinin sağlık davranışları, sağlık algısı, sağlık okuryazarlığı ve riskli sağlık davranışları üzerine çeşitli çalışmalar bulunmaktadır. Ancak sağlık öz yeterliliğinin öğrencilerin kendi deneyimleri ve anlam dünyaları üzerinden derinlemesine incelenmesi, özellikle nitel araştırma yaklaşımı açısından önem taşımaktadır. Nicel çalışmalar bireylerin sağlık davranışlarına ilişkin genel eğilimleri ortaya koyabilse de öğrencilerin bu davranışları nasıl anlamlandırdıklarını, hangi durumlarda kendilerini yeterli ya da yetersiz hissettiklerini ve sağlıkla ilgili karar alma süreçlerini nasıl deneyimlediklerini açıklamada sınırlı kalabilmektedir. Bu nedenle bu araştırma, üniversite gençlerinin sağlık öz yeterliliği algılarını nitel yöntemle ele alarak onların deneyimlerini daha derinlikli biçimde ortaya koymayı hedeflemektedir.

Araştırmanın amacı, 18-25 yaş arası üniversite gençlerinin sağlık öz yeterliliği algılarının nasıl oluştuğunu ve bu algının hangi bireysel, sosyal ve çevresel faktörlerden etkilendiğini anlamaktır. Bu doğrultuda öğrencilerin sağlıklı olma kavramına yükledikleri anlamlar, sağlıklarını koruma konusunda kendilerini yeterli görüp görmedikleri, sağlıklı yaşam alışkanlıklarını sürdürmede hangi alanlarda zorlandıkları, üniversite yaşamının sağlık davranışları üzerindeki etkileri, sosyal çevrenin ve sağlık okuryazarlığının sağlık kararlarındaki rolü incelenmektedir. Ayrıca öğrencilerin stres, akademik yoğunluk ve gelecek kaygısı gibi durumlarla baş etme biçimleri de sağlık öz yeterliliği bağlamında değerlendirilmektedir.

Bu çalışma, sağlık öz yeterliliğini yalnızca bireysel bir psikolojik özellik olarak değil, aynı zamanda sosyal ve kültürel koşullar içinde şekillenen çok boyutlu bir olgu olarak ele almaktadır. Bu nedenle araştırmada Bandura'nın Sosyal Bilişsel Kuramı, Bourdieu'nün habitus ve sermaye kavramları ile Giddens'ın yapılaşma kuramı kuramsal çerçeveye katkı sağlayan temel yaklaşımlar olarak değerlendirilmektedir. Bandura'nın öz yeterlilik yaklaşımı, bireyin

kendi davranışlarını gerçekleştirebilme kapasitesine ilişkin inancını açıklamada önemli bir temel sunmaktadır. Bourdieu'nün habitus, kültürel sermaye ve sosyal sermaye kavramları, sağlık davranışlarının bireyin yetiştiği çevre, sahip olduğu bilgi kaynakları ve sosyal ilişkiler ağı tarafından nasıl şekillendiğini anlamaya yardımcı olmaktadır. Giddens'ın yapılaşma kuramı ise bireyin toplumsal koşullar içinde tamamen pasif olmadığını, kendi yaşamını değerlendiren ve kararlarıyla yaşam pratiklerini yeniden düzenleyen aktif bir özne olduğunu göstermesi bakımından çalışmaya katkı sağlamaktadır.

Bu araştırmanın önemi, üniversite gençlerinin sağlık davranışlarını yalnızca biyolojik ya da bireysel tercihler üzerinden değil, daha geniş bir sosyolojik çerçevede ele almasından kaynaklanmaktadır. Üniversite öğrencilerinin sağlık öz yeterliliğini anlamak, gençlerin sağlıklı yaşam davranışlarını geliştirmeye yönelik eğitim programları, koruyucu sağlık hizmetleri ve gençlik politikaları açısından da önem taşımaktadır. Çünkü bu dönemde kazanılan sağlık alışkanlıkları, bireyin yalnızca mevcut sağlık durumunu değil, yetişkinlik dönemindeki yaşam kalitesini de etkileyebilmektedir. Üniversite yıllarında sağlıklı davranışların desteklenmesi, bireyin ileriki yaşamında daha bilinçli sağlık kararları almasına katkı sağlayabilir.

Araştırmanın bir diğer önemli yönü, öğrencilerin kendi ifadelerine ve deneyimlerine odaklanmasıdır. Nitel araştırma yöntemi sayesinde öğrencilerin sağlık davranışlarını nasıl anlamlandırdıkları, sağlıkla ilgili hangi konularda kendilerini yeterli ya da yetersiz hissettikleri ve sosyal çevrelerinin bu süreçte nasıl bir rol oynadığı daha ayrıntılı biçimde ortaya konulabilecektir. Bu yönüyle çalışma, üniversite gençlerinin sağlık öz yeterliliğini bireysel, sosyal ve çevresel boyutlarıyla değerlendirmeyi amaçlamakta ve sağlık sosyolojisi alanındaki çalışmalara katkı sunmayı hedeflemektedir.

Sonuç olarak bu araştırma, 18-25 yaş arası üniversite gençlerinin sağlık öz yeterliliği algılarını, sağlık davranışlarını ve bu davranışları etkileyen toplumsal koşulları anlamaya yönelik bir çalışmadır. Araştırma, gençlerin sağlıklı yaşam davranışlarını nasıl geliştirdiklerini, hangi koşullarda zorlandıklarını ve sağlıkla ilgili sorumluluklarını nasıl deneyimlediklerini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Böylece üniversite gençlerinin sağlık öz yeterliliği algılarının

bireysel, sosyal, kültürel ve çevresel faktörlerle birlikte değerlendirilmesi mümkün olacak; elde edilen bulguların hem akademik literatüre hem de gençlerin sağlığını geliştirmeye yönelik uygulamalara katkı sağlaması beklenmektedir.

Bu bağlamda araştırmanın temel sorusu şu şekilde belirlenmiştir:

18-25 yaş arası üniversite gençlerinin sağlık öz yeterliliği algıları nasıl şekillenmektedir?

Araştırmanın Alt Soruları

1. Üniversite öğrencileri sağlıklı olmayı nasıl tanımlamakta ve sağlık öz yeterliliğini nasıl algılamaktadır?
2. Üniversite öğrencilerinin sağlık öz yeterliliği ve sağlık davranışlarını etkileyen bireysel, sosyal ve çevresel faktörler nelerdir?
3. Üniversite yaşamı, öğrencilerin sağlık davranışları ve riskli sağlık davranışlarına yönelik tutumlarını nasıl etkilemektedir?
4. Öğrencilerin sağlıkla ilgili bilgi düzeyi (sağlık okuryazarlığı) ve sosyal çevresi, sağlık davranışlarının şekillenmesinde nasıl bir rol oynamaktadır?

Üniversite öğrencileri sağlıkla ilgili sorunlarla baş etme ve stres yönetimi süreçlerinde hangi stratejileri kullanmaktadır

1.1. Üniversite Gençliğinde Sağlık Öz Yeterliği

Sağlık öz yeterliliği, bireyin kendi sağlığını koruma, geliştirme ve hastalıklarla baş etme konusunda gerekli davranışları gerçekleştirebileceğine ilişkin inancını ifade etmektedir. Bu kavramın temeli, Albert Bandura tarafından geliştirilen Öz Yeterlilik Kuramı'na dayanmaktadır. Bandura'ya (1997) göre öz yeterlilik, bireyin belirli bir davranışı başarılı bir şekilde yerine getirme kapasitesine ilişkin algısıdır ve bu algı, bireyin motivasyonunu, çaba düzeyini ve karşılaştığı zorluklar karşısındaki ısrarını doğrudan etkilemektedir. Sağlık bağlamında ele alındığında ise bu kavram, bireyin sağlıkla ilgili karar alma süreçlerine katılımını, tedaviye uyumunu ve sağlıklı yaşam davranışlarını sürdürme kapasitesini kapsamaktadır (Resnick, 2002).

Bu çerçevede sağlık öz yeterliliği, beliren yetişkinlik döneminde bulunan ve hayatında ilk kez kendi yaşam alanının sorumluluğunu üstlenen üniversite gençliğinin sağlık sürecindeki konumunu belirleyen temel değişkenlerden biri olarak değerlendirilebilir. Özellikle üniversite yıllarında aileden bağımsız bir yaşam düzenine geçilmesi, bireyin kendi sağlık yönetimine ve gündelik rutinlerine aktif katılımını daha da önemli hale getirmektedir. Kendi sağlığı üzerinde kontrol ve sorumluluk sahibi olduğunu düşünen gençlerin; beslenme düzenini koruma, uyku

saatlerini optimize etme, düzenli fiziksel aktivite yapma ve akademik stresle baş etme konusunda daha başarılı oldukları görülmektedir. Buna karşılık düşük sağlık öz yeterliliğine sahip üniversite öğrencilerinde, bağımsız yaşamın getirdiği zorluklar ve yoğun akademik baskı karşısında pasif bir tutum gelişebilmekte; bu durum ise düzensiz yaşam alışkanlıkları, yetersiz öz bakım ve riskli sağlık davranışlarına yatkınlık gibi hem fiziksel sağlık hem de psikolojik iyi oluş üzerinde olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir.

Sağlık öz yeterliliği aynı zamanda bireyin bağımsızlık ve özerklik algısı ile de yakından ilişkilidir. Özellikle 18-25 yaş arası beliren yetişkinlerde bireysel özerklik duygusunun sağlıklı bir şekilde inşa edilmesi, bireyin kendilik saygısını ve yaşam doyumunu doğrudan etkileyen bir unsurdur. Bu noktada gencin kendi ihtiyaçlarını tek başına karşılayabilme, bütçesini ve zamanını yönetebilme ve sağlıkla ilgili kararlarını rasyonel şekilde yönlendirebilme kapasitesi, onun genel yaşam kalitesini belirleyen önemli bir faktör haline gelmektedir. Devlet yurtlarında veya öğrenci apartlarında yaşayan bireylerde beslenme ve barınma gibi hizmetlerin daha kurumsal/sınırlandırılmış bir yapıda sunulması, zaman zaman gencin bu süreçteki aktif ve özgür seçim rolünü sınırlandırabilirken; kendi evinde veya ailesinden uzakta arkadaşlarıyla yaşayan bireylerde ise bu rol ve sorumluluk çok daha belirgin hale gelebilmektedir. Ancak tek başına veya serbest bir ortamda yaşamak, bireyin sağlık öz yeterliliğinin otomatik olarak yüksek olduğu anlamına gelmemekte; aksine sosyal destek, bilgiye erişim düzeyi, ekonomik olanaklar ve psikolojik dayanıklılık gibi faktörlere bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Bununla birlikte sağlık öz yeterliliği, yalnızca bireysel bir özellik olarak değil, aynı zamanda sosyal çevre ile etkileşim içinde şekillenen bir yapı olarak ele alınmalıdır. Akran gruplarının etkisi, arkadaş ortamlarındaki alışkanlıklar, kampüs yaşamının sunduğu imkanlar ve bireyin sosyal ilişkileri, bu algının güçlenmesinde veya zayıflamasında önemli rol oynamaktadır. Özellikle destekleyici, bilinçli ve sağlıklı yaşam pratiklerini teşvik eden bir sosyal çevreye ya da arkadaş grubuna sahip olan üniversite öğrencilerinin, sağlığı koruyucu davranışları sürdürme konusunda daha motive oldukları ve bu durumun onların hem akademik başarılarına hem de genel yaşam doyumlarına olumlu katkı sağladığı söylenebilir.

