



2. INTERNATIONAL
Marcus Aurelius
Scientific Research Congress
18-19 April 2026
ANKARA



EDITORS:

Prof. Dr. Aybaba HANÇERLIOĞULLARI

Prof. Dr. Figen BALO

www.isarcconference.org



CONGRESS BOOK



INDEX

CONGRES ID		II-VII
PROGRAM		VIII-XVIII
GALLERY		XIX-XXIV
ACADEMIC INCENTIVE		XV
NOTIFICATIONS		XXVI-XXIX



CONGRESS ID

CONGRESS TITLE

2. INTERNATIONAL MARCUS AURELIUS SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS

DATE AND PLACE

18-19 APRIL 2026 ANKARA, ONLINE PRESENTATIONS

ORGANIZATION

ISARC INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

GENERAL COORDINATOR

Uzm. Yasemin AĞAOĞLU

EDITOR

Prof. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI

Prof. Dr. Figen BALO

ISBN: “ 978-625-378-642-7 ”

***Yayınlanan bildilerden, yazarlar sorumludur.**



ORGANIZING COMMITTEE

Prof. Dr. Cenk YAVUZ
Prof. Dr. Mahire HÜSEYNOVA
Prof. Dr. İbrahim BAYRAMOV
Prof. Dr. Hilmi YÜCEL
Prof. Dr. Kübra KARAMAN
Prof. Dr. Mehmet DEMİR
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 SİDIR
Assoc. Prof. Dr. Ahmet AKKÖSE
Assoc. Prof. Dr. Başak Gül AKAR
Assoc. Prof. Dr. Caner YERLİ
Assoc. Prof. Dr. Çiğdem BOGENÇ
Assoc. Prof. Dr. Elif Feyza TOPDAŞ
Assoc. Prof. Dr. Erhan ERDEL
Assoc. Prof. Dr. Filiz RANDA ZELYÜT
Assoc. Prof. Dr. Gamze Ebru ÇİFTÇİ
Assoc. Prof. Dr. Gönül HASANOVA
Assoc. Prof. Dr. Hüseyin Murat IŞIK
Assoc. Prof. Dr. Orhan TURAN
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 YARIŞ
Assoc. Prof. Dr. Seda BENGİ
Assoc. Prof. Dr. Sema SAĞLIK
Assoc. Prof. Dr. Şükrü KALAYCI
Assoc. Prof. Dr. Zamiğ TEHMEZOV
Assoc. Prof. Dr. Zeynep Deniz ŞAHİN İNAN
Assoc. Prof. Dr. Zühal OKCU
Dr. Abdullah ATILGAN
Dr. Canan TERCAN
Dr. Elvan CAFEROV
Dr. Fatma AZİZOĞLU
Dr. Gönül GÖKÇAY
Dr. Laleş USLU AZARAK
Dr. Mine KIRKYOL
Dr. Sevil ÖZCAN
Dr. Sümeyye GÖKÇENOĞLU
Dr. Şengül ŞENTÜRK
Dr. Rana BAYTİN ALACI

SCIENCE AND ADVISORY COMMITTEE



Prof. Dr. Adil AKINCI
Bilecik Şeyh Edebali University
Prof. Dr. Ahmet AKKÖSE
Atatürk University
Prof. Dr. Aparna SRIVASTA
Noida International University
Prof. Dr. Ahmet Niyazi ÖZKER
Bandırma Onyedi Eylül University
Prof. Dr. Ali AKİL
Saiyed Parul University
Prof. Dr. Ali OKATAN
İstanbul Aydın University
Prof. Dr. Anvar ABBASOV
Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
Prof. Dr. Anwar Ali Shah G. SYED
University Of Sindh Jamshoro
Prof. Dr. Asım KAYGUSUZ
Inonu University
Prof. Dr. Arif BABANLI
Süleyman Demirel University
Prof. Dr. Cengiz SARIKÜRKÜ
Afyonkarahisar University
Prof. Dr. Cenk YAVUZ
Sakarya University
Prof. Dr. Ekrem Yaşar AKÇAY
Süleyman Demirel University
Prof. Dr. Emrullah FATİŞ
Kırşehir Ahi Evran University
Prof. Dr. Faiz Muhammad SHAİKH
Sindh Agriculture University Tando Jam
Prof. Dr. Gülçin YAHYA KAÇAR
Ankara Hacı Bayram Veli University
Prof. Dr. Hasan Hüseyin DOĞAN
Selçuk University
Prof. Dr. Hazim Abd Mohammed ALJEWAREE
Alkitab University
Prof. Dr. Halil BOLU
Dicle University
Prof. Dr. Haluk ÖZPARLAK
Selçuk University
Prof. Dr. Hülya ÇİÇEK
Gaziantep University
Prof. Dr. Gülsen ASMAN
Gazi University
Prof. Dr. Ivan PAVLOVIĆ
Scientific Institute of Veterinary Medicine of Serbia
Prof. Dr. İbrahim BAYRAMOV
Azerbaycan Devlet Pedagoji University
Prof. Dr. İshak KESKİN
İstanbul University
Prof. Dr. Jain SADHNA
University Of Delhi
Prof. Dr. Kübra KARAMAN
Yozgat Bozok University
Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN
Siirt University
Prof. Dr. Mehmet ŞAHİN
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. Nurdan KALAYCI
Gazi University
Prof. Dr. Neslihan ŞAHİN
Sivas Cumhuriyet University
Prof. Dr. Orhan ZEYBEK
Balıkesir University
Prof. Dr. Sancar BULUT
Kayseri University
Prof. Dr. Selahattin YAVUZ
Erzincan Binali Yıldırım University
Prof. Dr. Seyfi ŞEVİK
Hitit University
Prof. Dr. Sevi ÖZ
Ankara Hacı Bayram Veli University
Prof. Dr. Songül ÇAKMAKÇI
Atatürk University
Prof. Dr. Yadigar GÜLSEVEN SIDIR
Bitlis Eren University
Prof. Dr. Zharkynbike SULEIMENOVA
Kazakh National Women's Pedagogical University
Prof. Dr. Zülfü GÜROCAK
Fırat University
Assoc. Prof. Abdurahman KARAMAN
Uşak University
Assoc. Prof. Dr. Ebubekir DİRİCAN
Marmara University
Assoc. Prof. Dr. Eda ÖZ ÇELİKBAŞ
Karabük University
Assoc. Prof. Dr. Erhan ERDEL
Iğdır University
Assoc. Prof. Dr. Fariz AHMADOV
Azerbaycan Devlet İktisat University
Assoc. Prof. Dr. Faruk KALAY
Yüzüncü Yıl University
Assoc. Prof. Dr. Gönül SAMEDOVA
Azerbaycan Devlet Pedagoji University
Assoc. Prof. Dr. İkrametdin DAŞDEMİR
Atatürk University
Assoc. Prof. Dr. İsa YILDIRIM
Atatürk University
Assoc. Prof. Dr. Kalsoom TARIQ
Khyber Girls Medical Collage
Assoc. Prof. Dr. Muzaffer DENİZ
Van Yüzüncü Yıl University
Assoc. Prof. Dr. Nacide KIZILDAĞ ÖZDAL
Çukurova University
Assoc. Prof. Dr. Naseem AKHTER
Shaheed Benazir Bhutto Women University
Assoc. Prof. Dr. Nursen IŞIK
Dicle University
Assoc. Prof. Dr. Orhan TURAN
Batman University
Assoc. Prof. Dr. Özlem GÜNDOĞDU AYTAÇ
Kırşehir Ahi Evran University
Assoc. Prof. Dr. Özlem KAYA
Uşak University
Assoc. Prof. Dr. Reyhan DADAŞOVA
Azerbaycan Bakü Biznes University
Assoc. Prof. Dr. Rozina KHATTAK
Shaheed Benazir Bhutto Women University
Assoc. Prof. Dr. Abdulkarim DİLER
Atatürk University



Assoc. Prof. Dr. Armel MBON
Marien Ngouabi University
Assoc. Prof. Dr. Asuman SAVAŞCIHABEŞ
Nuh Naci Yazgan University
Assoc. Prof. Dr. Azimbaeva GULBAYRA
Kazakh National Women's Pedagogical University
Assoc. Prof. Dr. Betül GÜZELDİR
Atatürk University
Assoc. Prof. Dr. Çiğdem BOĞENÇ
Karabük University
Assoc. Prof. Dr. Elif Feyza TOPDAŞ
Atatürk University
Assoc. Prof. Dr. Hasan TELLİ
Mersin University
Assoc. Prof. Dr. Oqtay QULİYEV
Azərbaycan Devlet İktisat University
Assoc. Prof. Dr. Ömer Faruk RENÇBER
Gaziantep University
Assoc. Prof. Dr. Sahure YARIŞ
Dicle University
Assoc. Prof. Dr. Salman Bashir MEMON
Shah Abdul Latif University
Assoc. Prof. Dr. Sevcan YILDIZ
Akdeniz University
Assoc. Prof. Dr. Syed Ali
Raza NAQVI Government College University Faisalabad
Assoc. Prof. Dr. Tamer TURGUT
Atatürk University
Assoc. Prof. Dr. Victoria POSTOLACHE
Alecu Russo Balti State University
Assoc. Prof. Dr. Yılmaz KÜÇÜK
Gazi University
Assoc. Prof. Dr. Yılmaz SEÇİM
Necmettin Erbakan University
Assoc. Prof. Dr. Zamiğ TEHMEZOV
Azərbaycan Devlet Pedagoji University
Dr. Ajay B. GADIĆHA
Sant Gadge Baba Amravati University
Dr. Amira TANDİROVİC GURSEL
Adana Alparslan Türkeş University of Science and Technology
Dr. Andaç Kutay SAKA
Ordu University
Dr. Aqil MEMMEDOV
Azərbaycan Devlet İktisat University
Dr. Babak SAFAEI
Tsinghua University
Dr. Elşen MEMMEDLİ
Azərbaycan Devlet İktisat University
Dr. Esra KEŞER
Osmaniye Korkut Ata University
Dr. Faisal SULTAN
Hazara University
Dr. Ghanshyam BARMAN
Uka Tarsadia University
Dr. Gülnar MİRZEYEVA
Azərbaycan Devlet İktisat University
Dr. Gülşen MEHERREMOVA
Azərbaycan Diller University
Dr. Hamdi DAĞISTANLI
Ankara University
Dr. Hassan ZARIOUH
Mohammed First University
Dr. Iram Liaqat AWAN
Government College University
Dr. Irina-Ana DROBOT
Technical University of Civil Engineering Bucharest, Romania



Dr. İslam DEVİREN
MEB
Dr. Joanna HERNİK
West Pomeranian University of Technology
Dr. Murat KAYA
Kayseri University
Dr. Mine KIRKYOL
Artvin Çoruh University
Dr. Müslüm ÖZTÜRK
Kilis 7 Aralık University
Dr. Nurhoca AKBULAYEV
Azerbaycan Devlet İktisat University
Dr. Rana BAYTİN ALACI
VAN YY University
Dr. Rida ZULFİQAR
University of Szeged
Dr. Taha Yasin ÖLMEZTOPRAK
Adıyaman University
Dr. Tatia DOLİDZE
European University
Dr. Yaşar SUBAŞI
Van Yüzüncü Yıl University
Dr. Yeşim BEDİR
Atatürk University
Dr. Aygün MEHERREMOVA
Bakü Devlet University
Dr. Ali ARSHAD
University Utara
Dr. Bhavtosh AWASTHİ
Jecrc University India
Dr. Chems Eddine BOUKHEDIMI
University of Tizi Ouzou
Dr. Moses Adeolu AGOI
Lagos State University of Education
Dr. Muhammad IMRAN
Government College University

2. INTERNATIONAL MARCUS AURELIUS SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS

18-19 APRIL 2026
ANKARA

Congress Program

Participant Countries:



Algeria, Azerbaijan, Georgia, India, Indonesia, Morocco, Nigeria, Romania, Serbia, Ukraine, Vietnam

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 KARIPOĞLU**

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 mikrofön 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 KARIPOĞLU**

MEETING ID: 828 5911 3712

PASSCODE: 476569

<https://us02web.zoom.us/j/82859113712?pwd=U7oIEMStH8q8Ebe7pEAbdTin0Tr1aG.1>

18.04.2026 / Session-1 Hall-1



ANKARA LOCAL TIME

10⁰⁰ : 12⁰⁰



MEETING ID: 828 5911 3712

PASSCODE: 476569

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

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Comparative Analysis Of Oil, Protein, And Color Properties Of Terebinth (<i>Pistacia Terebinthus</i> L.) Samples With Different Phenotypic Characteristics	Assist. Prof. Dr. Şakir Selçuk SEÇİLMİŞ	Gaziantep University
Inner Resilience In Hospital Corridors: The Silent Guidance Of Marcus Aurelius	Musa ŞENYÜZ	Dicle University
Özel Mülkiyetin Ortaya Çıkmasıyla Kadına Bakış Arasındaki İlişkinin Sosyolojik ve Antropolojik Temelleri Bakımından Kısa Bir Eleştiri	Assist. Prof. Dr. Kadir YILMAZ	Karabük University
Critical Thinking And Its Limitations In The Social Sciences: A New Assessment Within The Framework Of Current Approaches	Assist. Prof. Dr. Kadir YILMAZ	Karabük University
Evaluation Of Genetically Modified Foods In Terms Of Child Development	Lect. Dr. Simge SOYDAN Dr. Songül RAKICIOĞLU Prof. Dr. Neriman ARAL	Ankara Hacı Bayram Veli University Ondokuz Mayıs University Ankara University

18.04.2026 / Session-1 Hall-2



ANKARA LOCAL TIME

10⁰⁰ : 12⁰⁰



MEETING ID: 828 5911 3712

PASSCODE: 476569

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Şefik ÖZDEMİR

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Acute Abdomen In Children: Etiology And Diagnostic Approach	Lect. Filiz GÜNDÜZ TELSİZ	Gaziantep Ünivesity
Rectal Bleeding In Children: Etiology And Clinical Approach	Lect. Filiz GÜNDÜZ TELSİZ	Gaziantep Ünivesity
An Investigation Of Muscle Oxygenation In Women With Migraine And An Assessment Of Muscle Oxygenation In Relation To Disabilityand The Severity Of Allodynia	Assist. Prof. Dr. Özge ÖZKUTLU Fzt. Saime Büşranur POLAT Fzt. Çağla KARADAŞ Assoc. Prof. Dr. Nezehat Özgül ÜNLÜER Assoc. Prof. Dr. Mustafa Ertuğrul YAŞA Prof.Dr. Ömer KARADAŞ	Sağlık Bilimleri Üniversity Ankara Gülhane Eğitim ve Araştırma Hastanesi
A Literature Review On Evaluating The Post-Earthquake Process In Turkey	Researcher Fatma SAVAŞ Prof. Dr. Şefik ÖZDEMİR	Aksaray University
A Literature Review Of Academic Studies On Flood Disasters In Turkey During The 2000–2025 Period	Gülpembe ÇANKAYA Prof. Dr. Şefik ÖZDEMİR	Aksaray University
Natural Modulation Of The Gut Microbiota In Patients With Food Allergies. Impact Of Alergiplant	Major Gheorghe GIURGIU Prof. Dr. Med Manole COJOCARU	Deniplant-Aide Sante Medical Center Titu Maiorescu University
A Literature Review On Regional Differences In Landslide Risk In Turkey	Researcher Merve Nur YEŞİL Prof. Dr. Şefik ÖZDEMİR	Aksaray University

18.04.2026 / Session-2 Hall-3



ANKARA LOCAL TIME

10³⁰ : 12³⁰



MEETING ID: 828 5911 3712

PASSCODE: 476569

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Pınar SOMAKCI

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
The Effects Ottoman Sultan And Composer V. Murat's On The Turkish Music And His Reflections On The Present	Prof. Dr. Pınar SOMAKCI	İstanbul University
Agent-Based Modeling With Learning Agents: A Systematic Review Of Reinforcement Learning Integration	Master's Student Emre YAZICI Assist. Prof. Dr. Süreyya TEMELLİ	Trakya University
Digital Twin Applications In Smart Manufacturing: A Systematic Literature Review	Master's Student Mertcan BAHAR Assist. Prof. Dr. Süreyya TEMELLİ	Trakya University
The Phenomenon Of Compassion In Sûrat Maryam: An Analysis From The Perspective Of Values Education	Sena AYDIN	Bülent Ecevit University
Analytical Journalism In The Context Of Climate Reporting: A Study On The İklim Haber Website	Resc. Assist. Ali TANER	Süleyman Demirel University
Social Memory And Media Representation: An Analysis Of The Tv Series Kızılçık Şerbeti	Resc. Assist. Ali TANER	Süleyman Demirel University

18.04.2026 / Session-2 Hall-4

	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 828 5911 3712
	10³⁰ : 12³⁰		PASSCODE: 476569
HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Figen BALO			
TOPIC TITLE		AUTHORS	AFFILIATION
Role Of Ports In Urban Evacuation Scenarios After A Potential Marmara Earthquake		Assist. Prof. Mehdi ÖZTÜRK Msc. Arzu FİDAN	İstanbul Arel University
Multi-Criteria Analysis Of Titanium Alloy In Unmanned Aircraft Landing Gear		Ünal YILMAZ Prof. Dr. Figen BALO	Firat University
Performance Evaluation Of High-Altitude Unmanned Aerial Vehicles With Decision Support		Ünal YILMAZ Prof. Dr. Figen BALO	Firat University
A Machine Learning-Assisted Investigation Of Heat Transfer Enhancement In A Heat Exchanger With Porous Media Under Varying Flow Conditions		Mahir ŞAHİN Mustafa KILIÇ	Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University
Numerical Investigation And Ann-Based Thermal Performancorrelation For A Double-Pipe Heat Exchanger With Porous Media: Effects Of Structural Parameters		Mahir ŞAHİN Mustafa KILIÇ Samet YOZCU İzel KÖKTEN KAYA Taner ALTUNOK Mithat Kutay CAN	Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University Bomak Makine University of Turkish Aeronautical Association,
Çok Modlu Duygu Analizinde Gated Füzyon Stratejisinin Farklı Kodlayıcı Mimarileri İle Karşılaştırılması: Masad Veri Seti Üzerine Bir Çalışma		Resc. Assist. Burak YILMAZ Prof. Dr. Eser SERT	Malatya Turgut Özal University
Farklı Refrakter Ve Beton Esaslı Baca Malzemelerinin Yerleşim Tipine Bağlı Performans Analizi		Ahmet KARAHAN Prof. Dr. Figen BALO	Malatya Turgut Özal University Firat University
Yüksek Kapasiteli Alüminyum Boru Üretim Tesisleri İçin Farklı Baca Açısı Ve Alüminyum Esaslı Malzemelerin Performans Optimizasyonu		Ahmet KARAHAN Prof. Dr. Figen BALO	Malatya Turgut Özal University Firat University

18.04.2026 / Session-2 Hall-5

	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 828 5911 3712
	10³⁰ : 12³⁰		PASSCODE: 476569

HEAD OF SESSION: Dr. S. SELVAM

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
The Psychology Of Online Addiction	S. DHARANI Dr. S. SELVAM	Nadar Mahajana Sangam S. Vellaichamy Nadar College, India
AI-Powered Fake News Detection using Deep Learning	B. KOPIKA Dr. S. SELVAM	Nadar Mahajana Sangam S. Vellaichamy Nadar College, India
The Study Of Expert Systems And AI Models	C. Chinna THAMBI, M. KISHORE Dr. S. SELVAM	Nadar Mahajana Sangam S. Vellaichamy Nadar College, India
AI in Transportation and Traffic Management	R. KAMALAM, M. DEVIBALA Dr. S. SELVAM	Nadar Mahajana Sangam S. Vellaichamy Nadar College, India
Pulmonary Thromboembolism After Orthopedic Knee Surgery. Initial Hospital Treatment And 1 Year Follow Up	Poposka BILJANA, Ramov LEONID Spasovska MARIJA, Pejkovska SAVA	University Clinic fo pulmonology and allergology
Granulomatosis With Polyangiitis (Wegener's Granulomatosis), Diagnosis With Kidney Biopsy And Initial Immunosuppressive Treatment	Ramov LEONID, Zdraveska MARIJA Severova Andreevska GALINA Guchev FILIP, Dimitrievska DESKA	University Clinic for pulmonology and allergology University Clinic for nephrology, University Clinic for rheumatology
Integrated Nitrogen Management for Environmental and Agricultural Sustainability	ELABBARI Chaimaa, Pr. Labjar NAJOUA Ouijdane EL OUALI, EL BOUZIDI Ahmed ZINAoui Badre, Pr. EL Hajjaji SOUAD	Mohammed V University in Rabat
Production And Characterization Of Carbon Nanotubes From Biochar Under Microwave Irradiation	Faisal NAZIR	The University Of Agriculture, Faisalabad

18.04.2026 / Session-3 Hall-1

	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 828 5911 3712
	15⁰⁰ : 17⁰⁰		PASSCODE: 476569

HEAD OF SESSION: Dr. sc. Agim BERISHA

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Carbon Credit Mechanisms And Their Application In The Vietnamese Greenhouse Agricultural Sector	Le Thi MINH	Thu Dau Mot University, Vietnam
The Key Issue Features Of Adaptive Cellular Homeostasis Paradigm Of Senescence: Unifying Repair Mechanisms And Progressive Damage Dynamics In Systemic Biological Aging Processes Across Lifespan Regulatory Networks	Nodar SULASHVILI, Lali PATSIA Ada (Adel) TADEVOSYAN Vira KRAVCHENKO, Olga SHAPOVAL Marika SULASHVILI, Igor SENIUK, Tamar OKROPIDZE, David APKHAZAVA	Georgian National University Tbilisi State Medical University Yerevan State Medical University, National University Kharkiv State Medical University, Ukraine Alte University
Developing A Legal Framework For Special Urban Areas: Lessons From Japan And South Korea	MA. Buu HOANG LE	Thu Dau Mot University, Vietnam
AI as a Strategic Partner: Challenges and Opportunities for Modern Management	Fatine BENKIRANE, Lamyae HANIDA, Mohamed AIT OUDRA Samir ERRABIH, Abdelkarim Moussa	Sidi Mohamed Ben Abdellah University
Cybersecurity as a Lever for Economic Resilience of Organizations Facing Digital Risks	Fatine BENKIRANE, Fatima Zahrae HAMDANI, Mohamed AIT OUDRA Samir ERRABIH, Hayat EL BOUKHARI	Sidi Mohamed Ben Abdellah University
Increased risk of Cardio-Vascular Disease in Women with Polycystic Ovary Syndrome	Rabia Akhtar CHEEMA Humaira MUZAFFAR Ghulam HUSSAIN	Government College University
The Role of Audit and Public Asset Management in the Public Sector - The Case of Kosovo	Dr. sc. Agim BERISHA	Ministry of Agriculture, Forestry and Rural Development

18.04.2026 / Session-3 Hall-2

	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 828 5911 3712
	15⁰⁰ : 17⁰⁰		PASSCODE: 476569
HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI			
TOPIC TITLE		AUTHORS	AFFILIATION
Digital Accessibility For Visually Impaired Individuals: Design Challenges And Holistic Solution Approaches		Aynur AKAR Buket DOĞAN	Marmara University
Big Data Analysis (BVA) Optimization In PV/T Hybrid Systems And The Importance Of Phase Change Materials		İlknur ŞAHİN Adnan SÖZEN Rezvan REZAİZADEH Prof. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI	Middle East Technical University Alparslan Türkeş Science and Technology University University of Applied Science Kastamonu University
B4C (Boron Carbide) Mineral And Its Use As A Control Rod In Nuclear Chain Reactions		İlknur ŞAHİN Rezvan REZAİZADEH Adnan SÖZEN Prof. Dr. Aybaba HANÇERLİOĞULLARI	Middle East Technical University, Alparslan Türkeş Science and Technology University University of Applied Science, Kastamonu University
A Neuroscientific Investigation Of Social And Visual Perception In Professional Athletes		Erdem KIRCI Gülsüm AKDENİZ	Ankara Yıldırım Beyazıt University
Crisis Dynamics Of Turkish Inflation: Examining Structural Breaks In CPI And PPI Using Next Generation Unit Root Tests (2000-2024)		Mücahit DOĞANCI Assoc. Prof. Dr. Fatih ÇEMREK	Eskişehir Osmangazi University
Effects Of Hygrothermal Aging On Mechanical And Physicochemical Behavior Of Carbon Fiber Reinforced Peek Composites For Aerospace Applications		Özgür DURMAZ Prof. Dr. Nursel DİLSİZ	Gazi University Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş.,Malzeme Mühendisliği

18.04.2026 / Session-3 Hall-3

	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 828 5911 3712
	15⁰⁰ : 17⁰⁰		PASSCODE: 476569

HEAD OF SESSION: Dr. Seyfaddin JAFAROV

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Correlation Study On Etiological Factors Of Heart Disease In Diabetic Patients In Lahore, Pakistan	Taskeen FATİMA Anas ZAHOR	Hajvery University
Measuring Body Composition Of Primigravida Females With Bioelectrical Impedance Analysis- A Randomized Control Trail	Kaloom TARİQ	Khyber Girls Medical College
Harnessing Microbial Indicators For Monitoring Ecosystem Health And Quality: An Overview	Shamsudeen MUHAMMAD MUHAMMAD Abubakar MUHAMMAD SANI Ph.D., Murtala SAADU Lauratu Samaila MUNGADI	Kebbi State University
Synthesis And Performance Analysis Of Nanostructured Organic Semiconductor Sensors For Environmental Monitoring	PhD Candidate Mirsedi Mustafayev Mirgoshun oglu PhD in Technical Sciences Shehla Zeynalova Hamlet gizi	National Aviation Academy
Surface Conditions And Optical Properties Of Colloid Cadmium Chalcohenide Nanocrystals	Dr. Seyfaddin JAFAROV	Nakhchivan State University
Origin And Evolution Of The Term Epistemology	Hassan ZARIOUH Zakariae AZNAY	Mohammed I University, Morocco
Spectrum And Computation Analytical Functional In A Real Or Quaternomic Context	Hassan ZARIOUH Zakariae AZNAY	Mohammed I University, Morocco