1.2. Sağlık Algısı

Sağlık algısı; bireylerin sağlıklarına ilişkin öznel duygu, düşünce, ön yargı, endişe ve beklentilerinin toplamı olarak da tanımlanabilirken, bireyin kendi sağlığına ilişkin olumlu inançlar taşıması “iyi sağlık algısı”; olumsuz inançlar taşıması durumu ise “kötü sağlık algısı” olarak tanımlanmaktadır (Yılmazel, Çetinkaya & Naçar, 2013). Sağlık algısı bireyden bireye,

toplumdan topluma, ülkeden ülkeye değişebildiği gibi zaman içersinde gelişen teknoloji, değişen sosyokültürel yapılar, bireysel ve toplumsal sosyal, psikolojik ve fiziksel çevrenin de etkisiyle değişmektedir. Öyle ki bireyin yaşadığı kırsal ya da kentsel çevre bile kişilerin sağlık algısını etkileyebilmektedir (Açıkgöz,1996).

Özellikle üniversite gençliği açısından sağlık algısı oldukça önemli bir kavramdır. Üniversite dönemi; bireyin aileden ayrıldığı, yaşam alışkanlıklarını yeniden şekillendirdiği, bağımsız karar alma becerilerinin geliştiği ve sağlık davranışlarının kalıcı hâle geldiği kritik bir gelişim dönemidir. Bu süreçte öğrencilerin beslenme alışkanlıkları, uyku düzenleri, fiziksel aktivite düzeyleri, stres yönetimi ve psikolojik dayanıklılıkları sağlık algılarını doğrudan etkileyebilmektedir. Yapılan çalışmalar, üniversite öğrencilerinin sağlık algılarının yalnızca fiziksel sağlık durumlarıyla değil; stres, kaygı, sosyal destek ve yaşam doyumu gibi psikososyal değişkenlerle de ilişkili olduğunu göstermektedir. Özellikle sağlık algısı olumlu olan bireylerin sağlıklı yaşam biçimi davranışlarını daha fazla benimsediği, sağlık sorumluluğu alma konusunda daha bilinçli davrandığı belirtilmektedir (Yavuz Akçay, Tanşu & Ökcü, 2024).

Üniversite öğrencilerinde sağlık algısının; bölüm, cinsiyet, ekonomik durum ve yaşanılan çevre gibi değişkenlere göre farklılık gösterebildiği ifade edilmektedir. Sağlık alanında eğitim gören öğrencilerin sağlık konusunda farkındalıklarının daha yüksek olması nedeniyle sağlık algılarının da daha olumlu olabildiği belirtilmektedir. Bunun yanında yoğun akademik baskı, gelecek kaygısı ve sosyal uyum sorunları öğrencilerin sağlık algısını olumsuz yönde etkileyebilmektedir. Özellikle sağlık anksiyetesi ve algılanan stres düzeyi arttıkça bireylerin kendi sağlık durumlarını daha olumsuz değerlendirdikleri görülmektedir.

Bandura'nın Sosyal Bilişsel Kuramı kapsamında değerlendirildiğinde ise bireyin sağlık öz yeterlik inancı, sağlık algısının oluşumunda önemli bir belirleyici olarak görülmektedir. Sağlık öz yeterliği yüksek bireyler; sağlıklarını koruma, hastalıkları önleme ve sağlıklı yaşam davranışlarını sürdürme konusunda kendilerini daha yeterli hissetmektedir. Bu durum bireyin kendi sağlığına ilişkin olumlu değerlendirmeler geliştirmesine katkı sağlamaktadır. Dolayısıyla üniversite gençlerinde sağlık algısının incelenmesi, yalnızca fiziksel sağlık açısından değil psikolojik iyi oluş, yaşam kalitesi ve sağlıklı yaşam davranışlarının anlaşılması açısından da önem taşımaktadır (Kara, 2021).

1.3. Sağlık Okuryazarlığı

Sağlık okuryazarlığı, bireylerin sağlıkla ilgili bilgilere erişebilmesi, bu bilgileri anlayabilmesi, değerlendirebilmesi ve günlük yaşamda sağlıkla ilgili kararlar alırken kullanabilmesi olarak tanımlanmaktadır. Bu kavram yalnızca temel okuma-yazma becerilerini değil, aynı zamanda bireyin sağlık sistemini anlama ve sağlık hizmetlerinden etkin şekilde yararlanma kapasitesini de kapsamaktadır. Sağlık okuryazarlığının artması, bireylerin sağlık davranışlarını daha bilinçli şekilde yönetmelerine ve sağlık sonuçlarını iyileştirmelerine katkı sağlamaktadır (Taş & Akış, 2016).

Sağlık okuryazarlığı çok boyutlu bir yapı olup; bilgiye erişim, bilgiyi anlama, değerlendirme ve uygulama süreçlerini içermektedir. Türkiye'de yapılan çalışmalar, sağlık okuryazarlığının bireylerin sağlık hizmeti kullanımı ve koruyucu sağlık davranışları üzerinde doğrudan etkili olduğunu göstermektedir. Özellikle düşük sağlık okuryazarlığına sahip bireylerin sağlık sistemini daha zor anladığı, sağlık hizmetlerinden daha az yararlandığı ve riskli sağlık davranışlarına daha yatkın olduğu belirtilmektedir (Kılınç İşleyen & Kartal, 2019).

Ayrıca sağlık okuryazarlığı, bireyin sağlıkla ilgili karar alma sürecinde güçlenmesini sağlayan önemli bir belirleyicidir. Türkiye'de yapılan derleme çalışmalar, sağlık okuryazarlığı düzeyi yüksek bireylerin kronik hastalıkları önleme, sağlıklı yaşam biçimi geliştirme ve sağlık hizmetlerinden etkin yararlanma konusunda daha başarılı olduklarını ortaya koymaktadır (Baran Deniz & Piyal, 2019). Bu nedenle sağlık okuryazarlığı, yalnızca bireysel bir beceri değil aynı zamanda toplum sağlığını etkileyen temel bir halk sağlığı unsuru olarak kabul edilmektedir.

1.4. Sağlık Davranışları

Sağlık davranışları, bireyin sağlığını korumak, geliştirmek veya mevcut sağlık durumunu sürdürmek amacıyla sergilediği tüm davranışları ifade etmektedir. Bu davranışlar; beslenme alışkanlıkları, fiziksel aktivite düzeyi, uyku düzeni, stres yönetimi, hijyen uygulamaları ve zararlı alışkanlıklardan kaçınma gibi çok boyutlu bir yapıya sahiptir. Sağlık davranışları yalnızca biyolojik ihtiyaçlara değil, aynı zamanda bireyin psikolojik, sosyal ve çevresel faktörlerine bağlı olarak şekillenmektedir (Glanz, Rimer & Viswanath, 2015).

Üniversite öğrencilerinde sağlık davranışları, yaşam tarzı değişiklikleri ve artan bireysel özerklik nedeniyle önemli bir dönüşüm sürecinden geçmektedir. Bu dönemde bireyler aileden bağımsız hale gelerek kendi beslenme, uyku ve yaşam düzenlerini belirlemekte; ancak akademik yoğunluk, sosyal çevre ve stres gibi faktörler sağlıksız davranışların ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. Özellikle düzensiz beslenme, fiziksel aktivite yetersizliği ve uyku bozuklukları üniversite gençleri arasında yaygın olarak görülmektedir (Arslantaş & Ergin, 2017).

Sağlık davranışlarının oluşumunda bireyin sağlıkla ilgili bilgi düzeyi ve öz yeterlilik inancı önemli bir belirleyici olarak kabul edilmektedir. Bandura'nın sosyal bilişsel kuramına göre birey, kendi davranışlarını kontrol edebileceğine inandığı ölçüde sağlıklı davranışları sürdürme eğilimindedir. Bu nedenle sağlık öz yeterliliği yüksek bireylerin daha sağlıklı yaşam biçimlerini benimsediği, düşük öz yeterliliğe sahip bireylerin ise riskli sağlık davranışlarına daha yatkın olduğu ifade edilmektedir (Bandura, 1997).

1.5. Sağlık Öz Yeterliliğini Etkileyen Bireysel ve Çevresel Faktörler

Sağlık öz yeterliliği, yalnızca bireysel bir özellik olmayıp çeşitli bireysel ve çevresel faktörlerin etkileşimi ile şekillenmektedir.

Bireysel faktörler arasında yaş, cinsiyet, eğitim düzeyi, sağlık okuryazarlığı, geçmiş sağlık deneyimleri ve bireyin motivasyon düzeyi önemli bir yer tutmaktadır. Özellikle önceki başarı deneyimleri, bireyin sağlıkla ilgili davranışları gerçekleştirme konusundaki inancını güçlendirmekte, başarısız deneyimler ise öz yeterlilik algısını zayıflatabilmektedir. Ayrıca stres düzeyi, psikolojik dayanıklılık ve sağlık bilgisine sahip olma durumu da bireyin sağlık öz yeterliliğini doğrudan etkileyen unsurlar arasında yer almaktadır (Bandura, 1997).

Çevresel faktörler ise bireyin içinde bulunduğu sosyal çevre, aile yapısı, arkadaş grupları, üniversite ortamı ve sağlık hizmetlerine erişim gibi unsurları kapsamaktadır. Sosyal destek düzeyi yüksek olan bireylerde sağlık öz yeterliliğinin daha güçlü olduğu, buna karşılık destek sistemlerinin zayıf olduğu ortamlarda öz yeterlilik algısının daha düşük olabileceği belirtilmektedir. Ayrıca sağlıkla ilgili bilgiye erişim kolaylığı, üniversitelerde sunulan sağlık hizmetlerinin niteliği ve çevresel teşvik edici faktörler de bireyin sağlık davranışlarını ve öz yeterlilik algısını önemli ölçüde etkilemektedir (Schwarzer, 1992).

1.6. Beliren Yetişkinlik Dönemi ve Sağlık Algısının Dönüşümü

Beliren yetişkinlik dönemi, 18-25 yaş aralığını kapsayan ve ergenlikten yetişkinliğe geçiş sürecini temsil eden gelişimsel bir evre olarak tanımlanmaktadır. Arnett (2000), bu dönemi bireyin kimlik arayışını sürdürdüğü, yaşamla ilgili önemli kararları almaya başladığı ve tam anlamıyla yetişkin rollerine henüz yerleşmediği bir geçiş süreci olarak açıklamaktadır. Üniversite yılları bu dönemin en yoğun yaşandığı dönemlerden biri olup, bireyin hem akademik hem de sosyal yaşamında önemli değişimlerin gerçekleştiği bir süreçtir.

Bu dönemde bireylerin aileden bağımsızlaşması, yaşam tarzı seçimlerini doğrudan kendilerinin belirlemesine neden olmaktadır. Bu durum sağlık davranışları açısından önemli bir dönüşüm alanı yaratmaktadır. Sağlık algısının ve gündelik yaşam pratiklerinin yeniden şekillenmesine zemin hazırlayan bu süreç, akademik stres, ekonomik zorluklar ve sosyal uyum problemleri gibi faktörler nedeniyle çeşitli sağlık risklerini de beraberinde getirebilmektedir.

Üniversite gençlerinde sağlık algısı çoğunlukla semptom temelli bir anlayış üzerinden şekillenmektedir. Birçok öğrenci, herhangi bir hastalık belirtisi olmadığı sürece kendisini sağlıklı olarak değerlendirme eğilimindedir. Bu durum, koruyucu sağlık davranışlarının geri planda kalmasına ve sağlık kontrollerinin ihmal edilmesine yol açabilmektedir. Türkiye'de yapılan araştırmalar da üniversite öğrencilerinin sağlık algılarının genellikle orta düzeyde

olduğunu ve sağlığı korumaya yönelik davranışların yeterince gelişmediğini ortaya koymaktadır (Yıldırım & İlhan, 2010).

Sağlık algısının bu şekilde sınırlı bir çerçevede kalması, bireylerin sağlıkla ilgili riskleri yeterince değerlendirememelerine neden olmaktadır. Özellikle düzensiz beslenme, fiziksel aktivite yetersizliği, uyku bozuklukları ve stres yönetiminde yetersizlik gibi davranışlar üniversite öğrencileri arasında yaygın olarak görülmektedir. Bu durum, sağlık davranışlarının yalnızca bilgiye değil, aynı zamanda bireyin inanç sistemlerine ve psikolojik yeterlilik algısına bağlı olduğunu göstermektedir.

Bu noktada sağlık öz yeterliliği, beliren yetişkinlik dönemindeki sağlık davranışlarını açıklamada önemli bir değişken olarak öne çıkmaktadır. Bandura'nın Sosyal Bilişsel Kuramı'na göre bireyin davranışları yalnızca çevresel faktörler tarafından değil, aynı zamanda kendi yeterlilik inancı tarafından da şekillenmektedir (Bandura, 1997). Bu nedenle öz yeterlilik düzeyi, gençlerin sağlıkla ilgili karar alma, sağlıklı yaşam davranışlarını sürdürme ve karşılaştıkları sağlık sorunlarıyla baş etme süreçlerinde belirleyici bir rol oynamaktadır. Öz yeterlilik inancı yüksek olan bireylerin daha sağlıklı yaşam biçimlerini benimsediği, öz yeterlilik düzeyi düşük olan bireylerin ise riskli sağlık davranışlarına daha yatkın olduğu belirtilmektedir (Schwarzer & Luszczynska, 2007).

Beliren yetişkinlik döneminde bireylerin sağlık algıları da önemli değişimler göstermektedir. Çocukluk ve ergenlik dönemlerinde sağlıkla ilgili kararlar çoğunlukla aile tarafından yönlendirilirken, bu dönemde bireyler sağlıklarını değerlendirme ve sağlıkla ilgili kararlar alma konusunda daha aktif hale gelmektedir. Ancak birçok genç yetişkin sağlığı yalnızca hastalık veya belirti bulunmaması şeklinde değerlendirmekte, koruyucu sağlık davranışlarının önemini yeterince fark etmeyebilmektedir.

Üniversite yaşamı, bireylerin farklı sosyal çevrelerle karşılaşmasına ve yeni deneyimler kazanmasına olanak sağlamaktadır. Bu süreçte öğrencilerin sağlıkla ilgili bilgi kaynakları çeşitlenmekte ve sağlık konusundaki farkındalıkları gelişebilmektedir. Bununla birlikte dijital medya ve sosyal medya aracılığıyla edinilen bilgilerin doğruluğu her zaman güvenilir olmayabilmektedir. Bu nedenle sağlık algısının oluşumunda sağlık okuryazarlığı önemli bir rol üstlenmektedir.

Sonuç olarak beliren yetişkinlik dönemi, bireylerin sağlık algılarının yeniden şekillendiği ve sağlıkla ilgili tutumlarının belirginleştiği önemli bir gelişim dönemidir. Bu dönemde edinilen

sağlık davranışları ve sağlık anlayışı, bireyin yetişkinlik yaşamındaki sağlık pratiklerini etkileyebilecek niteliktedir.

1.7. Bandura'nın Sosyal Bilişsel Kuramı Bağlamında Sağlık Öz Yeterliliği

Bandura'nın sosyal bilişsel kuramı, bireyin davranışlarının yalnızca çevresel etkenlerle açıklanamayacağını; düşünce, inanç ve kişisel değerlendirme süreçlerinin de davranışlar üzerinde etkili olduğunu savunmaktadır. Kurama göre birey, çevresinden pasif biçimde etkilenen bir varlık değil; çevresini yorumlayan, davranışlarını düzenleyen ve karar alma süreçlerinde aktif rol oynayan bir özne konumundadır. Bu yaklaşımda birey, davranış ve çevre arasında karşılıklı bir etkileşim bulunmaktadır. Bandura bu durumu "karşılıklı belirleyicilik" ilkesi ile açıklamaktadır (Bandura, 1986). Özellikle üniversite gençliği döneminde bireyin yaşam koşullarının değişmesi, sağlık davranışlarının şekillenmesinde bu karşılıklı etkileşimi daha görünür hale getirmektedir.

Sosyal bilişsel kuramın temel kavramlarından biri öz yeterlilik inancıdır. Öz yeterlilik, bireyin belirli bir davranışı başarılı biçimde gerçekleştirebileceğine ilişkin inancı olarak tanımlanmaktadır. Bireyin bir davranışı yapabilecek kapasiteye sahip olması kadar, bunu başarabileceğine inanması da önem taşımaktadır. Bandura'ya göre öz yeterlilik düzeyi yüksek bireyler karşılaştıkları güçlüklerle daha etkili mücadele etmekte, davranışlarını sürdürme konusunda daha kararlı davranmaktadır (Bandura, 1997). Öz yeterlilik düzeyi düşük bireylerde ise kaçınma davranışları, motivasyon düşüklüğü ve davranışı sürdürmede yetersizlik daha sık görülmektedir.

Sağlık öz yeterliliği ise bireyin sağlığını koruma, geliştirme ve sağlıkla ilgili davranışları sürdürebilme kapasitesine yönelik inancını ifade etmektedir. Sağlık öz yeterliliği yüksek bireylerin düzenli egzersiz yapma, sağlıklı beslenme, stres yönetimini sağlama ve zararlı alışkanlıklardan uzak durma konusunda daha başarılı oldukları belirtilmektedir. Üniversite öğrencileri açısından değerlendirildiğinde sağlık öz yeterliliği; bireyin yoğun akademik tempo, stres, düzensiz yaşam biçimi ve sosyal baskılar karşısında sağlıklı yaşam davranışlarını sürdürebilmesi açısından önemli bir psikolojik güç kaynağıdır.

Üniversite yılları, bireyin aileden bağımsızlaşmaya başladığı ve yaşam sorumluluklarını daha fazla üstlendiği bir dönemdir. Bu süreçte öğrenciler beslenme düzeni, uyku alışkanlıkları, fiziksel aktivite ve sağlık hizmetlerinden yararlanma gibi konularda kendi kararlarını vermektedir. Ancak bu özgürlük beraberinde çeşitli riskleri de getirebilmektedir. Özellikle

düzensiz yaşam tarzı, stres, ekonomik sorunlar ve sosyal uyum problemleri üniversite gençlerinde sağlıksız davranışların gelişmesine neden olabilmektedir. Bu noktada sağlık öz yeterliliği, bireyin sağlıklı davranışları sürdürmesini sağlayan koruyucu bir unsur olarak öne çıkmaktadır.

Bandura'ya göre öz yeterlilik dört temel kaynaktan beslenmektedir: doğrudan başarı deneyimleri, dolaylı yaşantılar (model alma), sözel ikna ve fizyolojik-duygusal durumlar. Üniversite ortamında öğrencilerin akran gözlemleri, sosyal çevreleri ve önceki deneyimleri sağlık davranışlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Örneğin düzenli spor yapan veya sağlıklı yaşam alışkanlıklarına sahip arkadaş çevresi, bireyin kendi sağlık davranışlarını olumlu yönde etkileyebilmektedir. Bunun yanında bireyin geçmişte sağlıklı yaşam konusunda yaşadığı olumlu deneyimler, sağlık öz yeterliliğinin gelişmesine katkı sağlamaktadır.

Türkiye'de üniversite öğrencileri üzerine yapılan çalışmalar da öz yeterlilik ile olumlu sağlık davranışları arasında anlamlı ilişkiler olduğunu göstermektedir. Üniversite öğrencilerinde öz yeterlilik düzeyi arttıkça stresle başa çıkma becerilerinin güçlendiği, problem çözme becerilerinin geliştiği ve sağlıklı yaşam davranışlarının daha fazla benimsendiği belirtilmektedir. Özellikle beliren yetişkinlik döneminde bireyin öz yeterlilik algısının güçlenmesi, sağlık davranışlarının kalıcı hale gelmesi açısından önemli görülmektedir (Ateş & Sağar, 2022).

Ayrıca üniversite öğrencilerinin sağlık davranışlarının yalnızca bilgi düzeyiyle açıklanamayacağı, psikolojik dayanıklılık, bilişsel esneklik ve öz yeterlilik gibi bireysel özelliklerin de önemli olduğu ifade edilmektedir. Yapılan araştırmalar, öz yeterlilik düzeyi yüksek bireylerin stres karşısında daha dirençli olduklarını ve sağlık davranışlarını sürdürme konusunda daha başarılı olduklarını göstermektedir. Özellikle sağlıkla ilgili karar alma süreçlerinde bireyin kendine güven duyması, davranış değişikliğinin sürdürülebilirliği açısından kritik bir rol oynamaktadır.

Tüm bu bilgiler ışığında Bandura'nın sosyal bilişsel kuramı, sağlık öz yeterliliğini açıklamada güçlü bir teorik temel sunmaktadır. Üniversite gençlerinde sağlık davranışlarının geliştirilmesi yalnızca sağlık bilgisi verilmesiyle değil, aynı zamanda bireyin öz yeterlilik inancının güçlendirilmesiyle mümkün olmaktadır. Bu nedenle sağlık öz yeterliliği, üniversite öğrencilerinin sağlık davranışlarını anlamada ve açıklamada temel psikolojik değişkenlerden biri olarak değerlendirilmektedir.