19.04.2026 / Session-3 Hall-4



ANKARA LOCAL TIME



15⁰⁰ : 17⁰⁰



MEETING ID: 828 5911 3712



PASSCODE: 476569

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Branislav RADJENOVIĆ

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Application Of Two-Antenna Configurations For Microwave Tissue Ablation	Prof. Dr. Marija RADMILOVIĆ-RADJENOVIĆ, Prof. Dr. Branislav RADJENOVIĆ, Dr. Nikola BOŠKOVIĆ	University of Belgrade, Belgrade, Serbia
Perception Of Agricultural Students Of University Of Nigeria, Nsukka Towards Agriculture As A Means Of Livelihood	Ojo, O. F. Ezeugwu, J. N.	University of Nigeria
Evaluation Of The Durability Of Fiber Ceramic Mortar In Aggressive Environments	Belouadah MESSAOUDA Rahmouni Zine EL ABIDINE Tebbal NADIA	M'sila University, M'sila, Algeria
A Hybrid Security Mechanism For Attack Mitigation And Network Efficiency	Jogendra KUMAR	Govind Ballabh Pant Institute of Engineering & Technology, India
Increasing Murders In Hotels In Nigeria In Light Of Judges 4:17-19	Dr. Favour C. UROKO	University of Nigeria Nsukka
Nutritional Diet On Fertility Of Human Reproduction: A Concise Update	Asst. Prof. Dr. K. R. PADMA Reader, K. R. DON	Sri Padmavati Mahila Visvavidyalayam (Women's) University/ Bharath University, India
Applications Of Watersheds Management In India For The Development Of The Country	Subhashish DEY	Gudlavalleru Engineering College, India

19.04.2026 / Session-3 Hall-5



ANKARA LOCAL TIME



15⁰⁰ : 17⁰⁰



MEETING ID: 828 5911 3712



PASSCODE: 476569

HEAD OF SESSION: Dr. Ghanshyam BARMAN

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Ai-Based Fault Detection And Diagnosis In Hybrid Wind-Pv Energy Systems	Zouhir BOUMOUS, Hadia BELHOUCHE, Med Mounir ABBAS, Rayane Yasmine MAHFOUDI, Med Abd Errezak GHELLOUCI	University of Souk Ahras, Route Algeria
Production Of Biogas In Algeria: Methods And Challenges	Toumi MERIEM, Abdelli Islem SAFIA, Abdelmalek FATIHA, Addou AHMED	Université de Tlemcen/ université de Ain témouchent;Algérie
Discussion On The Need For Sustainability Measures Due To Over Use Of Natural Resources: With Reference To Technological Innovations And Individual Responsibilities	Junaid NISAR Towseef Mohi Ud DIN	Shri Venkateshwara University/ vikram university ujjain
The Use Of Local Biomass For The Removal Of Methylene Blue	Salima ATTOUTI Mourad TERMOUL, Anissa ZERHOUNI, Mokhtar Benallou BENZEKRI Benaouda BESTANI, Nouredine BENDERDOUCHE	Abdel Hamid Ibn Badis University, Algeria
Membranes Used In Separation Techniques	Dr. Ghanshyam BARMAN	Uka Tarsadia University, India
Role Of Functional Group In The Kinetics Of Ferrocene Derivatives: Comparative Study	Assistant Professor Dr. Rozina KHATTAK	Shaheed Benazir Bhutto Women University Pakistan

PHOTO GALERY

zoom
Workplace

Toplantı

A ArzuFidan adlı kişinin ekranı

Giriş yapın

Türkiye Limanları

TOPLAM 228 LİMAN TESİSİ

- DOĞU KARADENİZ BÖLGESİ LİMANLARI
- BATI KARADENİZ BÖLGESİ LİMANLARI
- MARMARA BÖLGESİ LİMANLARI
- EGE BÖLGESİ LİMANLARI
- AKDENİZ BÖLGESİ LİMANLARI
- İÇ SU LİMANLARI

1 atanmamış katılımcı

Ses

Video

Katılımcılar

Sohbet

Ara odalar

Tepki ver

Paylaş

Oturum sahibi araçları

Kaydet

Daha fazla

Odadan çık

Öğrenen Ajanlarla Ajan Tabanlı Modelleme

Pekiştirmeli Öğrenme Entegrasyonu Üzerine Sistematik Bir İnceleme

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Süreyya TEMELLİ

Emre YAZICI

Trakya Üniversitesi, Edirne

Emre Yazıcı h-4

ISARC Yasemin AGAOĞLU

4.Hall-PROF.DR. PINAR SOMER

Mertcan Bahar...

Mertcan Bahar h-4

Sena Aydın Hall-4

Ali Taner

16°C
Güneşli

Ara

10:48
18.04.2026

zoom Workplace

Toplantı

Merve Nur YEŞİL adlı kişinin ekranı

Giriş yapın

ALANYAZIN İNCELEMELERİ

LITERATURE REVIEWS

- Heyelan oluşumunda en belirleyici faktörler arasında eğim, litoloji ve zemin özellikleri yer almakta; bu faktörler kayma direncini doğrudan etkilemektedir (Varnes, 1978).
- Kısa süreli ve yoğun yağışların zemin doygunluğunu artırarak heyelanları tetiklediği birçok çalışmada vurgulanmıştır (Dai & Lee, 2002).
- Arazi kullanım değişiklikleri, ormansızlaşma ve plansız yapılaşma gibi insan faaliyetleri heyelan riskini artıran önemli unsurlar arasında gösterilmektedir (Glade, 2003).

- Slope, lithology, and soil properties are among the most decisive factors in landslide formation; these factors directly affect shear resistance (Varnes, 1978).
- Many studies have emphasized that short-term and intense rainfall increases soil saturation, triggering landslides (Dai & Lee, 2002).
- Human activities such as land-use changes, deforestation, and unplanned construction are considered among the important factors that increase the risk of landslides (Glade, 2003).

Çağla Karadağ - Hall 2

ISARC Yasemin AGAO...

H 2 Gheorghe Giurgiu

Fatma Savaş H-2

Gülpembe Çankaya

Merve Nur YEŞİL

F

Filiz Telsiz

Ses

Video

Katılımcılar

Sohbet

Ara odalar

Tepki ver

Paylaş

Oturum sahibi araçları

Kaydet

Daha fazla

Odadan çık

16°C Güneşli

Ara

4. Genetiği Değiştirilmiş Gıdaların Çocuk Sağlığı Açısından Potansiyel Riskleri ve Tartışmalı Yönleri

Barnett vd., 2025

- Bağırsak ve bağışıklık sistemi**
 - Bağırsak bariyerinde bozulma
 - İnflamasyon artışı
 - Bağışıklık sisteminde değişiklikler
- Metabolik etkiler**
 - Glukoz toleransında bozulma
 - İnsülin direnci
 - GLP-1 hormonunda azalma
 - Yani:
 - **obezite / diyabet benzeri süreçler tetikleniyor**
- Davranış ve beyin**
 - Hareket azalması
 - Çalışma belleğinde düşüş
 - Nörogelişimsel etki sinyali var
- Mikrobiyota (çok kritik!)**
 - Bağırsak bakterileri değişiyor
 - Özellikler:
 - Akkermansia
 - Parabacteroides
 - Bu değişim:
 - **bağırsak-beyin eksenini üzerinden etkili olabilir**

Hall 1-1 Simgü SOYDAN

ISARC Yasemin AGAOĞLU

Hall 1-1 Songül RAKICIOĞLU

S

Hall 1-1 Ş. Selçuk Seçilmiş

Hall 1- KADİR Y...

Hall 1- KADİR YILMAZ

Musa ŞENYÜZ...

Musa ŞENYÜZ HALL-1

15°C Güneşli

Ara

10:45 18.04.2026

zoom Workplace ⓘ Toplantı Hall1- Ş. Selçuk Seçilmiş adlı kişinin

AMAÇ

Bu çalışmanın amacı, Gaziantep bölgesinden temin edilen farklı fenotipik özelliklere sahip altı men (Pistacia terebinthus L.) örneğinin bazı kalite k açısından karşılaştırmalı olarak incelenmesidir.

Bu kapsamda örneklerin:

- Toplam yağ içeriği
- Protein miktarı
- Renk parametreleri (L^* , a^* , b^*) belirlenmiş fenotipler arasındaki farklılıklar ortaya kon

Ayrıca, yüksek kalite özelliklerine sahip fenotip belirlenerek menengiğin fonksiyonel gıda ve kullanım potansiyeline katkı sağlanması hedef

ISARC Beyza KUŞKIRAN

Hall1- Ş. Selçuk Seçilmiş

Hall 1- KADİR YI...

Hall 1- KADİR YILMAZ

Musa ŞENYÜZ H...

Musa ŞENYÜZ HALL-1

Ses Video Katılımcılar Sohbet Ara odalar Tepki ver Paylaş Oturum sahibi araçları Kaydet Daha fazla Odadan çık

zoom Workplace ⓘ Toplantı MB Mertcan Bahar h-4 adlı kişinin ekr

Dijital İkiz Nedir?

GİRİŞ

Dijital İkiz, fiziksel bir varlığın veya sistemin gerçek zamanlı verilerle beslenen dinamik kopyasıdır. Geleneksel simülasyon model farklı olarak IoT sensörleri aracılığıyla sürekli akış ve fiziksel-dijital dünya arasındaki etkileşim kurar.

Gerçek Zamanlılık
IoT sensörlerinden anlık veri akışı

Çift Yönlü Etkileşim
Fiziksel ve dijital senkronizasyon

Otonom Karar
Yapay zeka destekli süreç yönetimi

ISARC Beyza KUŞKIRAN

4.Hall-PROF.DR. PINAR SOMAKCI

Mertcan Bahar h-4

Emre Yazıcı h-4

Made with GAMMA

Ses Video Katılımcılar Sohbet Ara odalar Tepki ver Paylaş Oturum sahibi araçları Kaydet Daha fazla Odadan çık

zoom Workplace Dr. Kalsoom Tariq, Hall 8, Session3

article 7 - Microsoft PowerPoint (Product Activation Failed)

File Home Insert Design Transitions Animations Slide Show Review View Nitro Pro

Clipboard New Slide Section Slides

Slides Outline

13. 14. 15. 16.

Analysis Plan

Baseline 16th -20th week Postnatal

Body composition parameters—including fat mass, bone mass, and hydration status were taken Using BIA

Click to add notes

app.zoom.us is sharing your screen. Stop sharing Hide

Go to PC settings to

121 PM 4/19/2026

Ses Video Katılımcılar Sohbet Ara odalar Tepki ver Paylaş Oturum sahibi araçları Kaydet Daha fazla Sonlandır

ISARC Beyza KUŞKIRAN

Dr. Kalsoom Tariq, Hall 8, Session3

S-3.H-8 Dr.Seyf...

S-3.H-8 Dr.Seyfedin JAFAROV

Hall-6, Leonid Ramov

zoom Workplace Filiz Telsiz adlı kişinin ekranı

► Akut apandisit (en sık neden)

► Over torsiyonu

► Meckel divertikül komplikasyonları

► Travmaya bağlı yaralanmalar

► Acute appendicitis (most common cause) Ovarian torsion Meckel's diverticulum complications Trauma-related injuries

OKUL ÇAĞI VE ADOLESAN

Ses Video Katılımcılar Sohbet Ara odalar Tepki ver Paylaş Oturum sahibi araçları Kaydet Daha fazla Odadan çık

ISARC Beyza KUŞKIRAN

Çağla Karadağ- Hall 2

Filiz Telsiz

H 2 Gheorghe Giurgiu

zoom Workplace 2. MARCUS KONGRESİ

Dr. Kalsoom Tariq, Hall 8, Session3

ISARC Beyza KUŞKIRAN

Hall-6, Leonid Ramov

S-3.H-8 Dr.Seyf... Mirsedî Mustafa...

S-3.H-8 Dr.Seyfeddin JAFAROV

Mirsedi Mustafayev

Ses Video Katılımcılar 5 Sohbet Ara odalar Tepki ver Paylaş Oturum sahibi araçları Kaydet Daha fazla Sonlandır

zoom Workplace Toplantı Shamsudeen M.M. adlı kişinin ekr

INTRODUCTION

Indicators play a vital role in assessing the quality of different environmental compartments (soil, water, air).

The Challenge

- Ecosystems face unprecedented threats from climate change, pollution, urbanization, and intensive agriculture.
- **Traditional Methods:** Rely on physical and chemical parameters (temperature, pH, heavy metals).
- **Limitation:** Provide only a temporary snapshot, fail to capture complex biological responses.

The Solution

- The foundation of self ecological processes.
- reflect the presence of pollutants, such as heavy metals, pesticides, and organic contaminants, as well as biological indicators and one domain conditions.
- **Advantage:** Offer a dynamic, sensitive, and comprehensive approach to monitoring environmental health.
- **Research:** This paper explores the potential of microbial indicators in monitoring soil, water, and air quality, and how they integrate with other technologies and approaches.

ISARC Beyza KUŞKIRAN

S-3.H-8 Dr.Seyfeddin JAFAROV

M

Mirsedi Mustafayev

Shamsudeen M.M.

Ses Video Katılımcılar 5 Sohbet Ara odalar Tepki ver Paylaş Oturum sahibi araçları Kaydet Daha fazla Sonlandır

zoom Workplace

Toplantı

S-3.H-8 Dr.Seyfeddin JAFAROV at

Bu məqalədə Kadmium xalkogenid nanokristallarında lüminesans mərkəzlərinin və elektron tələlərinin öyrənilməsi üçün bir sıra metodlar hazırlanmışdır. müxtəlif temperaturlarda bir sıra spektrlərin və lüminesans kinetikasının ölçülməsinə, eləcə də səth vəziyyətlərinin töhfəsini nəzərə alaraq həyəcənlanma enerjisinin ötürülməsi və relaksasiyası prosessləri modelləşdirilməsinə əsaslanır

a

b

ISARC Beyza KUŞKIRAN

S-3.H-8 Dr.Seyfeddin JAFAROV

Dr. Kalsoom Tariq...

Dr. Kalsoom Tariq, Hall 8,Session3

Mirsed Mustafayev

Ses

Video

Katılımcılar

Sohbet

Ara odalar

Tepki ver

Paylaş

Oturum sahibi araçları

Kaydet

Daha fazla

Sonlandır

zoom Workplace

Toplantı

Rabia Akhtar adlı kişinin ekranı

Presentation for Marcus Congress - Microsoft PowerPoint (Product Activation Failed)

File Home Insert Design Transitions Animations Slide Show Review View

Copy Cut Paste Format Painter Clipboard New Slide Layout Section Slides Outline

1 Increased Risk of Cardio-Vascular Disease in Women with Polycystic Ovary Syndrome Presented by Dr Rabia Akhtar Chohan

2 Introduction

3 Prevalence of PCOS

4 Signs & Symptoms

Ara odalar - Devam Ediyor

Odalar (15)

Katılımcılar (10)

Atanmamış

Dr rabia akhtar (katılmadı)

Dr. Kalsoom Tariq, Hall 8,Session3 (katılmadı)

Mirsed Mustafayev (katılmadı)

Rabia Akhtar (katılmadı)

S-3.H-8 Dr.Seyfeddin JAFAROV (katılmadı)

Oda 1 0 Katıl

Oda 2 0 Katıl

Oda 3 0 Katıl

Oda 4 0 Katıl

Oda 5 5 Katıl

AHMET KARAHAN

ArzuFidan

Burak YILMAZ

Seçenekler

Bir sonraki oturumu planla

Yayınla

Oda ekle

Tüm odaları kapat

Click to add notes

app.zoom.us is sharing your screen. Stop sharing

Go to Settings to

Slide 1 of 22 "Office Theme"

Type here to search

Ses

Video

Katılımcılar

Sohbet

Ara odalar

Tepki ver

Paylaş

Oturum sahibi araçları

Kaydet

Daha fazla

Sonlandır

ISARC Beyza KUŞKIRAN

S-3.H-8 Dr.Seyfeddin JAFAROV

Dr rabia akhtar

Dr. Kalsoom Tariq...

Dr. Kalsoom Tariq, Hall 8,Session3

INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

REF: AKADEMİK TEŞVİK

01.05.2026

İLGİLİ MAKAMA

2. Uluslararası Marcus Aurelius Bilimsel Araştırmalar Kongresi 18-19 NİSAN 2026 tarihleri arasında ANKARA'da ve online olarak **11** farklı ülkeden, **Türkiye:31** ve **Diğer Ülkeler:36 Toplam:67** 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 uygun düzenlenmiştir. Bilgilerinize arz edilir.

Saygılarımla


Sefa Salih BİLDİRİCİ
HEAD OF İSARC

NOTIFICATIONS

AUTHORS	TITLE	NO
Şakir Selçuk SEÇİLMİŞ	Comparative Analysis Of Oil, Protein, And Color Properties Of Terebinth (<i>Pistacia Terebinthus</i> L.) Samples With Different Phenotypic Characteristics	1-7
Musa ŞENYÜZ	Inner Resilience In Hospital Corridors: The Silent Guidance Of Marcus Aurelius	8-9
Kadir YILMAZ	Özel Mülkiyetin Ortaya Çıkmasıyla Kadına Bakış Arasındaki İlişkinin Sosyolojik ve Antropolojik Temelleri Bakımından Kısa Bir Eleştiri	10-18
Kadir YILMAZ	Critical Thinking And Its Limitations In The Social Sciences: A New Assessment Within The Framework Of Current Approaches	19-24
Simge SOYDAN Songül RAKICIOĞLU Neriman ARAL	Evaluation Of Genetically Modified Foods In Terms Of Child Development	25-36
Filiz GÜNDÜZ TELSİZ	Acute Abdomen In Children: Etiology And Diagnostic Approach	37-38
Filiz GÜNDÜZ TELSİZ	Rectal Bleeding In Children: Etiology And Clinical Approach	39-40
Özge ÖZKUTLU Saime Büşranur POLAT Çağla KARADAŞ Nezehat Özgül ÜNLÜER Mustafa Ertuğrul YAŞA Ömer KARADAŞ	An Investigation Of Muscle Oxygenation In Women With Migraine And An Assessment Of Muscle Oxygenation In Relation To Disabilityand The Severity Of Allodynia	41-52
Fatma SAVAŞ Şefik ÖZDEMİR	A Literature Review On Evaluating The Post-Earthquake Process In Turkey	53-65
Gülpebe ÇANKAYA Şefik ÖZDEMİR	A Literature Review Of Academic Studies On Flood Disasters In Turkey During The 2000–2025 Period	66-77
Gheorghe GIURGIU Manole COJOCARU	Natural Modulation Of The Gut Microbiota In Patients With Food Allergies. Impact Of Alergiplant	78
Merve Nur YEŞİL Şefik ÖZDEMİR	A Literature Review On Regional Differences In Landslide Risk In Turkey	79-82
Aynur AKAR Buket DOĞAN	Digital Accessibility For Visually Impaired Individuals: Design Challenges And Holistic Solution Approaches	83-97
İlknur ŞAHİN Adnan SÖZEN Rezvan REZAIZADEH Aybaba HANÇERLİOĞULLARI	Big Data Analysis (BVA) Optimization In PV/T Hybrid Systems And The Importance Of Phase Change Materials	98-107
İlknur ŞAHİN Rezvan REZAIZADEH Adnan SÖZEN Aybaba HANÇERLİOĞULLARI	B ₄ C (Boron Carbide) Mineral And Its Use As A Control Rod In Nuclear Chain Reactions	108-114
Erdem KIRCI Gülsüm AKDENİZ	A Neuroscientific Investigation Of Social And Visual Perception In Professional Athletes	115-119
Mücahit DOĞANCI Fatih ÇEMREK	Crisis Dynamics Of Turkish Inflation: Examining Structural Breaks In CPI And PPI Using Next Generation Unit Root Tests (2000-2024)	120-130
Özgür DURMAZ Nursel DİLSİZ	Effects Of Hygrothermal Aging On Mechanical And Physicochemical Behavior Of Carbon Fiber Reinforced Peek Composites For Aerospace Applications	131-139
Pınar SOMAKCI	The Effects Ottoman Sultan And Composer V. Murat's On The Turkish Music And His Reflections On The Present	140-157
Emre YAZICI Süreyya TEMELLİ	Agent-Based Modeling With Learning Agents: A Systematic Review Of Reinforcement Learning Integration	158-170

AUTHORS	TITLE	NO
Mertcan BAHAR Süreyya TEMELLİ	Digital Twin Applications In Smart Manufacturing: A Systematic Literature Review	171-190
Sena AYDIN	The Phenomenon Of Compassion In Sûrat Maryam: An Analysis From The Perspective Of Values Education	191-192
Ali TANER	Analytical Journalism In The Context Of Climate Reporting: A Study On The İklim Haber Website	193-207
Ali TANER	Social Memory And Media Representation: An Analysis Of The Tv Series Kızılıç Şerbeti	208-209
Mehdi ÖZTÜRK Arzu FİDAN	Role Of Ports In Urban Evacuation Scenarios After A Potential Marmara Earthquake	210-229
Ünal YILMAZ Figen BALO	Multi-Criteria Analysis Of Titanium Alloy In Unmanned Aircraft Landing Gear	230-239
Ünal YILMAZ Figen BALO	Performance Evaluation Of High-Altitude Unmanned Aerial Vehicles With Decision Support	240-249
Mahir ŞAHİN Mustafa KILIÇ	A Machine Learning-Assisted Investigation Of Heat Transfer Enhancement In A Heat Exchanger With Porous Media Under Varying Flow Conditions	250-271
Mahir ŞAHİN, Mustafa KILIÇ Samet YOZCU, İzel KÖKTEN KAYA Taner ALTUNOK, Mithat Kutay CAN	Numerical Investigation And Ann-Based Thermal Performancerecorrelation For A Double-Pipe Heat Exchanger With Porous Media: Effects Of Structural Parameters	272-292
Burak YILMAZ Eser SERT	Çok Modlu Duygu Analizinde Gated Füzyon Stratejisinin Farklı Kodlayıcı Mimarileri İle Karşılaştırılması: Masad Veri Seti Üzerine Bir Çalışma	293-299
Ahmet KARAHAN Figen BALO	Farklı Refrakter Ve Beton Esash Baca Malzemelerinin Yerleşim Tipine Bağlı Performans Analizi	300-310
Ahmet KARAHAN Figen BALO	Yüksek Kapasiteli Alüminyum Boru Üretim Tesisleri İçin Farklı Baca Açısı Ve Alüminyum Esash Malzemelerin Performans Optimizasyonu	311-325
S. DHARANI S. SELVAM	The Psychology Of Online Addiction	326-329
B. KOPIKA S. SELVAM	AI-Powered Fake News Detection using Deep Learning	330-334
C. Chinna THAMBI, M. KISHORE S. SELVAM	The Study Of Expert Systems And AI Models	355-340
R. KAMALAM, M. DEVIBALA S. SELVAM	AI in Transportation and Traffic Management	341-346
Poposka BİLJANA, Ramov LEONİD Spasovska MARİJA, Pejkovska SAVA	Pulmonary Thromboembolism After Orthopedic Knee Surgery. Initial Hospital Treatment And 1 Year Follow Up	347-350
Ramov LEONİD, Zdraveska MARİJA Severova Andreevska GALİNA Guchev FİLİP, Dimitrievska DESKA	<i>Granulomatosis With Polyangiitis (Wegener's Granulomatosis), Diagnosis With Kidney Biopsy And Initial Immunosuppressive Treatment</i>	351-355
ELABBARI Chaimaa, Pr. Labjar NAJOUAOuijdane EL OUALİ, EL BOUZIDI Ahmed ZINAOUİ Badre, Pr. EL Hajjaji SOUAD	Integrated Nitrogen Management for Environmental and Agricultural Sustainability	356
Faisal NAZİR	Production And Characterization Of Carbon Nanotubes From Biochar Under Microwave Irradiation	357
Le Thi MİN	Carbon Credit Mechanisms And Their Application In The Vietnamese Greenhouse Agricultural Sector	358-370
Nodar SULASHVİLİ, Lali PATSİA Ada (Adel) TADEVOSYAN Vira KRAVCHENKO, Olga SHAPOVAL Marika SULASHVİLİ, Igor SENİUK, Tamar OKROPİRİDZE, David APHKHAZAVA	The Key Issue Features Of Adaptive Cellular Homeostasis Paradigm Of Senescence: Unifying Repair Mechanisms And Progressive Damage Dynamics In Systemic Biological Aging Processes Across Lifespan Regulatory Networks	371-398
MA. Buu HOANG LE	Developing A Legal Framework For Special Urban Areas: Lessons From Japan And South Korea	399-412

AUTHORS	TITLE	NO
Fatine BENKIRANE, Lamyae HANIDA, Mohamed AIT OUDRA Samir ERRABIH, Abdelkarim Moussa	AI as a Strategic Partner: Challenges and Opportunities for Modern Management	413-414
Fatine BENKIRANE, Fatima Zahrae HAMDANI, Mohamed AIT OUDRA Samir ERRABIH, Hayat EL BOUKHARI	Cybersecurity as a Lever for Economic Resilience of Organizations Facing Digital Risks	415-416
Rabia Akhtar CHEEMA Humaira MUZAFFAR Ghulam HUSSAİN	Increased risk of Cardio-Vascular Disease in Women with Polycystic Ovary Syndrome	417
Agim BERISHA	The Role of Audit and Public Asset Management in the Public Sector - The Case of Kosovo	418-422
Taskeen FATĪMA Anas ZAHOR	Correlation Study On Etiological Factors Of Heart Disease In Diabetic Patients In Lahore, Pakistan	423
Kalsoom TARIQ	Measuring Body Composition Of Primigravida Females With Bioelectrical Impedance Analysis- A Randomized Control Trail	424
Shamsudeen MUHAMMAD MUHAMMAD Abubakar MUHAMMAD SANI Murtala SAADU Lauratu Samaila MUNGADI	Harnessing Microbial Indicators For Monitoring Ecosystem Health And Quality: An Overview	425
Mirsedi Mustafayev Mirgoshun oglu Shehla Zeynalova Hamlet gizi	Synthesis And Performance Analysis Of Nanostructured Organic Semiconductor Sensors For Environmental Monitoring	426-434
Seyfaddin JAFAROV	Surface Conditions And Optical Properties Of Colloid Cadmium Chalcohenide Nanocrystals	435
Hassan ZARIOUH Zakariae AZNAY	Origin And Evolution Of The Term Epistemology	436
Hassan ZARIOUH Zakariae AZNAY	Spectrum And Computation Analytical Functional In A Real Or Quaternionic Context	437
Marija RADMILOVIĆ-RADJENOVIĆ, Branislav RADJENOVIĆ, Nikola BOŠKOVIĆ	Application Of Two-Antenna Configurations For Microwave Tissue Ablation	438
Ojo, O. F. Ezeugwu, J. N.	Perception Of Agricultural Students Of University Of Nigeria, Nsukka Towards Agriculture As A Means Of Livelihood	439
Belouadah MESSAOUDA Rahmouni Zine EL ABIDINE Tebbal NADIA	Evaluation Of The Durability Of Fiber Ceramic Mortar In Aggressive Environments	440
Jogendra KUMAR	A Hybrid Security Mechanism For Attack Mitigation And Network Efficiency	441
Favour C. UROKO	Increasing Murders In Hotels In Nigeria In Light Of Judges 4:17-19	442
K. R. PADMA K. R. DON	Nutritional Diet On Fertility Of Human Reproduction: A Concise Update	443-444
Subhashish DEY	Applications Of Watersheds Management In India For The Development Of The Country	445
Zouhir BOUMOUS, Hadia BELHOUCHE, Med Mounir ABBAS, Rayane Yasmine MAHFOUDI, Med Abd Errezak GHELLOUCI	AI-Based Fault Detection And Diagnosis In Hybrid Wind-Pv Energy Systems	446