1.8.Pierre Bourdieu'nun Habitus ve Sermaye Kavramları Bağlamında Sağlık Öz Yeterliliği

Sağlık öz yeterliliğinin oluşumunu yalnızca bireysel psikolojik süreçler üzerinden açıklamak yeterli değildir. Bireyin sağlıkla ilgili tutumları, davranışları ve karar alma süreçleri aynı zamanda içinde bulunduğu toplumsal çevre, yaşam deneyimleri ve sahip olduğu kaynaklardan etkilenmektedir. Bu noktada Pierre Bourdieu'nün geliştirdiği habitus ve sermaye kavramları, sağlık öz yeterliliğinin toplumsal boyutlarını anlamada önemli bir kuramsal çerçeve sunmaktadır. Bourdieu, bireylerin davranışlarını yalnızca bilinçli tercihlerinin değil, içinde bulundukları toplumsal koşulların ve geçmiş deneyimlerinin de şekillendirdiğini savunmaktadır (Bourdieu, 1986).

Bourdieu'nun sosyolojisinin merkezinde yer alan habitus kavramı, bireylerin yaşamları boyunca edindikleri deneyimler sonucunda geliştirdikleri düşünme, algılama ve davranma eğilimlerini ifade etmektedir (Bourdieu, 1986). Habitus, bireyin içinde yetiştiği aile yapısı, eğitim süreci, ekonomik koşulları ve sosyal çevresi aracılığıyla şekillenmekte ve zaman içerisinde kalıcı davranış örüntülerine dönüşmektedir. Bu nedenle bireylerin sağlıkla ilgili davranışları da yalnızca anlık tercihlerden oluşmamakta, geçmiş yaşam deneyimlerinin etkisi altında gelişmektedir.

Üniversite öğrencilerinin sağlık davranışları incelendiğinde habitusun etkileri açık biçimde görülebilmektedir. Çocukluk döneminden itibaren düzenli beslenme alışkanlığı kazanan, fiziksel aktivitenin teşvik edildiği bir aile ortamında yetişen veya sağlık konusunda bilinçli bireylerle etkileşim içerisinde bulunan öğrencilerin sağlık davranışlarını sürdürme konusunda daha avantajlı oldukları söylenebilir. Buna karşılık sağlıklı yaşam alışkanlıklarının yeterince desteklenmediği çevrelerde yetişen bireylerin sağlık davranışları farklı biçimlerde şekillenebilmektedir. Bu durum, sağlık öz yeterliliğinin yalnızca bireysel motivasyonla değil, bireyin geçmiş deneyimleriyle de ilişkili olduğunu göstermektedir.

Bourdieu'ye göre bireyler toplumsal yaşam içerisinde farklı sermaye türlerine sahiptir ve bu sermayeler yaşam pratiklerinin şekillenmesinde belirleyici rol oynamaktadır (Bourdieu, 1986). Sağlık öz yeterliliğinin anlaşılmasında özellikle kültürel sermaye ve sosyal sermaye kavramları önem taşımaktadır. Kültürel sermaye, bireyin sahip olduğu bilgi, eğitim, beceri ve kültürel yeterlilikleri ifade etmektedir. Eğitim düzeyi, bilgiye erişim imkânı ve öğrenme süreçleri bireyin kültürel sermayesini oluşturan temel unsurlar arasında yer almaktadır.

Sağlık alanında değerlendirildiğinde kültürel sermaye, bireyin sağlıkla ilgili bilgilere ulaşabilmesi, bu bilgileri değerlendirebilmesi ve gündelik yaşamında kullanabilmesi ile ilişkilidir. Özellikle sağlık okuryazarlığı düzeyi yüksek bireylerin sağlıkla ilgili riskleri daha iyi değerlendirebildikleri, koruyucu sağlık davranışlarını daha fazla benimsedikleri ve sağlık hizmetlerinden daha etkin yararlanabildikleri belirtilmektedir. Üniversite öğrencileri açısından düşünüldüğünde, sağlık konusunda bilgi sahibi olmak ve doğru bilgi kaynaklarına ulaşabilmek sağlık öz yeterliliğinin gelişmesini destekleyen önemli faktörler arasında yer almaktadır. Bu nedenle kültürel sermayesi yüksek bireylerin sağlık davranışlarını sürdürme konusunda kendilerini daha yeterli hissetmeleri beklenmektedir.

Bourdieu'nun kuramında önemli yer tutan bir diğer kavram ise sosyal sermayedir. Sosyal sermaye, bireyin sahip olduğu sosyal ilişkiler ağı ve bu ilişkiler sayesinde ulaşabildiği kaynaklar olarak tanımlanmaktadır (Bourdieu, 1986). Aile üyeleri, arkadaş çevresi, akran grupları ve diğer sosyal ilişkiler bireyin sosyal sermayesinin temel bileşenlerini oluşturmaktadır. Sosyal sermaye bireylere yalnızca maddi destek sağlamakla kalmamakta, aynı zamanda bilgi paylaşımı, duygusal destek ve rehberlik gibi çeşitli avantajlar da sunmaktadır.

Üniversite yaşamı içerisinde sosyal sermayenin sağlık davranışları üzerindeki etkisi daha belirgin hâle gelmektedir. Özellikle ailelerinden uzakta yaşayan öğrenciler için arkadaş çevresi ve sosyal ilişkiler önemli bir destek mekanizması oluşturmaktadır. Sağlıklı yaşam alışkanlıklarını teşvik eden bir sosyal çevreye sahip olan öğrencilerin düzenli fiziksel aktivite yapma, dengeli beslenme ve sağlık sorunları karşısında profesyonel destek alma konusunda daha istekli davrandıkları söylenebilir. Buna karşılık riskli sağlık davranışlarının yaygın olduğu sosyal çevrelerde bulunan bireylerin bu davranışlardan etkilenme olasılıkları da artabilmektedir. Bu durum sosyal sermayenin sağlık öz yeterliliği üzerindeki etkisini göstermektedir.

Bourdieu'nun yaklaşımında bireylerin davranışları yalnızca sahip oldukları sermaye türleriyle değil, aynı zamanda içinde bulundukları alanlarla da ilişkilidir. Alan, belirli kurallara ve ilişkilere sahip toplumsal etkileşim ortamlarını ifade etmektedir (Bourdieu, 1986). Üniversite de öğrencilerin farklı sosyal ve kültürel sermayelerle karşılaştıkları, yeni ilişkiler kurdukları ve yaşam tarzlarını yeniden şekillendirdikleri önemli bir toplumsal alan olarak değerlendirilebilir. Üniversite yaşamı boyunca öğrenciler yeni sosyal çevrelerle tanışmakta, farklı sağlık anlayışlarıyla karşılaşmakta ve sağlık davranışlarını yeniden düzenleyebilmektedir.

Bourdieu'nun yaşam tarzı yaklaşımı da sağlık davranışlarının anlaşılmasında önemli katkılar sunmaktadır. Bireylerin beslenme alışkanlıkları, fiziksel aktivite düzeyleri, boş zaman değerlendirme biçimleri ve sağlık hizmetlerinden yararlanma davranışları sahip oldukları sermaye türleriyle yakından ilişkilidir. Sağlıklı yaşam biçimi davranışları yalnızca bireysel tercihler değil, aynı zamanda toplumsal konumun ve sahip olunan kaynakların bir yansıması olarak ortaya çıkmaktadır (Bourdieu, 1986). Bu nedenle sağlık öz yeterliliği, bireyin yalnızca kendi kapasitesine duyduğu güven olarak değil, aynı zamanda toplumsal koşullar tarafından şekillenen bir olgu olarak değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak Bourdieu'nun habitus, kültürel sermaye, sosyal sermaye ve alan kavramları, üniversite öğrencilerinin sağlık öz yeterliliklerini anlamada önemli bir açıklama gücü sunmaktadır. Sağlık davranışları yalnızca bireysel psikolojik özelliklerin sonucu değil; aile yapısı, eğitim geçmişi, sosyal ilişkiler, kültürel bilgi birikimi ve ekonomik olanaklar gibi çeşitli toplumsal faktörlerin etkisi altında şekillenmektedir. Bu nedenle üniversite gençlerinde sağlık öz yeterliliğinin incelenmesinde bireysel süreçlerin yanında toplumsal ve kültürel etkenlerin de dikkate alınması gerekmektedir.

1.9.Anthony Giddens'ın Yapılaşma Kuramı Bağlamında Sağlık Pratikleri ve Bireysel Özerklik

Sağlık davranışlarının ve sağlıkla ilgili karar alma süreçlerinin anlaşılmasında bireyin içinde bulunduğu toplumsal yapı kadar bireysel eylemlerinin de dikkate alınması gerekmektedir. Anthony Giddens tarafından geliştirilen Yapılaşma Kuramı, birey ve toplum arasındaki ilişkiyi açıklamada önemli bir kuramsal çerçeve sunmaktadır. Giddens'a göre bireyler toplumsal yapıların pasif ürünleri değildir; aksine toplumsal yapıları yeniden üreten ve dönüştüren aktif aktörlerdir. Bu nedenle toplumsal yaşam, bireysel eylemler ile toplumsal yapıların karşılıklı etkileşimi sonucunda şekillenmektedir (Giddens, 1984).

Giddens'ın kuramının temelinde yer alan yapılaşma yaklaşımı, birey ile toplumsal yapı arasındaki karşılıklı ilişkiyi açıklamaktadır. Giddens'a göre toplumsal yapılar bireylerin davranışlarını sınırlandırdığı kadar, onlara belirli hareket alanları da sunmaktadır. Bireyler ise bu yapılar içerisinde çeşitli kararlar almakta ve davranışlarını şekillendirmektedir. Bu durum sağlık davranışları açısından değerlendirildiğinde, bireylerin sağlıkla ilgili tercihleri yalnızca toplumsal koşulların sonucu olarak değil, aynı zamanda bilinçli seçimlerin ürünü olarak da görülebilmektedir (Giddens, 1984).

Yapılaşma kuramına göre bireylerin davranışları ne tamamen toplumsal yapılar tarafından belirlenmekte ne de tamamen bireysel tercihlerden oluşmaktadır. Bireyler mevcut toplumsal koşullar içerisinde hareket etmekte, ancak aynı zamanda bu koşulları yeniden üretmekte ve dönüştürmektedirler. Bu nedenle sağlık davranışları da bireysel kararlar ile toplumsal yapıların karşılıklı etkileşiminin bir ürünü olarak değerlendirilmektedir (Giddens, 1984).