AUTHORS	TITLE	NO
Toumi MERIEM, Abdelli Islem SAFIA, Abdelmalek FATIHA, Addou AHMED	Production Of Biogas In Algeria: Methods And Challenges	447
Junaid NISAR Towseef Mohi Ud DIN	Discussion On The Need For Sustainability Measures Due To Over Use Of Natural Resources: With Reference To Technological Innovations And Individual Responsibilities	448-453
Salima ATTOUTI, Mourad TERMOUL, Anissa ZERHOUNI, Mokhtar Benallou BENZEKRI Benaouda BESTANI, Noureddine BENDERDOUCHE	The Use Of Local Biomass For The Removal Of Methylene Blue	454
Ghanshyam BARMAN	Membranes Used In Separation Techniques	455
Rozina KHATTAK	Role Of Functional Group In The Kinetics Of Ferrocene Derivatives: Comparative Study	456

COMPARATIVE ANALYSIS OF OIL, PROTEIN, AND COLOR PROPERTIES OF TEREBINTH (*PISTACIA TEREBINTHUS* L.) SAMPLES WITH DIFFERENT PHENOTYPIC CHARACTERISTICS

Dr. Öğr. Üyesi Şakir Selçuk SEÇİLMİŞ

Gaziantep University, Vocational School of Naci Topcuoglu, Department of Food Processing,
27310 Şehitkamil, Gaziantep

ORCID ID: 0000-0003-3415-7420

ABSTRACT

This study aimed to comparatively evaluate oil, protein, and color characteristics of different phenotypic samples of terebinth (*Pistacia terebinthus* L.). Six different terebinth phenotypes (N1–N6) collected from Gaziantep region were analyzed. Oil content was determined by the Soxhlet extraction method, protein content by the Kjeldahl method, and color properties were measured using CIE L*, a*, and b* parameters. The results revealed significant differences among terebinth phenotypes. Oil content ranged from 28.00% (N3) to 46.87% (N6), with the highest value observed in N6. Protein content varied between 9.93% (N5) and 16.13% (N1), with N1 exhibiting the highest protein level. Statistically significant differences were found among all samples in terms of both oil and protein contents ($p<0.05$). Color parameters showed that L*, a*, and b* values ranged between 27.01–34.24, -8.85–0.47, and 1.62–8.49, respectively. Significant differences were also observed among phenotypes in terms of color properties ($p<0.05$), which may be associated with variations in chemical composition. In conclusion, the findings demonstrated that terebinth phenotypes exhibit considerable variation in both nutritional and physicochemical properties. These results provide a valuable basis for selecting phenotypes with superior quality traits and for the potential use of terebinth in functional food applications.

Keywords: Terebinth, *Pistacia terebinthus*, phenotype, oil, protein, color

FARKLI FENOTİPİK ÖZELLİKTEKİ MENENGİÇ (*PISTACIA TEREBINTHUS* L.) ÖRNEKLERİNİN YAĞ, PROTEİN VE RENK ÖZELLİKLERİNİN KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

ÖZET

Bu çalışmada, farklı fenotipik özelliklere sahip menengiç (*Pistacia terebinthus* L.) örneklerinin; yağ, protein ve renk parametreleri açısından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Gaziantep bölgesinden temin edilen altı farklı menengiç fenotipi (N1–N6) analiz edilmiştir. Yağ içeriği Soxhlet ekstraksiyon yöntemi ile, protein miktarı Kjeldahl yöntemi ile belirlenmiş, renk özellikleri ise CIE L*, a* ve b* parametreleri

kullanılarak ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara göre, menengiç fenotipleri arasında belirgin farklılıklar tespit edilmiştir. Yağ içeriği %28.00 (N3) ile %46.87 (N6) arasında değişmiş olup, en yüksek değer N6 fenotipinde belirlenmiştir. Protein içeriği ise %9.93 (N5) ile %16.13 (N1) arasında değişmiş ve en yüksek değer N1 fenotipinde tespit edilmiştir. Tüm örnekler arasında hem yağ hem de protein değerleri açısından istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar bulunmuştur ($p<0.05$). Renk parametreleri incelendiğinde, L^* , a^* ve b^* değerlerinin sırasıyla 27.01–34.24, -8.85–0.47 ve 1.62–8.49 aralıklarında değiştiği belirlenmiştir. Fenotipler arasında renk özellikleri açısından da anlamlı farklılıklar tespit edilmiş ($p<0.05$) olup, bu durumun kimyasal bileşim farklılıkları ile ilişkili olabileceği değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, menengiç fenotipleri arasında hem besinsel hem de fizikokimyasal özellikler bakımından önemli varyasyonlar bulunduğu ortaya konulmuştur. Elde edilen bulgular, yüksek kalite özelliklerine sahip fenotiplerin seçimi ve menengiçin fonksiyonel gıda uygulamalarında değerlendirilmesi açısından önemli bir temel oluşturmaktadır.

Anahtar kelimeler: Menengiç, *Pistacia terebinthus*, fenotip, yağ, protein, renk

1. INTRODUCTION

Pistacia terebinthus L. (terebinth), a wild species native to the Mediterranean basin, is widely distributed in the Southeastern Anatolia Region of Türkiye. Owing to its high adaptability, drought tolerance, and rich chemical composition, it has emerged as a plant of considerable importance in both traditional and industrial contexts. Terebinth fruits are characterized by their high oil and protein contents, abundance of phenolic compounds, and distinctive aromatic profile. In addition, their long-standing traditional use further highlights their value as a natural resource (Chaves Lobon et al. 2023; Badem 2021; Fidan et al. 2023; Batosvka and Inbar 2024).

From a taxonomic perspective, the genus *Pistacia* comprises approximately 12 economically important species, among which *P. vera* (pistachio) and *P. lentiscus* (mastic tree) are the most well-known (Kafkas and Perl-Treves 2001). In Türkiye, two subspecies of *P. terebinthus* (subsp. *palaestina* and subsp. *terebinthus*) have been identified based on leaf and fruit morphology (Browicz et al. 1982). Morphological characterization studies have reported that the plant typically grows between 2 and 10 m in height, often exhibiting a multi-stemmed structure. Its compound leaves consist of 3–7 leaflets, which are generally 2–5 cm in length and 1–2 cm in width (Özcan 2004; Kafkas et al. 2002). Ecologically, *P. terebinthus* is known to thrive in calcareous soils, at altitudes ranging from 0 to 1500 m, and in regions receiving an annual precipitation of 300–800 mm (Quézel and Médail 2003). Moreover, its ability to reduce stomatal density by up to 40% enables a high level of adaptation to arid conditions

(Sofu et al. 2011). Beyond environmental influences, the chemical and physical properties of terebinth are significantly affected by phenotypic variability. Phenotypic diversity, particularly in wild plant species, arises from the interaction between genetic and environmental factors and represents a crucial source of variation. This diversity directly influences the quality attributes of plant-derived products and plays a key role in the selection of suitable phenotypes for specific applications. Therefore, the systematic characterization of phenotypic variation in naturally occurring populations of terebinth is of great importance for both fundamental research and applied sciences.

Studies investigating the utilization of terebinth in food applications remain relatively limited. Traditionally, roasted and ground terebinth fruits are used to produce terebinth coffee, a widely consumed product, which has demonstrated promising antioxidant capacity and favorable sensory properties. In addition, the incorporation of terebinth flour into bakery products such as biscuits and bread has been shown to enhance nutritional value and improve sensory characteristics. Furthermore, terebinth oil, due to its functional properties and high antioxidant capacity, presents significant potential for incorporation into various food formulations (Özcan 2004). A review of the literature indicates that existing studies on terebinth have largely focused on general chemical composition, fatty acid profiles, and antioxidant properties. However, comparative evaluations of different phenotypes remain scarce. In particular, integrative approaches that simultaneously assess key quality parameters such as oil content, protein content, and color characteristics are notably lacking.

In this context, the aim of the present study is to comparatively evaluate terebinth (*Pistacia terebinthus* L.) samples with different phenotypic characteristics in terms of oil, protein, and color parameters, and to elucidate the impact of phenotypic variation on quality attributes.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Samples Collection

In this study, six different phenotypes (N1–N6) of terebinth (*Pistacia terebinthus* L.), naturally growing in Gaziantep and its surrounding regions, were investigated. The samples were selected to reflect phenotypic diversity and were obtained under the coordination of the Pistachio Research Institute in Gaziantep. Fruit samples belonging to each phenotype were harvested at their optimal maturity stage and stored under appropriate conditions prior to analysis. During the sampling process, individuals exhibiting distinct genetic and morphological traits were deliberately selected to ensure heterogeneity. This approach was adopted to better elucidate the influence of phenotypic variation on key quality parameters.

2.2. Color Analysis

The color properties of the samples were determined according to the CIE Lab* color space. Surface color values of terebinth samples were measured in terms of lightness (L^*), red–green axis (a^*), and yellow–blue axis (b^*). Measurements were carried out using a calibrated colorimeter operating under standard D65 illumination and a 10° observer angle. For each phenotype, at least three parallel measurements were conducted, and the results were expressed as mean $\pm$ standard deviation. All measurements were performed under controlled laboratory conditions to minimize external interferences such as ambient light and shadow effects. Additionally, care was taken to ensure surface homogeneity during measurements.

2.3. Determination of Oil Content

The total oil content of terebinth samples was determined using the Soxhlet extraction method. Prior to analysis, samples were homogenized and ground to an appropriate particle size. Approximately 10 g of each sample was placed into extraction thimbles and subjected to Soxhlet extraction using n-hexane as the solvent. The extraction process was carried out for 6–8 hours to ensure continuous solvent circulation and efficient lipid recovery. Following extraction, the solvent was removed, and the residual oil content was determined gravimetrically. The results were expressed as percentage (%) oil content on a dry matter basis. All analyses were performed in triplicate, and results were reported as mean $\pm$ standard deviation.

2.4 Protein Analysis

The total protein content of terebinth samples was determined using the Kjeldahl method according to AOAC method 2001.11. Briefly, homogenized samples were digested in the presence of sulfuric acid (H_2SO_4) along with a catalyst mixture (K_2SO_4 and $CuSO_4$). During digestion, organic nitrogen was converted into ammonium sulfate. The resulting solution was then subjected to distillation under alkaline conditions (by addition of NaOH), and the released ammonia was captured in a boric acid solution. Subsequently, the trapped ammonia was titrated with a standardized hydrochloric acid (HCL) solution to determine total nitrogen content. The measured nitrogen content was converted into total protein using a nitrogen-to-protein conversion factor of 6.25. Results were expressed as percentage (%) protein content. All analyses were conducted in triplicate, and results were reported as mean $\pm$ standard deviation.

2.5 Statistically Analysis

Statistical analyses were performed using the SPSS software package. One-way analysis of variance (ANOVA) was applied to determine significant differences among phenotypes. Following ANOVA, Tukey's multiple comparison test was used to identify differences

between group means. The level of significance was set at $p < 0.05$. All results were expressed as mean $\pm$ standard deviation, based on at least three independent measurements.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The findings obtained from terebinth (*Pistacia terebinthus* L.) samples with different phenotypic characteristics are presented in Table 1. Significant differences ($p < 0.05$) were observed among the investigated phenotypes (N1–N6) in terms of oil, protein, and color parameters. These results indicate that the chemical composition of terebinth may vary depending on phenotypic traits and, potentially, environmental factors.

Table 1. Physicochemical and color properties of *Pistacia terebinthus* L. phenotypes

Phenotypes	Oil Content (%)	Protein Content (%)	L*	a*	b*
N1	44.90 $\pm$ 0.29 ^a	16.13 $\pm$ 0.04 ^a	28.72 $\pm$ 0.04 ^d	-1.99 $\pm$ 0.02 ^d	4.97 $\pm$ 0.02 ^d
N2	43.22 $\pm$ 0.28 ^a	13.04 $\pm$ 0.05 ^b	31.98 $\pm$ 0.03 ^c	-3.97 $\pm$ 0.03 ^c	7.16 $\pm$ 0.02 ^c
N3	28.00 $\pm$ 1.69 ^b	11.25 $\pm$ 0.05 ^c	31.29 $\pm$ 0.03 ^f	0.47 $\pm$ 0.04 ^f	6.36 $\pm$ 0.02 ^f
N4	33.80 $\pm$ 0.80 ^c	13.25 $\pm$ 0.07 ^d	29.14 $\pm$ 0.04 ^b	-0.85 $\pm$ 0.03 ^b	8.49 $\pm$ 0.02 ^b
N5	41.77 $\pm$ 0.59 ^d	9.93 $\pm$ 0.02 ^e	34.24 $\pm$ 0.09 ^e	-8.85 $\pm$ 0.24 ^e	7.81 $\pm$ 0.06 ^e
N6	46.87 $\pm$ 0.55 ^e	12.33 $\pm$ 0.06 ^f	27.01 $\pm$ 0.02 ^a	-1.36 $\pm$ 0.02 ^a	1.62 $\pm$ 0.02 ^a

Values are expressed as mean $\pm$ standard deviation (n = 3). Different lowercase letters within the same column indicate significant differences among phenotypes ($p < 0.05$).