Giddens'ın modern toplumlara ilişkin analizlerinde öne çıkan kavramlardan biri refleksiftedir. Refleksifte, bireylerin yaşamlarını sürekli olarak değerlendirmeleri, gözden geçirmeleri ve yeniden düzenlemeleri anlamına gelmektedir (Giddens, 1991). Modern toplumlarda bireyler geleneksel toplumlara kıyasla daha fazla seçenekle karşı karşıya kalmakta ve yaşamlarına ilişkin kararları daha bilinçli şekilde vermektedir. Sağlık davranışları da bu süreçten etkilenmektedir. Üniversite öğrencileri beslenme biçimlerini, egzersiz alışkanlıklarını, uyku düzenlerini ve sağlıkla ilgili diğer davranışlarını sürekli olarak değerlendirmekte ve yeniden şekillendirmektedir. Bu nedenle sağlık öz yeterliliği yalnızca bireyin mevcut kapasitesiyle değil, aynı zamanda kendisini değerlendirme ve geliştirme becerisiyle de ilişkilidir.

Giddens'ın yaşam tarzı kavramı da sağlık davranışlarının anlaşılmasında önemli bir yere sahiptir. Giddens'a göre modern toplumlarda yaşam tarzı, bireyin kimliğini oluşturma sürecinin önemli bir parçasıdır. İnsanlar günlük yaşamlarında yaptıkları seçimler aracılığıyla kimliklerini inşa etmekte ve toplumsal dünyadaki yerlerini belirlemektedirler (Giddens, 1991). Beslenme alışkanlıkları, spor faaliyetlerine katılım, boş zaman değerlendirme biçimleri ve sağlıkla ilgili uygulamalar yaşam tarzının önemli unsurları arasında yer almaktadır. Üniversite öğrencilerinin sağlık davranışları da büyük ölçüde benimsedikleri yaşam tarzı çerçevesinde şekillenmektedir.

Üniversite yaşamında öğrencilerin sağlıkla ilgili kararları çoğu zaman akademik yoğunluk, ekonomik sınırlılıklar ve sosyal ilişkiler gibi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir. Ancak Giddens'ın yapılaşma kuramına göre bireyler bu koşullar karşısında tamamen pasif değildir. Sahip oldukları bilgi ve deneyimler doğrultusunda yaşamlarını değerlendirmekte, alternatifler geliştirmekte ve sağlık davranışlarını yeniden düzenlemektedirler. Bu nedenle sağlık davranışları, bireysel kararlar ile toplumsal yapıların karşılıklı etkileşiminin bir sonucu olarak ortaya çıkmaktadır (Giddens, 1984).

Sonuç olarak Anthony Giddens'ın Yapılaşma Kuramı, üniversite öğrencilerinin sağlık davranışlarını anlamada önemli bir kuramsal perspektif sunmaktadır. Sağlık davranışları bireysel tercihler ile toplumsal koşulların karşılıklı etkileşimi sonucunda şekillenmektedir. Üniversite öğrencileri sağlıkla ilgili kararlarını alırken ekonomik koşullar, sosyal çevre ve

kültürel normlardan etkilenmekte; ancak aynı zamanda kendi yaşamlarını yönlendiren aktif bireyler olarak hareket etmektedirler. Bu nedenle sağlık öz yeterliliğinin anlaşılmasında bireysel özerklik, yaşam tarzı tercihleri ve refleksif karar alma süreçlerinin dikkate alınması gerekmektedir.

1.10.Üniversite Yaşamı, Özerklik ve Sağlık Sorumluluğu

Üniversite yaşamı, bireyin çocukluk ve ergenlik dönemindeki bağımlı yapısından uzaklaşarak daha bağımsız bir yaşam sürdürmeye başladığı önemli bir gelişim sürecini ifade etmektedir. Özellikle 18-25 yaş aralığını kapsayan beliren yetişkinlik döneminde bireyler, yaşamlarına ilişkin kararları daha fazla kendileri almaya başlamaktadır. Bu süreç yalnızca akademik ve sosyal alanlarda değil, sağlık davranışları açısından da önemli değişimleri beraberinde getirmektedir. Üniversite öğrencileri bu dönemde beslenme düzeni, uyku alışkanlıkları, fiziksel aktivite düzeyi ve sağlık hizmetlerinden yararlanma gibi konularda daha fazla bireysel sorumluluk üstlenmektedir. Bu süreç, Bandura'nın öz yeterlilik yaklaşımında bireyin kendi davranışları üzerindeki kontrol algısı ile; Bourdieu'nün habitus ve sermaye kavramlarında ifade edilen toplumsal kaynaklar ve yaşam deneyimleriyle; Giddens'ın yapılaşma kuramında vurgulanan bireysel özerklik ve refleksif karar alma süreçleriyle yakından ilişkilidir.

Üniversite ortamı bireylere özgürlük alanı sunarken aynı zamanda sağlık davranışları açısından çeşitli riskleri de beraberinde getirebilmektedir. Aile kontrolünün azalmasıyla birlikte öğrenciler günlük yaşam düzenlerini kendi tercihlerine göre oluşturmaktadır. Ancak düzensiz ders programları, yoğun akademik tempo, ekonomik problemler ve sosyal uyum süreci öğrencilerin sağlıklı yaşam alışkanlıklarını sürdürmesini zorlaştırabilmektedir. Özellikle fast-food tüketimi, uyku düzensizliği, hareketsiz yaşam ve stres gibi durumlar üniversite öğrencilerinde sık görülen sağlık problemleri arasında yer almaktadır (Vural & Bakır, 2015).

Özerklik kavramı, bireyin kendi yaşamı üzerinde karar verme ve davranışlarını bağımsız biçimde düzenleyebilme kapasitesi olarak tanımlanmaktadır. Üniversite yıllarında bireyin özerklik düzeyinin artması, sağlıkla ilgili kararların da bireysel sorumluluk çerçevesinde şekillenmesine neden olmaktadır. Bu süreçte öğrenciler sağlıklarını koruma konusunda kendi davranışlarının sonuçlarıyla doğrudan karşı karşıya kalmaktadır. Dolayısıyla bireyin sağlık sorumluluğu geliştirmesi, sağlıklı yaşam biçimlerinin sürdürülebilirliği açısından büyük önem taşımaktadır.

Sağlık sorumluluğu, bireyin kendi sağlığını koruma ve geliştirme konusunda bilinçli davranışlar sergilemesi olarak ifade edilmektedir. Sağlık sorumluluğu gelişmiş bireyler düzenli sağlık kontrolleri yaptırmakta, sağlıklı beslenmeye dikkat etmekte ve fiziksel aktiviteyi yaşamlarının bir parçası haline getirmektedir. Üniversite öğrencilerinde sağlık sorumluluğu düzeyinin artması, sağlık öz yeterliliğinin gelişimi ile yakından ilişkilidir. Öz yeterlilik düzeyi yüksek bireylerin sağlık davranışlarını sürdürme konusunda daha başarılı oldukları belirtilmektedir (Bandura, 1997).

Türkiye'de üniversite öğrencileri üzerinde yapılan araştırmalar, öğrencilerin sağlık sorumluluğu düzeylerinin genellikle orta seviyede olduğunu göstermektedir. Özellikle stres yönetimi, düzenli egzersiz ve sağlıklı beslenme konularında öğrencilerin çeşitli güçlükler yaşadığı belirtilmektedir (İlhan, Batmaz & Akhan, 2010). Bunun yanında sosyal destek mekanizmalarının güçlü olması ve bireyin öz yeterlilik algısının yüksek olması, sağlık sorumluluğunun gelişmesine olumlu katkı sağlamaktadır.

Üniversite yaşamında sağlık sorumluluğunun gelişmesi yalnızca bireysel farkındalıkla sınırlı değildir. Üniversitelerin sunduğu sosyal, psikolojik ve sağlık destek hizmetleri de öğrencilerin sağlık davranışlarını etkileyebilmektedir. Sağlık bilincinin artırılmasına yönelik eğitim programları, spor olanakları ve psikolojik danışmanlık hizmetleri öğrencilerin daha sağlıklı yaşam biçimleri geliştirmelerine katkı sağlayabilmektedir.

Nihayetinde üniversite yaşamı, bireyin özerklik kazandığı ve sağlık sorumluluğunu daha fazla üstlendiği kritik bir dönemdir. Bu süreçte sağlık öz yeterliliği, bireyin sağlıklı yaşam davranışlarını sürdürebilmesinde temel psikolojik değişkenlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Üniversite öğrencilerinin sağlık sorumluluğu geliştirmeleri, yalnızca fiziksel sağlık açısından değil, psikolojik ve sosyal iyilik halleri açısından da önemli görülmektedir.

1.11.Üniversite Gençlerinde Sağlıkla İlgili Risk Davranışları

Risk, sonuçların olumsuz olma olasılığının ve bu olumsuzluğun büyüklüğünü içeren bir kavramdır. Tüm alanlarda riskin ortak noktasını gerçeklik ve olasılık arasındaki fark oluşturmaktadır. Canlıların bir olay karşısında bir zarara ya da bir kayba uğrama ihtimalinin kavramsal karşılığıdır (Yıldız, 2011: 7). Riskli sağlık davranışları ise bireyin fiziksel, ruhsal ve sosyal sağlığını olumsuz etkileyebilecek davranışları kapsamaktadır. Bu davranışlar genellikle sigara ve alkol kullanımı, madde kullanımı, sağlıksız beslenme, yetersiz fiziksel aktivite, düzensiz uyku ve riskli cinsel davranışlar gibi çeşitli alanlarda ortaya çıkmaktadır. Üniversite

döneminde bireylerin aileden uzaklaşması, yeni bir sosyal çevreye girmesi ve yaşam tarzı değişiklikleri yaşaması bu davranışların görülme sıklığını artırabilmektedir (Özpulat & Erdem, 2019).

Bu bağlamda riskli sağlık davranışlarının yalnızca bireysel tercihlerden kaynaklanmadığı, aynı zamanda gelişimsel dönem özellikleri ve sosyal çevre ile de yakından ilişkili olduğu söylenebilir. Özellikle beliren yetişkinlik dönemi olarak tanımlanan üniversite yıllarında bireyler kimlik gelişimi sürecinde farklı davranış örüntülerini deneyimlemekte ve bu süreçte sağlık davranışlarına yönelik kontrol mekanizmaları zayıflayabilmektedir. Bu durum, riskli davranışların daha kolay benimsenmesine zemin hazırlayabilmektedir.

Yapılan araştırmalar, üniversite gençliğinde özellikle fiziksel inaktivite ve sağlıksız beslenme alışkanlıklarının yaygın olduğunu, buna ek olarak sigara ve alkol kullanımının da önemli bir risk faktörü oluşturduğunu göstermektedir. Bu davranışların uzun vadede kronik hastalık riskini artırdığı ve yaşam kalitesini düşürdüğü ifade edilmektedir (Aykut ve ark., 2025). Bu bağlamda üniversite döneminin, sağlıklı yaşam alışkanlıklarının kazandırılması açısından kritik bir dönem olduğu söylenebilir.