The oil content determined in this study (28.00–46.87%) is consistent with values previously reported in the literature. Terebinth fruits are known to possess high oil content, typically around 40%, as documented in several studies (Seçilmiş et al. 2014; Köten and Kuzucu 2025). For instance, reported values such as 40.27% further confirm that terebinth is an oil-rich species (Köten and Kuzucu 2025). However, the wide variation observed among phenotypes in the present study aligns with the variability reported in previous research. Oil content has been shown to change significantly during the ripening process, increasing from approximately 13.40% to 37.08% (İnan 2021). This suggests that oil accumulation is influenced not only by genotype but also by maturity stage and harvest timing. In this context, the relatively high oil contents observed in phenotypes N6 and N1 may indicate a greater capacity for lipid accumulation. Nevertheless, since maturity level was not evaluated as an independent variable in the present study, further investigation is required to establish this relationship conclusively.

The protein content (9.93–16.13%) was also found to be in agreement with literature values, confirming that terebinth represents a nutritionally valuable resource. Previous studies have reported protein levels of approximately 10% in terebinth fruits (Köten and Kuzucu 2025), along with a generally rich nutritional profile (Altuntaş et al., 2020). The variation observed

among phenotypes indicates that protein content is also influenced by phenotypic diversity. Interestingly, no clear linear relationship was observed between oil and protein contents. This suggests that these two parameters may be regulated by distinct biochemical pathways. However, the current dataset is insufficient to provide a detailed mechanistic explanation, and further studies incorporating metabolic or enzymatic analyses would be required.

Color analysis results revealed notable differences among phenotypes. It is well established that terebinth fruits undergo color changes during ripening, transitioning from green to darker shades (Altuntaş et al. 2020). This indicates that color parameters are influenced not only by phenotypic differences but also by maturity level. Reported literature values for terebinth fruit color parameters are approximately $L^* = 15.44$, $a^* = 3.60$, and $b^* = 11.92$ (Köten and Kuzucu 2025). The deviations observed in the present study may be attributed to phenotypic diversity, as well as differences in growing conditions and sample form. Furthermore, processing treatments such as roasting have been shown to significantly affect color parameters, with measurable changes in L^* , a^* , and b^* values (Seçilmiş et al. 2014). This highlights that color characteristics are influenced not only by intrinsic pigment composition but also by processing conditions.

4. Conclusions

In this study, terebinth (*Pistacia terebinthus* L.) samples with different phenotypic characteristics exhibited significant variations in oil, protein, and color parameters. The results demonstrate that terebinth fruits constitute a nutritionally and functionally valuable raw material, with notably high oil (28.00–46.87%) and protein (9.93–16.13%) contents. The pronounced differences observed among phenotypes indicate that terebinth does not exhibit a uniform compositional profile, and that key quality attributes are strongly influenced by phenotypic variation. In particular, the identification of phenotypes with superior oil or protein contents suggests that phenotype-based selection could be effectively employed to direct terebinth toward specific food applications. Variations in color parameters further support the presence of visual and potentially chemical differences among phenotypes, which may be associated with pigment composition and maturity level. However, more advanced analytical approaches are required to elucidate these relationships in detail. Overall, the findings highlight the importance of considering phenotypic variability in the evaluation of terebinth as a functional food ingredient. Such variability represents a critical factor in product development and raw material selection. Future studies should focus on broader sampling across different geographical locations and incorporate advanced analyses,

including phenolic composition and fatty acid profiling, to provide a more comprehensive understanding of terebinth quality attributes.

REFERENCES

- Altuntaş, E., Gül, E.N., Gök, H. (2020). Menengiç meyve ve tohumlarının fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerinin belirlenmesi. *KSÜ Tarım ve Doğa Dergisi*, 23(6), 1518–1528.
- Badem, A. (2021). Some Traditional Terebinth Dishes in Turkey and Their Health Effects, *J. Gastron. Hosp. Travel*, 4, 306–320.
- Batovska, D. Inbar, M. (2024). Beyond the Nut: Pistacia Leaves as Natural Food Preservatives, *Foods*, 13, 3138.
- Browicz, K., Zieliński, J. Państwowe Wydawnictwo, Naukowe.(1982). *Chorology of Trees and Shrubs in South-West Asia and Adjacent Regions*. Warszawa: Polish Scientific Publishers.
- Chaves Lobon, N., González Félix, M., Alías Gallego, J. C. (2023). Comparison of the Allelopathic Potential of Non-native and Native Species of Mediterranean Ecosystems, *Plants*, 12(4), 972.
- Horwitz, W. (2001) *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 17th Edition, Oxford University Press.
- İnan, M. (2021). Seasonal variation of fatty and essential oil in terebinth (*Pistacia terebinthus* L.) fruit. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 49(1), Article 12171.
- Kafkas, S., Perl-Treves, R. (2001). Morphological and molecular phylogeny of *Pistacia* species in Turkey, *Theoretical and Applied Genetics*, 102(6), 908-915.
- Kafkas, S., Kafkas, E., Perl-Treves, R. (2002). Morphological diversity and a germplasm survey of three wild *Pistacia* species in Turkey, *Genetic Resources and Crop Evolution*, 49(3), 261-270.
- Köten, M. (2021). Influence of raw/roasted terebinth (*Pistacia terebinthus* L.) on the selected quality characteristics of sponge cakes. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 24, 100342.
- Köten, M., Kuzucu, M. (2025). Estimation of some chemical and nutritional characteristics of *Pistacia terebinthus* L. fruits. *Bangladesh Journal of Botany*, 54(2), 393–396.
- Özcan, M. 2004. Characteristics of fruit and oil of terebinth (*Pistacia terebinthus* L) growing wild in Turkey, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(6), 517-520.
- Quézel P., Médail F. (2003). *Ecologie et Biogéographie des Forêts du Bassin Méditerranéen*. Paris: Elsevier.
- Seçilmiş, S.S., Koçak Yanık, D., Göğüş, F. (2014). Processing of a novel powdered herbal coffee (*Pistacia terebinthus* L. fruits coffee) and its sensorial properties. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7), 4625–4630.
- Sofo, A., Palese, A.M., Casacchia, T., Dichio, B., Xiloyannis, C. (2011). Sustainable fruit production in Mediterranean orchards subjected to drought stress. In *Abiotic stress responses in plants: metabolism, productivity and sustainability*. Abiotic stress responses in plants: metabolism, productivity and sustainability.. Editör(ler): Ahmad, P., Prasad, M.N.V. New York: Springer.

HASTANE KORİDORLARINDA İÇSEL DAYANIKLILIK: MARCUS AURELIUS'UN SESSİZ REHBERLİĞİ

Musa ŞENYÜZ

Dicle Üniversitesi Tıp Fakültesi Halk Sağlığı Ana Bilim Dalı, Diyarbakır
ORCID ID: 0009-0002-4853-3060

ÖZET

Modern sağlık sistemleri, yalnızca teknolojik altyapı ve klinik kapasite ile değil, bu sistemleri sürdüren sağlık çalışanlarının zihinsel ve duygusal dayanıklılığı ile varlığını sürdürebilmektedir. Günümüzde sağlık çalışanları; artan iş yükü, zaman baskısı, klinik belirsizlikler, yüksek sorumluluk düzeyi ve yoğun duygusal etkileşimler nedeniyle kronik stres ve tükenmişlik riski ile karşı karşıyadır. Bu durum yalnızca bireysel iyi oluşu değil, aynı zamanda hasta güvenliği, bakım kalitesi ve sağlık hizmetlerinin sürdürülebilirliğini de doğrudan etkilemektedir. Bu nedenle, sağlık çalışanlarının psikolojik dayanıklılığını güçlendirmeye yönelik düşük maliyetli, uygulanabilir ve sürdürülebilir yaklaşımlara duyulan ihtiyaç giderek artmaktadır.

Bu bağlamda, felsefi temelli yaklaşımlar özellikle son yıllarda yeniden ilgi görmeye başlamıştır. Stoacılık, bireyin kontrol edebildiği ve edemediği durumları ayırt etmesine, dışsal olaylara yüklediği anlamı yeniden değerlendirmesine ve içsel dengeyi korumasına odaklanan bir düşünce sistemi olarak dikkat çekmektedir. Roma İmparatoru ve Stoacı filozof Marcus Aurelius'un *Meditasyonlar* adlı eseri, bireyin zihinsel disiplin geliştirmesi, duygusal tepkilerini düzenlemesi ve kaçınılmaz zorluklar karşısında içsel bütünlüğünü koruması üzerine derin içgörüler sunmaktadır. Yaklaşık iki bin yıl önce kaleme alınmış olmasına rağmen bu düşünceler, modern çalışma yaşamının karmaşık ve stres yüklü yapısı içerisinde dikkate değer bir güncellik taşımaktadır.

Sağlık çalışanlarının deneyimlediği psikososyal yükler incelendiğinde, Stoacı yaklaşımın sunduğu kavramsal çerçevenin bu yüklerin anlamlandırılmasında işlevsel bir araç olabileceği görülmektedir. Özellikle kontrol algısının yeniden yapılandırılması, bilişsel yeniden çerçeveleme süreçleri ve içsel dengeyi sürdürmeye yönelik zihinsel disiplin, tükenmişlik ve duygusal yorgunlukla baş etmede önemli bir rol oynayabilir. Bu yönüyle Stoacılık, yalnızca bireysel bir baş etme stratejisi olarak değil, aynı zamanda kurumsal düzeyde eğitim ve destek programlarına entegre edilebilecek teorik bir temel sunmaktadır.

Halk sağlığı perspektifinden değerlendirildiğinde, sağlık çalışanlarının psikolojik dayanıklılığını artırmaya yönelik bu tür yaklaşımlar, yalnızca bireysel refahı değil, aynı

zamanda sağlık sistemlerinin genel performansını da etkileme potansiyeline sahiptir. Bu çerçevede, Marcus Aurelius'un Stoacı düşüncelerinin sağlık çalışanlarının duygusal dayanıklılığı bağlamında yeniden ele alınması, hem teorik hem de uygulamaya dönük katkılar sunabilecek bir inceleme alanı olarak öne çıkmaktadır.

Anahtar kelimeler: Stoacılık, duygusal dayanıklılık, sağlık çalışanları, halk sağlığı

INNER RESILIENCE IN HOSPITAL CORRIDORS: THE SILENT GUIDANCE OF MARCUS AURELIUS

ABSTRACT

Modern healthcare systems rely not only on technological capacity but also on the psychological resilience of healthcare workers. Today, healthcare professionals face significant risks of chronic stress and burnout due to high workload, uncertainty, critical decision-making processes, and intense emotional interactions. This situation affects not only individual well-being but also patient safety, quality of care, and the sustainability of healthcare services. Therefore, there is a growing need for low-cost, practical, and sustainable approaches to enhance psychological resilience among healthcare workers.

In this context, philosophical approaches have recently regained attention. Stoicism, as a school of thought emphasizing the distinction between controllable and uncontrollable factors, cognitive reframing, and the maintenance of inner balance, offers a relevant conceptual framework. The work *Meditations* by Marcus Aurelius provides profound insights into mental discipline, emotional regulation, and maintaining inner integrity in the face of adversity. Despite being written nearly two millennia ago, these ideas remain remarkably relevant in the context of modern healthcare environments.

From this perspective, Stoic philosophy may serve as a useful theoretical framework for understanding and managing the psychosocial burdens experienced by healthcare workers. Concepts such as perceived control, cognitive restructuring, and mental discipline may contribute to coping with burnout, emotional exhaustion, and stress. Beyond individual coping strategies, this approach may also be integrated into institutional training programs and employee support systems.

From a public health perspective, interventions aimed at strengthening psychological resilience among healthcare workers have the potential to improve not only individual well-being but also overall healthcare system performance. In this regard, reinterpreting Marcus Aurelius' Stoic philosophy within the context of healthcare workers' emotional resilience represents a promising area for both theoretical exploration and practical application.

Keywords: Stoicism, emotional resilience, healthcare workers, public health

ÖZEL MÜLKİYETİN ORTAYA ÇIKMASIYLA KADINA BAKIŞ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN SOSYOLOJİK VE ANTROPOLOJİK TEMELLERİ BAKIMINDAN KISA BİR ELEŞTİRİ

Dr. Öğr. Üyesi Kadir YILMAZ

Karabük Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi, Psikoloji Bölümü, Karabük, Türkiye

ORCID ID: 0009 0009 7677 9659

ÖZET

Toplumlarda özel mülkiyet ilişkisi ataerkil yapının güçlülüğü ve yaygınlığından dolayı erkek cinsiyeti ile yakından alakalı olarak ele alınmaktadır. Bu konuda birçok meta ürünü özel mülkiyet çerçevesinde incelenebilmektedir. Bu bağlamda kadın ortak yaşamın vazgeçilmez ögesi olmasına rağmen tarih boyunca ikincil planda kalmakta ve günümüzde toplumsal yeri bakımından çokça ele alınmaktadır.

Özel mülkiyet bakımından ele alındığında ise birçok toplumun normlarının gelişmesinde kadına farklı bir gözle bakılmakta ve üzerine birçok rol yüklenmektedir. Tarihsel olarak kadının domestik işlerle ilgilenmesi, hane geçiminde daha pasif bir rolde olması ve anne-eş kimliğinin baskınlaştırılması sonucunda hane reisinin mülkiyetinde görülmesi sorunların başlangıç noktasını oluşturmaktadır. Bu bakımdan çalışmamızda ekonomik ve toplumsal yönü bakımından kadın ele alınmıştır. F. Engels'e göre özel mülkiyetin gelişmesiyle birlikte erkek egemenliği kurumsallaşmış, kadın ise mirasın ve soyun denetimi açısından kontrol altına alınmıştır. Bu bakış kadının mülkiyetin taşıyıcısı yerine mülkiyet aktarıcısı rolünü pekiştirmiştir. Bu anlamda emek, beden ve doğurganlık bağlamında kadın üzerinde hak iddiası ve denetimi meşrulaştırılmaya çalışılmıştır. Kadın sadece nesnel değil, kocasının malı, aile ve çevrenin namusu, soyun ari bir biçimden gelecek nesillere aktarılması bakımından toplumsal çerçevede konumlandırılmaktadır. Kadının kontrolü, sahipliği, kısıtlanması bakımından, ayrıca ataerkil yapının korunması bakımından gerektiği de zorlama ve şiddet yoluyla normlara uyması sağlanmaktadır.

Kadına karşı şiddetin sadece sapkın bir davranış olarak ele alınmasını reddeden eleştirel kuram bu olguyu tarihsel ve yapısal bir bağlanma ele alarak incelemektedir. Çalışmamız eleştirel olgu temelinde ele alınarak farklı bir yaklaşım sunmaktadır. Bu anlamda politikaların geliştirilmesinde ve uygulamasında kadına şiddetin çıkış yollarını genişletileceği düşünülmektedir. Bu anlamda konunun ekonomik eşitlik ve mülkiyet ilişkilerinin yeniden ele alınması bakımından anlamlı olabilir.

Anahtar Kelimeler: Kadına yönelik şiddet, özel mülkiyet, patriyarka, toplumsal cinsiyet, kapitalizm

A BRIEF CRITIQUE IN TERMS OF THE SOCIOLOGICAL AND ANTHROPOLOGICAL FOUNDATIONS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN THE EMERGENCE OF PRIVATE PROPERTY AND THE VIEW OF WOMEN

ABSTRACT

In societies, the relationship of private property is often closely associated with the male gender due to the strength and prevalence of patriarchal structures. In this context, many commodities and relations of production are examined within the framework of private property, while women—despite being indispensable elements of communal life—have historically been positioned in a secondary role. Today, women’s social position is widely debated in light of this historical background.

From the perspective of private property, women have been perceived differently in the formation of social norms, and various roles have been imposed upon them. Historically, women’s confinement to domestic labor, their marginal role in household subsistence, and the prioritization of their identities as mothers and wives have led to their being regarded as part of the property of the male head of the household. This constitutes one of the fundamental starting points of existing inequalities and problems.

In this study, women are addressed in both their economic and social dimensions. According to F. Engels, with the development of private property, male dominance became institutionalized, and women were brought under control in terms of regulating inheritance and lineage. This perspective has reinforced the positioning of women not as holders of property, but as instruments in the transmission of property. In this sense, claims over and control of women’s labor, bodies, and reproductive capacities have been legitimized.

Women have not only been objectified but have also been socially positioned as the “property” of their husbands, the “honor” of the family and community, and as bearers of the “purity” of lineage. Control and restriction over women have been maintained—at times through coercion and violence—in order to preserve patriarchal structures.

Rejecting the notion that violence against women is merely a deviant individual behavior, critical theory examines this phenomenon within its historical and structural context. This study, grounded in a critical perspective, aims to offer an alternative approach. In this regard, it is expected that both the development and implementation of policies can be improved, and that pathways to addressing violence against women can be expanded. Reconsidering economic equality and property relations, in particular, may provide a meaningful framework for such efforts.

Keywords: Violence against women, private property, patriarchy, gender, capitalism

1. GİRİŞ

Kadına bakış açısından özel mülkiyet, kadına şiddet ve ataerkilliğin ortaya çıkış sürecinin tarihsel bağlamda sosyolojik ve antropolojik incelemesi yapılırken, tarihsel süreç içerisindeki değişimlerden bağımsız olarak konuyu ele almak tam çerçeveyi çizme bakımından eksik kalacaktır. Bu amaçla, konu, ilkel komünal toplum yapısından günümüze kadarki süreçte kadın aile ve doğurganlık rolü bakımından kısaca ele alınacaktır.

Aile ile ilgili fikirlerin ve farklılıkların dile getirildiği birçok görüş olsa da eleştirel yaklaşım kendine özgü biçimde konuyu ele almaktadır. Ailenin tarihsel gelişimi ve değişimi sürecinde birlik ve karmaşıklık kavramları özelinde toplumsal yapı analiz yapılmaktadır. Ailenin sıkı bir birlik durumunda olduğu yerde ilkel toplulukların meydana geldiğini görmüyoruz. Tersine nerede karma karışık ilişkilerin ya da ‘çok-karılılık’ durumu hüküm sürerse, orada, adeta doğal bir biçimde ilkel toplulukların kurulduğu düşüncesini ileri sürerek bu durumu hayvanlar özelinde de açıklanmaktadır (Engels, 2003). Emek ile hayvanlıktan kurtulan ilkel insanların ailenin kurulmasında öncülük ettiği dile getirilmektedir (Engels, 2003). Çok eşlilikten kurtulma yoluyla insanlığa geçildiği ve sonuç olarak aile ve sahiplenme durumuna gelindiği görülmektedir. Kıskançlık kavramının önceden görülmeyip sonradan gelişen bir duygu olmasının nedenlerinden biri muhtemelen bu aile birliğinin kurulması olabilir. Daha önceki gruplar halinde yaşama pratiğinde erkeklerin kadın sıkıntısı çekmemesi hatta istediklerinden çok kadına sahip olabilmek durumuna rağmen, ilk karı-koca evliliğine geçişte kadınlar az bulunan ve aranan bir şey haline gelmiştir. Kadınların kaçırılması ve satın alınması yoluyla evlilikler görülmeye başlanmıştır. Başlık parası kavramı beklide bu durumun doğal bir sonucu olarak çıkmıştır. Erkek tarafından hesaplanan bir soy zinciri ve miras düzeni babalık hukuku denilen yeni bir duruma yol açmıştır. Erkeklerin tekeli egemenliğinin aile ile başladığı düşünülse de ‘familia’ Romalılar tarafından tek bir adama ait köleler bütünü -evcil köle- anlamına gelmekteydi (Engels, 2003). Babalık hukukuna geçişin en bariz örneği çocuklara babalarının soy ismini vermekle başladığı ve bunun en doğal geçiş olduğu belirtilmiştir (Morgan, 1877). Analık hukukunun yerini tamamen erkeklere bırakılması tekeli erkek yapısının ailede egemen olmasını sağlamıştır.

Yeni aile tipinde babaları kesinlikle bilinen çocuklar ki bu çocuklar direk mirasçı olacaktır ve karısını boşama hakkı sadece sadakatsizlik hakkı hariç erkeğin yetkisine geçmiştir.

Marx ve Engels ilk işbölümünün erkekle kadın arasında döl verme bakımında yapılan işbölümü olarak, ilk sınıf çatışmasını karı-koca evliliği içinde, ilk sınıf baskısının da dışı cinsin erkek cins tarafından baskı altına alınmasıyla başladığını belirtir (Engels, 2003)

Evlilik ilişkilerinin geçmişten günümüze kadarki serüveninde kapitalist üretim biçiminin etkisini görmekteyiz bu üretimin kurduğu mülkiyet koşulları ve bu koşulların erkeğin kendisine geçen belirleyici koşulların tümü evlilik ilişkisini ve kadın erkek konumunu belirlemektedir. Bu nitelikler içinde erkeğin üstünlüğü özel mülkiyet içinde kadına sahip olmak şeklinde gerçekleşmektedir.

Foucault (2019), kadına iktidarın özellikle kadın bedenini kontrol altına alma ve mülkleştirme gözüyle bakar. Kadının cinsellik ve beden ilişkisi içinde disipline edilen bir varlık bir mülk olarak yeniden yapılandırılması eleştirmiştir. Aile özel mülkiyetin aktarılması işlevini yaparken burada en önemli araç kadındır. Kadının denetimi miras hukuku ve babalık hukuku bakımından gereklidir. Özel mülkiyet düzeni kadının denetlenmesiyle mümkün olacaktır. Ayrıca özel mülkiyetin aktarımını yapan kadın aslında kendisi özel bir mülkiyet olarak da görülmektedir.

Foucault'nun (2019) tabiriyle disiplinci olmayan bu yeni iktidar, insanlarla bedensel anlamda yaşayan, canlı varlıklar olarak ilgilenmektedir. Disiplin denilen şey bireysel bedenleri gözetleyecek, eğitecek, kullanacak ve belki de cezalandıracaktır. İşte yeni teknoloji bireyleri beden oldukları için değil; doğum, ölüm, hastalık, yaşama gibi insana özgü süreçlerden etkilendiği için ilgilenmektedir (Foucault, 2021). Yani, önce bireyselleştirme yapılarak beden üzerinde iktidar kurulmakta, ardından da insan yönünde gerçekleşen bir iktidarın kuruluşundan söz edilmektedir.

2. KURAMSAL ÇERÇEVE

Kadına şiddet konusu günümüz toplumlarının ortak sorunu olarak karşımıza çıkmakta ve her gün medya haberlerinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Gelişmemiş ve gelişmekte olan ülkelerde sıklıkla bu sorun görülse de gelişmiş toplumlarda da önemli bir yer tutmaktadır. Şiddet kavramı sadece fiziksel şiddet olarak kalmayıp, cinsel, sözel, ayrımcılık ve mobbing şeklinde de görülmektedir. Her kadının hayatları boyunca yakın ve uzak kişiler tarafından şiddete uğradığı yapılan sayısız araştırmalar tarafından ortaya konulmaktadır. Toplumsal cinsiyet eşitsizlikleri bağlamında bu sorun Türkiye'de de görülmektedir. Toplumsal yapının bu eşitsizliği ürettiği ve şiddetin sadece bireysel bir cinnet hali, psikolojik sorun, öfke vs. şeklinde ele alınmasının doğru olmadığı düşünülmektedir.

Bireysel ve kültürel olarak ele analizi yerine mülkiyet ilişkisi bağlamında incelemek yerinde olacaktır. Özel mülkiyet kavramı beraberinde ekonomik bağımlılık ve ataerkil yapı ilişkisini de getirmektedir.

Günümüz olay ve olgularının kendiliğinden ortaya çıkmadığı, şiddetin tarihsel ve yapısal kökenlerinin bugünü anlamaya ışık tutacağı düşünülmektedir. Marksist ve feminist kuramalar

bu çalışma bakımından daha elverişli bir çerçeve oluşturduğundan dolayı kuramsal çerçevemizi temellendirmektedir.

Klasik Marksist yaklaşımın temsilcisi olan Friedrich Engels (2003), ‘Ailenin, Özel Mülkiyetin ve Devletin Kökeni’ adlı eserinde, kadınların tarihsel olarak ikinci plana itilmesini özel mülkiyetin ortaya çıkışıyla açıklar. Tarihsel köken bakımından ele alındığında, günümüz toplumuna göre ilkel komünal toplumlarda görece daha eşitlikçi ilişkilerin toplum içerisinde var olduğu öne sürülmektedir. Ortak yaşamın getirmiş olduğu şartlar bakımından özel mülkiyetin ortaya çıkmaması, kaynakların yeterliliği ve sınıfsal farklılaşmanın olmaması ilişkilerin hiyerarşik bir yapıda olmasını engellemekteydi.

Yerleşik hayata geçiş, birçok toplumda farklı şekillerde ve farklı zamanlarda gerçekleşmiştir. Bazı toplumlar su ürünleri, bazı toplumlar tarımsal faaliyetler, bazıları ise hayvancılık bakımından yerleşik hayatın üretim araçlarını kullanmaya başlamışlardır. Yerleşik heyet sahiplik kavramını beraberinde getirerek özel mülkiyet olgusunun ortaya çıkmasını sağlamıştır. Özel mülkiyetin gelişimi beraberinde birçok değişikliklere neden olmuştur. Toplumsal tabakalaşma sonucu insanlar arası eşitsizlikler artmış ve cinsiyet bağlamında da erkek egemenliğinin ortaya çıkarak belirginleşmesine neden olmuştur. Cinsiyete dayalı işbölümü neticesinde kadının konumu ev içi işler ve çocuk bakımı şeklinde belirginleşmeye başlamış, bunun neticesinde de ekonomik bağımlılık durumu ortaya çıkmıştır. Klasik Marksist yaklaşımın olayı değerlendirmesi bu bağlamda kadına şiddetin ekonomik güç ilişkilerinin sonucunda oluştuğu şeklinde olmuştur.