Genel olarak değerlendirildiğinde üniversite gençlerinde sağlıkla ilgili risk davranışları, bireysel, sosyal ve çevresel birçok faktörün etkileşimi ile ortaya çıkan karmaşık bir yapıya sahiptir. Bu nedenle bu davranışların azaltılması için hem bireysel farkındalık hem de üniversite düzeyinde koruyucu sağlık programlarının geliştirilmesi önem taşımaktadır.

2. ARAŞTIRMANIN METODOLOJİSİ

2.1. Araştırma Modeli

Bu araştırmada nitel araştırma desenlerinden fenomenoloji (olgubilim) modeli kullanılmıştır. Fenomenoloji, bireylerin belirli bir olguya ilişkin deneyimlerini, algılarını ve bu deneyimlere yükledikleri anlamları ortaya çıkarmayı amaçlayan bir araştırma desenidir. Araştırmanın temel konusu olan sağlık öz yeterliliği de bireyin öznel yaşantıları, düşünceleri ve deneyimleriyle ilişkili bir kavram olduğu için fenomenolojik yaklaşımın araştırmaya uygun olduğu düşünülmektedir.

Fenomenoloji modeli sayesinde üniversite öğrencilerinin sağlık öz yeterliliğine ilişkin deneyimleri, sağlık davranışlarına yönelik algıları ve sağlıkla ilgili karar alma süreçleri ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Araştırmada katılımcıların bireysel deneyimleri merkeze alınacak ve sağlık öz yeterliliğinin gündelik yaşam pratikleri içerisindeki yansımaları anlaşılmaya çalışılmıştır.

2.3. Katılımcılar (Evren ve Örneklem)

Araştırmanın evrenini Türkiye'de öğrenim görmekte olan 18–25 yaş arası üniversite öğrencileri oluşturmaktadır. Araştırmanın örneklemi ise amaçlı örnekleme yöntemlerinden ölçüt örnekleme tekniği kullanılarak seçilecek üniversite öğrencilerinden oluşacaktır.

Katılımcıların araştırmaya dahil edilmesinde belirlenen temel ölçütler; 18–25 yaş aralığında olmak, bir üniversitede aktif öğrenci statüsünde bulunmak, araştırmaya gönüllü olarak katılım göstermeyi kabul etmek ve ses kaydı alınmasına onay vermek şeklindedir.

Araştırmada, farklı bölüm, cinsiyet, yaşam koşulları ve sosyoekonomik düzeylerden öğrencilerin yer almasına özen gösterilerek veri çeşitliliğinin sağlanması hedeflenmektedir. Bu sayede sağlık öz yeterliliğinin farklı yaşam deneyimleri içerisindeki görünümleri daha kapsamlı ve bütüncül bir biçimde değerlendirilebilecektir.

Nitel araştırmalarda temel amaç genelleme yapmak değil, bireylerin deneyimlerini derinlemesine anlamaktır. Bu doğrultuda örneklem büyüklüğü, veri doygunluğu ilkesi esas alınarak belirlenecektir. Görüşmeler sonucunda yeni tema ve bilgilerin tekrar etmeye başlaması durumunda veri toplama süreci sonlandırılacaktır.

2.4. Veri Toplama Teknikleri

Araştırmada veri toplama tekniği olarak yarı yapılandırılmış derinlemesine mülakat yöntemi kullanılacaktır. Yarı yapılandırılmış mülakat tekniği, araştırmacıya belirli soru çerçeveleri sunarken aynı zamanda görüşme sırasında yeni sorular geliştirme ve katılımcının deneyimlerini ayrıntılı biçimde açıklamasına olanak tanımaktadır.

Görüşmeler yüz yüze gerçekleştirilecek ve katılımcıların onayı doğrultusunda ses kaydı alınacaktır. Ses kayıtları araştırmacı tarafından yazılı metne dönüştürülecek ve analiz sürecinde kullanılacaktır. Görüşmelerin yaklaşık 30-60 dakika sürmesi planlanmaktadır.

Mülakat soruları hazırlanırken araştırmanın amacı, kuramsal çerçevesi ve literatürde yer alan çalışmalar dikkate alınacaktır. Sorular öğrencilerin sağlık algıları, sağlık davranışları, sağlık sorumluluğu, stres yönetimi, günlük yaşam alışkanlıkları ve sağlık öz yeterliliği deneyimlerini ortaya çıkarmaya yönelik hazırlanacaktır.

Araştırmada etik ilkelere uygun hareket edilecek; katılımcılara araştırmanın amacı hakkında bilgi verilecek, kişisel bilgilerin gizli tutulacağı belirtilecek ve elde edilen verilerin yalnızca bilimsel amaçlarla kullanılacağı ifade edilecektir.

2.5. Veri Analizi

Araştırmada elde edilen veriler nitel veri analiz yöntemlerinden içerik analizi tekniği kullanılarak analiz edilecektir. İçerik analizi, bireylerin ifade ettiği görüşlerin sistematik biçimde incelenmesini, benzer ifadelerin belirli temalar altında toplanmasını ve anlamlı kategoriler oluşturulmasını amaçlamaktadır.

Görüşmeler tamamlandıktan sonra ses kayıtları yazılı metne dönüştürülecek ve araştırmacı tarafından ayrıntılı biçimde okunacaktır. Daha sonra katılımcı ifadeleri kodlanacak, benzer kodlar bir araya getirilerek temalar oluşturulacaktır. Analiz sürecinde öğrencilerin sağlık öz yeterliliğine ilişkin algıları, deneyimleri ve sağlık davranışlarını etkileyen faktörler yorumlanacaktır.

Araştırmada elde edilen bulgular doğrudan katılımcı ifadeleriyle desteklenecek ve yorumlanacaktır. Böylece katılımcıların deneyimlerinin daha gerçekçi ve derinlikli biçimde aktarılması sağlanacaktır.

Veri analiz sürecinde araştırmanın geçerlilik ve güvenilirliğini artırmak amacıyla araştırmacı tarafsızlığına dikkat edilecek, kodlama süreci sistematik biçimde yürütülecek ve elde edilen bulgular kuramsal çerçeve doğrultusunda değerlendirilecektir. Ayrıca araştırma sürecinde etik kurallara uygun hareket edilerek katılımcı gizliliği korunacaktır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

Tablo 1. Tema ve Kod

Günlük Yaşam Alışkanlıkları ve Sağlık Davranışları	**Sağlık Öz Yeterliliği**	**Sosyal Çevre ve Sağlık Okuryazarlığı**	**Stres Yönetimi ve Baş Etme Süreçleri**	**Üniversite Yaşamı ve Riskli Sağlık Davranışlar ı**	**Sağlık Algısı ve Sağlıklı Olma Tanımı**
Düzenli su tüketimi	Kendini yeterli hissetme	Arkadaş desteği	Kaygı	Düzensiz beslenme	Fiziksel iyilik hali
Dengeli beslenme	Kısmen yeterli hissetme	Aile desteği	Yorgunluk	Fast-food tüketimi	Ruhsal iyilik hali
Düzenli uyku	Sağlık sorumluluğu alma	Sosyal çevrenin olumlu etkisi	Dikkat dağınıklığı	Yetersiz uyku	Sosyal iyilik hali
Fiziksel aktivite	Sağlık bilgisini uygulayabilm e	Sosyal çevrenin olumsuz etkisi	Gerginlik	Hareketsiz yaşam	Bütüncül sağlık anlayışı
Düzenli yürüyüş	Sağlık sorunlarını çözebilme inancı	Uzman görüşlerine başvurma	Uyku problemler i	Aşırı kafein tüketimi	Yaşam kalitesi
Spor yapma	Profesyonel destek alma	Güvenilir kaynak kullanımı	Yürüyüş yapma	Sigara kullanımı	Psikolojik denge
Kişisel hijyen	Sağlık konusunda bilinçli davranma	İnternetten bilgi edinme	Müzik dinleme	Alkol kullanımı	Sosyal uyum
Sağlıklı yaşam alışkanlıkların ı sürdürme çabası	Geçmiş deneyimlerde n öğrenme	Sağlık bilgisini doğrulama	Sosyal destek alma	Sabahlama alışkanlığı	Sağlıklı yaşam alışkanlıkları
Uyku düzeninde zorlanma	Sağlık farkındalığı geliştirme	Sağlık profesyonellerin e güvenme	Hobilerle rahatlama	Teknoloji bağımlılığı	Hasta olmamanın ötesinde sağlık
Düzenli egzersiz yapamama		Bilgi kirliliği	Yalnız kalma ihtiyacı	Zaman yetersizliği	Kendini sağlıklı görme

				Akademik yoğunluk	Kısmen sağlıklı görme
				Sınav stresi	Sağlık farkındalığını n artması
				Gelecek kaygısı	Üniversiteyle değişen sağlık algısı
				Ekonomik nedenler	Sağlığı yeniden değerlendirme

3.1. Günlük Yaşam Alışkanlıkları ve Sağlık Davranışları

Katılımcıların günlük yaşam alışkanlıkları ve sağlık davranışlarına ilişkin görüşleri incelendiğinde, sağlıklarını korumak ve sürdürmek amacıyla çeşitli davranışlar sergiledikleri görülmektedir. Katılımcılar tarafından en sık ifade edilen sağlık davranışları; düzenli su tüketimi, dengeli beslenme, yeterli uyku, yürüyüş yapma ve fiziksel aktivitelere katılma olmuştur. Bununla birlikte üniversite yaşamının getirdiği yoğun ders programları, sınav dönemleri, zaman yönetimi problemleri ve değişen yaşam düzeni nedeniyle bu alışkanlıkların her zaman sürdürülemediği belirlenmiştir.

Katılımcılar özellikle sağlıklı beslenme, düzenli uyku ve egzersiz yapma konularında zaman zaman zorluk yaşadıklarını ifade etmişlerdir. Üniversite yaşamının bireylere daha fazla sorumluluk yüklemesi ve günlük rutinleri değiştirmesi, sağlık davranışlarının sürdürülmesini güçleştiren faktörler arasında yer almaktadır. Bunun yanında bazı katılımcılar, sağlıklarını korumaya yönelik bilinçli davranışlar geliştirdiklerini ve bu davranışları düzenli olarak uygulamaya çalıştıklarını belirtmişlerdir.

Örnek katılımcı ifadelerine bakmak gerekirse:

"...Düzenli su içmeye, dengeli beslenmeye ve yeterli uyumaya dikkat ediyorum." (K1, 21, Kadın, Müzik Öğretmenliği)

"...Genellikle sağlığımı desteklemek adına düzenli yürüyüşler yapıyorum diyebilirim. Aynı zamanda uyku düzenime de dikkat ediyorum." (K13, 23, Kadın, Sosyoloji)

"...Haftada 2-3 kez spor ve yürüyüş yapıyorum. Bunları uygulayabilmek bana iyi geliyor." (K14, 24, Kadın, Anestezi)

"...Kesinlikle uyku düzeni ve beslenme konusunda zorlanıyorum. Sınav dönemlerinde ikisi de tamamen bozulabiliyor." (K4, 20, Kadın, İngiliz Dili ve Edebiyatı)

"...Üniversite yaşamı zaman yönetimini zorlaştırdığı için bazen düzensiz beslenmeme ve uyku düzenimin bozulmasına neden oluyor." (K1, 21, Kadın, Müzik Öğretmenliği)

Katılımcı ifadeleri genel olarak değerlendirildiğinde, üniversite öğrencilerinin sağlıklarını korumaya yönelik olumlu davranışlara sahip oldukları ancak akademik ve sosyal yaşamın getirdiği yoğunluk nedeniyle bu davranışları sürdürmekte zaman zaman güçlük yaşadıkları görülmektedir. Özellikle uyku düzeni, sağlıklı beslenme ve düzenli egzersiz yapma konuları öğrencilerin en fazla zorlandıkları alanlar olarak öne çıkmaktadır.

3.2. Sağlık Öz Yeterliliği

Katılımcıların sağlık öz yeterliliğine ilişkin görüşleri incelendiğinde, büyük çoğunluğunun sağlıklarını koruma ve sürdürme konusunda kendilerini yeterli veya kısmen yeterli gördükleri belirlenmiştir. Katılımcılar sağlıkla ilgili konularda bilinçli davranmaya çalıştıklarını, sağlık sorunlarıyla karşılaştıklarında çözüm yolları aradıklarını ve gerektiğinde uzman desteğine başvurduklarını ifade etmişlerdir. Bununla birlikte bazı katılımcılar, sağlık konusunda bilgi sahibi olmalarına rağmen bu bilgileri günlük yaşamlarına aktarmakta zorlandıklarını belirtmişlerdir.

Örnek katılımcı ifadelerine bakmak gerekirse:

"...Sağlığımı koruma konusunda kendimi genel olarak yeterli hissediyorum ancak zaman zaman uygulamada eksiklerim olabiliyor." (K5)

"...Orta derecede yeterli hissediyorum." (K14, 24, Kadın, Anestezi)

"...Sağlıkla ilgili bir problem yaşadığımda çözüm bulabileceğime inanıyorum çünkü gerekli kaynaklara ulaşabileceğimi düşünüyorum." (K11)

"...Doktorlara veya sağlık kuruluşlarına başvurabileceğim için sorunların üstesinden gelebileceğime inanıyorum." (K14, 24, Kadın, Anestezi)

Katılımcıların ifadeleri genel olarak değerlendirildiğinde sağlık öz yeterliliğinin bireysel farkındalık, bilgi düzeyi ve sağlık hizmetlerine erişim ile yakından ilişkili olduğu görülmektedir.

3.3. Sosyal Çevre ve Sağlık Okuryazarlığı

Katılımcılar sağlık davranışlarının şekillenmesinde aile, arkadaş çevresi ve sağlık alanındaki bilgi kaynaklarının önemli bir rol oynadığını ifade etmişlerdir. Özellikle aileden edinilen alışkanlıkların ve arkadaş çevresinin davranışlar üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Katılımcılar sağlıkla ilgili bilgi edinirken uzman görüşlerine, sağlık çalışanlarına ve güvenilir internet kaynaklarına başvurduklarını belirtmişlerdir.

Bazı katılımcılar sosyal çevrenin sağlıklı yaşam alışkanlıklarını desteklediğini ifade ederken, bazıları ise çevrenin olumsuz davranışları teşvik edebildiğini dile getirmiştir.

Örnek katılımcı ifadelerine bakmak gerekirse:

"...Sağlıkla ilgili konularda genellikle uzman görüşlerini dikkate alıyorum." (K7)

"...İnternetten araştırma yapıyorum ancak her bilgiye güvenmiyorum." (K12)

"...Arkadaş çevrem bazen sağlıklı alışkanlıklar kazanmamı destekliyor." (K9)

"...Doktor yakınlarımdan veya hastanelerden bilgi alabiliyorum." (K14, 24, Kadın, Anestezi)

Katılımcı ifadeleri doğrultusunda sağlık okuryazarlığının yalnızca bilgiye ulaşmayı değil, aynı zamanda elde edilen bilgiyi değerlendirme ve doğrulama becerisini de içerdiği görülmektedir.

3.4. Stres Yönetimi ve Baş Etme Süreçleri

Katılımcılar stresli ve zorlayıcı dönemlerde fiziksel ve psikolojik açıdan çeşitli etkiler yaşadıklarını ifade etmişlerdir. En sık belirtilen etkiler arasında yorgunluk, kaygı, dikkat dağınıklığı, uyku problemleri ve gerginlik yer almaktadır. Bununla birlikte öğrencilerin stresle baş etmek için farklı yöntemler geliştirdikleri görülmektedir.

Katılımcılar yürüyüş yapma, müzik dinleme, arkadaşlarıyla vakit geçirme ve sosyal destek alma gibi yöntemleri sıklıkla kullandıklarını belirtmişlerdir.

Örnek katılımcı ifadelerine bakmak gerekirse:

"...Stresli dönemlerde daha yorgun hissediyorum ve dikkatimi toplamakta zorlanıyorum." (K6)

"...Bu durumlarla baş etmek için yürüyüş yapmaya çalışıyorum." (K15)

"...Müzik dinlemek beni rahatlatıyor." (K10)

"...Yakınlarımla konuşmak stresimi azaltıyor." (K15)

"...Bazı durumlarda üzülebiliyorum, bu da stres yapmama neden oluyor." (K14, 24, Kadın, Anestezi)

Katılımcıların ifadeleri, stres yönetiminde sosyal destek ve bireysel baş etme stratejilerinin önemli bir yere sahip olduğunu göstermektedir.

3.5. Üniversite Yaşamı ve Riskli Sağlık Davranışları

Katılımcılar üniversite öğrencileri arasında çeşitli sağlıksız davranışların yaygın olduğunu belirtmişlerdir. Özellikle düzensiz beslenme, yetersiz uyku, hareketsiz yaşam, fast-food tüketimi ve aşırı kafein kullanımı en sık dile getirilen davranışlar arasında yer almaktadır. Bunun yanında bazı katılımcılar sigara ve alkol kullanımını da üniversite öğrencileri arasında yaygın görülen davranışlar arasında göstermiştir.

Katılımcılar bu davranışların ortaya çıkmasında akademik yoğunluk, sınav stresi, ekonomik koşullar, zaman yetersizliği ve gelecek kaygısının etkili olduğunu ifade etmişlerdir.

Örnek katılımcı ifadelerine bakmak gerekirse:

"...Düzensiz beslenme ve yetersiz uyku öğrenciler arasında oldukça yaygın." (K15)

"...Fast-food tüketimi ve hareketsizlik en sık gördüğüm davranışlar arasında." (K8)

"...Sabahlamak öğrenciler arasında oldukça yaygın bir alışkanlık." (K12)

"...Aşırı kahve tüketimi ve fast-food beslenme ekonomik nedenlerle tercih edilebiliyor." (K12)

"...Gelecek kaygısı ve zamanı yetiştirememe bu davranışlara yönelmeyi artırabiliyor." (K12)

Katılımcı görüşleri doğrultusunda üniversite yaşamının bazı sağlıksız davranışların ortaya çıkmasını kolaylaştırdığı ve öğrencilerin yaşam düzenlerini önemli ölçüde etkilediği görülmektedir.

3.6. Sağlık Algısı ve Sağlıklı Olma Tanımı

Katılımcıların sağlıklı olma kavramına ilişkin görüşleri incelendiğinde, sağlığın yalnızca fiziksel olarak hasta olmamak şeklinde değerlendirilmediği görülmektedir. Katılımcılar sağlığı fiziksel, psikolojik ve sosyal boyutları bulunan bütüncül bir kavram olarak tanımlamışlardır.

Birçok katılımcı üniversite yaşamına başladıktan sonra sağlık algılarının değiştiğini ve sağlığı daha kapsamlı değerlendirmeye başladıklarını ifade etmiştir.

Örnek katılımcı ifadelerine bakmak gerekirse:

"...Sağlıklı olmak yalnızca fiziksel olarak hasta olmamak değil; aynı zamanda psikolojik ve sosyal açıdan da iyi durumda olmak anlamına geliyor." (K15)

"...Bence sağlıklı olmak sadece hasta olmamak değil, ruhsal ve sosyal olarak da dengede hissetmek demek." (K12)

"...Genel olarak kendimi sağlıklı bir birey olarak görüyorum." (K15)

"...Üniversiteye başladıktan sonra sağlığın sadece hastalık durumuyla ilgili olmadığını fark ettim." (K15)

"...Eskiden sağlığı sadece biyolojik bir durum sanıyordum ancak zamanla psikolojik ve sosyal yönlerinin de önemli olduğunu anladım." (K12)

Katılımcıların ifadeleri genel olarak değerlendirildiğinde, sağlık kavramının üniversite deneyimiyle birlikte daha bilinçli ve bütüncül bir şekilde algılanmaya başlandığı görülmektedir. Öğrenciler fiziksel sağlığın yanında psikolojik iyi oluşu ve sosyal ilişkileri de sağlıklı olmanın temel bileşenleri arasında değerlendirmektedirler

SONUÇ

Bu araştırmada 18-25 yaş aralığındaki üniversite öğrencilerinin sağlık öz yeterliliği algılarının nasıl şekillendiği incelenmiştir. Araştırma kapsamında gerçekleştirilen görüşmeler sonucunda elde edilen veriler içerik analizi yöntemiyle değerlendirilmiş ve günlük yaşam alışkanlıkları ve sağlık davranışları, sağlık öz yeterliliği, sosyal çevre ve sağlık okuryazarlığı, stres yönetimi ve baş etme süreçleri, üniversite yaşamı ve riskli sağlık davranışları ile sağlık algısı ve sağlıklı olma tanımı olmak üzere altı tema altında toplanmıştır.

Araştırma bulguları, üniversite öğrencilerinin sağlık kavramını yalnızca hastalıkların yokluğu olarak değerlendirmediklerini, fiziksel, psikolojik ve sosyal boyutlarıyla ele aldıklarını göstermektedir. Katılımcıların büyük çoğunluğu sağlıklı olmayı bedensel iyilik hâlinin yanı sıra ruhsal denge, sosyal ilişkiler ve yaşam kalitesiyle ilişkilendirmiştir. Bu durum öğrencilerin sağlık konusunda bütüncül bir bakış açısına sahip olduklarını göstermektedir. Özellikle üniversite yaşamına başladıktan sonra sağlık algılarında değişim yaşandığını belirten

katılımcılar, sağlığın yalnızca fiziksel bir durum olmadığını, psikolojik ve sosyal faktörlerden de etkilendiğini ifade etmişlerdir.

Araştırma kapsamında elde edilen bulgular, öğrencilerin sağlıklarını koruma ve sürdürme konusunda belirli bir farkındalığa sahip olduklarını ortaya koymuştur. Katılımcılar düzenli su tüketimi, dengeli beslenme, fiziksel aktivite, yürüyüş yapma ve uyku düzenine dikkat etme gibi davranışları sağlıklarını destekleyen alışkanlıklar olarak ifade etmişlerdir. Ancak üniversite yaşamının getirdiği akademik yoğunluk, sınav stresi, zaman yönetimi problemleri ve ekonomik koşullar nedeniyle bu alışkanlıkların her zaman sürdürülemediği görülmüştür. Özellikle düzensiz beslenme, yetersiz uyku ve fiziksel aktivite eksikliği öğrencilerin en çok zorlandıkları konular arasında yer almıştır.

Sağlık öz yeterliliği açısından değerlendirildiğinde katılımcıların büyük çoğunluğu sağlıklarını koruma konusunda kendilerini yeterli ya da kısmen yeterli hissettiklerini belirtmiştir. Öğrenciler sağlıkla ilgili bir problem yaşadıklarında çözüm yolları arayabileceklerine, gerekli bilgiye ulaşabileceklerine ve gerektiğinde profesyonel destek alabileceklerine inandıklarını ifade etmişlerdir. Bu durum Bandura'nın öz yeterlilik kuramıyla örtüşmektedir. Bandura'ya göre bireyin belirli bir davranışı gerçekleştirebileceğine yönelik inancı, o davranışı sürdürme konusunda önemli bir belirleyicidir. Araştırma bulguları da sağlık konusunda kendini yeterli hisseden öğrencilerin daha bilinçli sağlık davranışları sergilediklerini göstermektedir.

Araştırmanın bir diğer önemli sonucu sosyal çevrenin sağlık davranışları üzerindeki etkisidir. Katılımcılar ailelerinin, arkadaş çevrelerinin ve sağlık profesyonellerinin sağlıkla ilgili kararlarında etkili olduğunu belirtmişlerdir. Bunun yanında öğrenciler sağlıkla ilgili bilgi edinirken internet ve sosyal medyadan da yararlandıklarını ifade etmişlerdir. Ancak katılımcılar sosyal medyada yer alan her bilginin güvenilir olmadığını, yanlış ve yanıltıcı bilgilerin bulunabildiğini vurgulamışlardır. Bu durum sağlık okuryazarlığının önemini ortaya koymaktadır. Öğrencilerin yalnızca bilgiye ulaşmalarının değil, ulaştıkları bilgiyi değerlendirme ve doğrulama becerilerine sahip olmalarının da önemli olduğu görülmektedir.

Araştırmada elde edilen bulgular, üniversite öğrencilerinin stres ve kaygı ile sık karşılaştıklarını göstermektedir. Akademik sorumluluklar, sınavlar, gelecek kaygısı ve ekonomik sorunlar öğrencilerin stres düzeylerini artıran başlıca faktörler olarak öne çıkmıştır. Katılımcılar stresli dönemlerde yorgunluk, dikkat dağınıklığı, uyku problemleri ve psikolojik gerginlik yaşadıklarını ifade etmişlerdir. Bununla birlikte öğrencilerin stresle baş etmek için

yürüyüş yapma, müzik dinleme, arkadaşlarıyla vakit geçirme ve sosyal destek alma gibi çeşitli yöntemler kullandıkları belirlenmiştir.

Üniversite yaşamının sağlık davranışları üzerindeki etkileri incelendiğinde öğrenciler arasında düzensiz beslenme, fast-food tüketimi, yetersiz uyku, hareketsizlik ve aşırı kafein tüketiminin yaygın olduğu görülmüştür. Bazı katılımcılar sigara ve alkol kullanımını da yaygın sağlıksız davranışlar arasında değerlendirmiştir. Bu davranışların ortaya çıkmasında zaman yetersizliği, ekonomik koşullar, sınav stresi ve gelecek kaygısının etkili olduğu ifade edilmiştir. Elde edilen bulgular, üniversite döneminin bireylerin sağlık davranışlarını şekillendiren önemli bir yaşam evresi olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak araştırma bulguları, üniversite öğrencilerinin sağlık konusunda belirli bir farkındalığa ve öz yeterlilik algısına sahip olduklarını ortaya koymuştur. Ancak öğrencilerin sağlıklarını korumaya yönelik bilgi ve farkındalıkları ile bu bilgileri günlük yaşamlarında uygulama düzeyleri arasında bazı farklılıklar bulunmaktadır. Bu nedenle üniversite öğrencilerine yönelik sağlık okuryazarlığını geliştiren, sağlıklı yaşam alışkanlıklarını destekleyen ve stres yönetimi becerilerini güçlendiren çalışmaların artırılması önerilmektedir. Ayrıca üniversitelerde öğrencilerin fiziksel ve psikolojik sağlıklarını destekleyecek programların yaygınlaştırılması, öğrencilerin sağlık öz yeterliliklerinin gelişmesine katkı sağlayabilir.

KAYNAKÇA

Açıkgöz, K.Ü. (1996) Maslow'un Gereksinim Kuramı: Etkili Öğrenme ve Öğretme. Kanyılmaz Matbaası, 193-201, İzmir.

Arnett, J. J. (2000). Emerging adulthood: A theory of development from the late teens through the twenties. *American Psychologist, 55*(5), 469–480.

Arslantaş, H., & Ergin, F. (2017). Üniversite öğrencilerinin sağlıklı yaşam biçimi davranışları ve etkileyen faktörler. *Journal of Human Sciences, 14*(2), 1234–1245.

Ateş, B., & Sağar, M. E. (2022). Üniversite öğrencilerinde öz yeterliğin yordayıcısı olarak bilişsel esneklik, duygu düzenleme becerileri ve psikolojik sağlamlık. *İstanbul Aydın Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 14*(2), 263–282.

Aykut, M., ve ark. (2025). *Üniversite birinci ve dördüncü sınıf öğrencilerinde riskli sağlık davranışlarının incelenmesi.*

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

Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. W. H. Freeman.

Baran Deniz, E., & Piyal, B. (2019). Sağlık okuryazarlığı ve sağlığın sosyal belirleyicileri-sağlık etkileşimi. *Türkiye Klinikleri Halk Sağlığı Özel Konular*, 22–26.

Bourdieu, P. (1986). The forms of capital. In J. G. Richardson (Ed.), *Handbook of theory and research for the sociology of education* (pp. 241–258). Greenwood Press.

Glanz, K., Rimer, B. K., & Viswanath, K. (2015). *Health behavior: Theory, research, and practice*. Jossey-Bass.

Giddens, A. (1984). *The constitution of society: Outline of the theory of structuration*. University of California Press.

Giddens, A. (1991). *Modernity and self-identity: Self and society in the late modern age*.

Stanford University Press.
İlhan, N., Batmaz, M., & Akhan, L. U. (2010). Üniversite öğrencilerinin sağlıklı yaşam biçimi davranışları. *Maltepe Üniversitesi Hemşirelik Bilim ve Sanatı Dergisi, 3*(3), 34–44.
Kara, O. K. (2021). *Üniversite öğrencilerinde bilinçli farkındalık düzeyinin algılanan stres ve sağlık anksiyetesi ile ilişkisinin incelenmesi* (Yüksek lisans tezi). İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü.
Kılınç İşleyen, E., & Kartal, A. (2019). Sağlık okuryazarlığının tanımı, kavramsal çerçevesi ve sınıflandırılması. *Türkiye Klinikleri Halk Sağlığı Hemşireliği Özel Konular*.
Köseoğlu Örnek, O., & Kürklü, A. (2017). Üniversite öğrencilerinin sağlıklı yaşam biçimi davranışları, öz etkililik-yeterlilik düzeyleri ve etkileyen faktörler. *Türkiye Klinikleri Hemşirelik Bilimleri Dergisi, 9*(3), 207–217.
Nelson, M. C., Story, M., Larson, N. I., Neumark-Sztainer, D., & Lytle, L. A. (2013). Emerging adulthood and college-aged youth: An overlooked age for weight-related behavior change. *Obesity, 16*(10), 2205–2211.
Özpulat, F., & Erdem, Y. (2019). Üniversite öğrencilerinin riskli sağlık davranışları ve etkileyen faktörlerin incelenmesi. *Ankara Sağlık Bilimleri Dergisi, 8*(1), 110–126.
Resnick, B. (2002). Self-efficacy in chronic illness. *Journal of Nursing Scholarship, 34*(3), 231–237.
Rosenau, P. M. (2004). *Postmodernizm ve toplum bilimleri*. Bilim ve Sanat Yayınları.
Schwarzer, R. (1992). Self-efficacy in the adoption and maintenance of health behaviors. *Journal of Health Psychology*.
Schwarzer, R., & Luszczynska, A. (2007). Self-efficacy. In M. Conner & P. Norman (Eds.), *Predicting health behaviour* (2nd ed., pp. 81–126). Open University Press.
Schwarzer, R., & Luszczynska, A. (2008). How to overcome health-compromising behaviors: The health action process approach. *European Psychologist, 13*(2), 141–151.
Schwarzer, R. (1992). *Self-efficacy: Thought control of action*. Hemisphere Publishing Corporation.
Seçer, İ., Yıldız, M., & Yılmaz, B. (2022). Sağlık alanında öğrenim gören üniversite öğrencilerinde uygulamalı ders ve stajın akademik öz yeterlik düzeyleri ve problem çözme becerilerine etkisi: Kesitsel bir araştırma. *Türkiye Klinikleri Sağlık Bilimleri Dergisi, 7*(1), 45–53.
Taş, T. A., & Akış, N. (2016). Sağlık okuryazarlığı. *Sürekli Tıp Eğitimi Dergisi, 25*(3), 119–124.
Vural, Ö., & Bakır, N. (2015). Üniversite öğrencilerinin fiziksel aktivite düzeyi ile yaşam kalitesi arasındaki ilişkinin incelenmesi. *Journal of Human Sciences, 12*(1), 1303–1314.
Yavuz Akçay, Y., Tanşu, A., & Ökcü, Ö. (2024). Üniversite öğrencilerinde genel hijyen eğitiminin sağlık algısı ve hijyen davranışları üzerine etkisi: Bir vakıf üniversitesi örneği. *İstanbul Kent Üniversitesi Açık Erişim Sistemi*.
Yıldırım, F., & İlhan, İ. Ö. (2010). Sağlık okuryazarlığı ve sağlık algısı üzerine bir araştırma. *Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi, 13*(2), 1–15.
Yıldız, E. U. (2011). Madde kullanımında risk etkenleri ve koruyucu etkenler. H. Çoşkunol (Ed.), *Ergenlerde sigara, alkol ve madde kullanımı* (s. 7). İzmir.
Yılmazel, G., Çetinkaya, F., & Naçar, M. (2013). Hemşirelik öğrencilerinde sağlığı geliştirme davranışları. *TAF Preventive Medicine Bulletin, 12*(3),104.

Issued: 05.08.2026
ISBN: ‘978-625-378-693-9’