Marksist feminist yaklaşım kadın emeğinin kapitalist sistem tarafından sömürülmesi olarak konuya yaklaşmıştır. Ev içi emeğin kapitalist üretim için önemli bir işlev gördüğünden bahsedilmektedir. Herhangi bir ücrete tabi olmayan ev işleri ekonomik yönden etkisiz olduğundan dolayı değerli de değildir. Bu durum kadınların ekonomik bağımlılığının nedenidir (Federici, 2004).

Değersizleşen kadın emeğinin sebepleri arasında patriyarka ile kapitalist üretim ilişkisinin yattığı belirtilmektedir (Hartmann, 1979). Kapitalizmin doğuşu ile birlikte sanayi şehirlerine göç ve sonuçta bir fabrikada işe girme erkekler tarafından yapılmaktaydı. Kadın ise ev işleri, çocuk bakımı, yemek yapmak gibi işlerin sorumlusu olarak erkeğin bir sonraki gün kapitalist üretime hazır hale gelmesini sağlamaktaydı. Bu durum emeğin yeniden üretimi (reproduction) olarak adlandırılmaktadır. İşçi bir sonraki iş günü için fiziksel ve zihinsel olarak hazır olmalı ve emeğinin karşılığında artı değer üretmeye devam etmeliydi. Bu durumu evdeki kadınlar tarafından gerçekleştirildiğinden dolayı aslında onların da üretime dolaylı yoldan katkısı olmaktadır. Fakat bu yönlerinden ziyade, kadınların bedenleri ve üreme kapasiteleri

üzerindeki kontrolün patriyarkanın gelişmesine neden olduğu belirtilmektedir (Lerner, 1986). Erkek egemenliği bir taraftan da politik bir sistem olarak tanımlanıp, şiddeti bu sistemin aracı olduğu görüşü radikal feministlerce ileri sürülmüştür (Millet, 1970). Erkek egemenliğinin kültürel olarak gelişimi ‘sembolik şiddet’ kavramıyla açıklanmıştır (Bourdieu, 1998). Şiddetin zayıflamasında ve kadınların şiddete karşı mücadelesinin arkasında ekonomik bağımsızlıkları elde etmeleri, gelir kaynaklarına sahip olmaları ve mülkiyete erişmelerinin önemli bir yer tuttuğu düşünülmektedir. Bu durum çalışmanın konusu bakımından bu kavramların arasındaki sıkı ilişkiye vurgu yapmakta ve önemini artırmaktadır.

3. ÖZEL MÜLKİYET

Herhangi bir mal, para veya eşya üzerinde bir kişinin hak iddia etmesi ve onun kullanımını bir kişi veya zümreye ait olması anlamına gelen özel mülkiyet kişinin mal varlığını koruma amaçlı olsa da beraberinde birçok yapısal sorunu da beraberinde getirmektedir. Ekonomik olarak kullanımının yaygınlığı yanında sosyal yönü de kuvvetli olan bu kavram bir taraftan sahiplik içerse de diğer yandan sahiplenilen, olgusunu da içermektedir. Özel mülkiyet altında olanlar kullanma, yararlanma ve tasarrufu bakımından onu kullanana aittir. Kadın ve çocuk tıpkı menkul veya gayri menkullerde olduğu gibi sahiplenilen tarafından kullanılan bir nesne durumuna gelmiştir. Kültürel olarak boşanmış bir kadının hala erkek tarafından sahiplenilmesi ve kendisinin mülkü olarak görülmesi durumu bu konunun ne kadar kronik bir rahatsızlık olduğunu göstermektedir. Kadına şiddetin en üst seviyesi olan kadın katlini ‘namus’ olarak meşrulaştırılmaya çalışılarak erkeğin bu fiili karşısında pişmanlık ve üzüntü göstermeyip görevini layıkıyla yerine getiren bir kahraman olarak görülmesi toplumsal bir hastalık olmaktan öteye gidemez. Özel mülkiyet ortaya çıkışı bakımından kapitalizm ile ilişkilendirirlerken bir taraftan da kapitalizmin temelini oluşturmaktadır. Hukuken koruma altında olan özel mülkiyet bir taraftan ekonomik ilişkiler içinde var olup, üretim ve sahiplenme işlevini getirirken diğer taraftan insanların da bu şekilde görülme riskini meşrulaştırmaktadır. Kadın bu sistem içinde zamanla bir mülk ve sahiplenilen olarak görülmeye başlamış ve birileri tarafından üzerinde hak iddia edilmiştir. Bu nedenle kadın ve özel mülkiyet ilişkisi konumuzun temel çıkış noktasını oluşturmaktadır. Tarihsel olarak şekillenen ve mülkiyet ilişkileri ve iktidar olgusuyla kadın ve kadına şiddet çoğunlukla birlikte anılmaktadır.

4. KADINA ŞİDDET

Kadına şiddet birçok toplumsal yapıda kendine özgü kavram ve pratiklerle kendini göstermektedir. Özel mülkiyet olarak görülmeye paralel olarak kadın özel alan içerisinde konumlandırılmaktadır. Eşler arasında olan mahrem konular olarak görülmesi nedeniyle aile

İçerik mesele olarak konuya yaklaşımlar ülkemiz başta olmak üzere birçok yerde en önemli meşrulaştırma mekanizması olarak karşımıza çıkmaktadır. Çoğu zaman şiddetin görünmez kalmasında ayrıca hukuken müdahaleye uğramamasının nedeni olarak bu ‘mahrem’ zırhının arkasında kalmış olması yer almaktadır. Karı-koca arasında olur böyle şeyler, kol kırılır yen içinde kalır, kocası sever de döver de karı koca arasına girilmez, çok da büyütmemek gerekir, kocaya itaat lazım, aman sen ses çıkartma, vs. gibi halk arasında söylenen bu düşünceler etkili olmakta ve içselleştirilmektedir. Sosyalizasyon süreci içerisinde bu tür ilişkilere maruz kalan bireyler bu durumu bir şekilde normalleştirmeye de başlamaktadırlar. Birçok olayda her gün şahit olunan şiddet özellikle çocuk ve kadına karşı olanı çoğunlukla yakınlar tarafından gösterilmektedir. Bu durum şiddetin gizlenmesinin temel sebebidir. Çünkü özel alanlar olarak görüldüğünden, özel mülkiyet kavramıyla örtüşmektedir. Koruma altında olan özel mülkiyetin tasarruf yetkisi sosyal alanda ataerkil ailenin mahremiyeti ve ailenin kontrolünün de erkek egemen ataerkil zihniyetle bağdaştırılmaktadır. Mülk kişinin hakkı ise istediği gibi onu kullanır.

Ülkemizde başka kültürlerde karşılaşılmayan özel kavram ve düşünme biçimleri kadına şiddet ile eşleştirildiğinde, konu daha da aydınlanmaktadır. Kültürümüzde ana-bacı, yenge, ırzın korunması, namus gibi kavramlar ile kadın eşleştirildiğinde mahremiyet sınırı içinde kalmaktadır. Namus, kadının bedeni üzerinde erkek egemen yapı tarafından kurulan mülkiyet ve kontrol denetimi ile ifade edilmektedir. Kontrol sadece doğurganlık ve cinselliğin kontrolü ile kalmayıp, ev ve toplum içindeki davranışları, giyim kuşamı ve hal ve hareketleri erkek ve erkeğin yakınları tarafından kontrol edilip sınırlamalara uğramaktadır. Kontrol altındaki kadın bu gizli normlara uyduğu sürece sorun olmamakla beraber, ihlali durumunda cezalandırılmakta yani şiddete maruz kalmaktadır. Kadın özgür bir birey olarak kendi düşünce ve davranışlarını belirleyen değil, aile içinde konumlandırılan ve anlamını bu şekilde bulan, aileye ait bir değer olarak algılanmaktadır.

Kültürel olarak örf ve adetlerde yerini bulan bazı ilişki örüntüleri de kadının konumu hakkında bilgi vermektedir. Namus meselesi, başlık parası gibi uygulamalar kadının aidiyetliğini belirleyen ve bir değişim nesnesi olarak görülmesi durumunu meşrulaştırmaktadır. Kadın alınıp satılan bir meta haline gelmektedir. Toplum içerisinde var olan bu yapının medya aracılığı ile yeniden üretilmesi, kültürel olarak bu tür olguların normal karşılanmasına katkıda bulunan bir başka bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Ülkemizin belli bölgelerini öne çıkaran dizi ve filmlerde kadının geleneksel rolü içerisinde konumlandırılması ve erkek egemen bakış açısıyla üretilmesi olgusunu her gün görmektedir. Toplumsal olarak yeniden ve yeniden üretilen bu sağlıklı ilişkilerin

denetiminin yapılması ancak sosyal bilimlerin pratiklerinden haberdar olan kişilerce mümkün olmaktadır. Kadına yönelik şiddetle mücadele konusunda Türkiye’de önemli yasal düzenlemeler yapılmış olsa da uygulamalar bakımından bu durumun politik bir yaklaşım olarak ele alınması toplumun geleceği bakımından sağlıklı görülmektedir.

5. SONUÇ

Kadına bakış ve şiddet konusu özel mülkiyet ilişkisi içerisinde ele alınmasına rağmen açıkça doğrudan bir ilişki olarak anlamlandırılması eleştiri almakla birlikte, dolaylı yönden ve çok katmanlı bir düzlemde görülmektedir. Özel mülkiyetin birçok alanda ekonomik eşitsizliği artırdığı ve bazı kesimleri bağımlı hale getirdiği gerçeği toplumun bireyleri arasında görüldüğü gibi kadına yönelik şiddetin de bir parçası olmaktadır. Bir başka sorunun şiddetin normalleşmesinde kültürel yönden meşrulaştırma mekanizmalarının devrede olması toplumun kendine has patriyarka üretmesine sebep olmaktadır. Tarihsel süreç içerisinde bu konunun kapitalizmin doğuşuyla birlikte ele alınmasının ve kadın emeğinin değersizleştirilmesinin bu dönemle sınırlı kalarak incelenmesi gerekmektedir. Yoksa bu olgunun tarih boyunca böyle olduğuna dair genellemeler sistematik açıdan eleştirilere neden olabilir. Özel mülkiyet ilişkileri ve ataerkil yapı, kadınların ekonomik ve toplumsal olarak dezavantajlı konumda kalmasına neden olan yapısal bir sorundur denilebilir. Kadınların ekonomik bağımsızlıklarını artıracak sosyal politika ve kanuni düzenlemeler eşitlikçi bir yaklaşım çerçevesinden yeniden ele alınmalıdır. Şiddetle mücadele konusunda kurumsal mekanizmaların güçlendirilerek, toplumsal cinsiyet eşitliğinin düzenlemeler ve eğitim yoluyla ayrıca medya vasıtasıyla korunması ve görünür kılınması gerekmektedir. Gelişmişlik ve olumlu toplumsal ilişkilerin kurulup kolanmasında zihniyet oluşumu gerçekleştirilmelidir. Gelişmiş toplum özelliğinin spesifik bir örnekle açıklanmasında ‘bir kadının, gece korkmadan tek başına sokağa çıkabildiği bir toplum gelişmiş toplumdur’ yargısı konumuz ve tüm diğer ilişkiler bakımından çok değerli görülmektedir.

Sonuç olarak, kadına yönelik şiddet dünyada olduğu gibi Türkiye’de de yalnızca bireysel durum olarak ele alınmamalıdır. Çalışmada belirtildiği gibi özel mülkiyet ilişkileri, ataerkil kültür ve ekonomik bağımlılık üçgeninde üretilen yapısal bir sorun olduğu düşünülmektedir. Bu yapıyı dönüştürmeden şiddetin kalıcı biçimde ortadan kaldırılması mümkün görünmemektedir.

KAYNAKÇA

- Bourdieu, P. (1998). *Masculine Domination*. Stanford University Press.
Engels, F. (2003). *Ailenin Özel Mülkiyetin ve Devletin Yapısı*. Eriş Yayınları.
Federici, S. (2004). *Caliban and the Witch*. Autonomedia
Foucault, M. (2019). *Özne ve iktidar* (F. Keskin, Yay. Haz.) (6. Baskı). İstanbul: Ayrıntı Yayınları.

- Foucault, M. (2021). Toplumunu savunmak gerekir (Ş. Aktaş, Çev.). (9. Baskı). İstanbul. Yapı Kredi Yayınları.
- Hartmann, H. (1979). "The Unhappy Marriage of Marxism and Feminism."
- Lerner, G. (1986). The Creation of Patriarchy. Oxford University Press.
- Millett, K. (1970). Sexual Politics. Doubleday.
- Morgan, L. H. (1877). Ancient Society. London.

SOSYAL BİLİMLERDE ELEŞTİREL DÜŞÜNME VE KISITLARI: GÜNCEL YAKLAŞIMLAR ÇERÇEVESİNDE YENİ BİR DEĞERLENDİRME

Dr. Öğr. Üyesi Kadir YILMAZ

Karabük Üniversitesi, İnsan ve Toplum Bilimleri Fakültesi,
Psikoloji Bölümü, Karabük, Türkiye
ORCID ID: 0009 0009 7677 9659

ÖZET

Çalışmamız, sosyal bilimler alanında eleştirel düşüncenin önemi ve olası sınırlılıklarının neler olması üzerinedir. Sınırsız bir eleştirinin ilerlemeye katkısı düşünüldüğünden az olabilir. Çalışmamız, kontrolsüz ve aşırı eleştirinin neden olabileceği olumsuzluklar göz önüne alınarak şekillenmiştir.

Sosyal bilimler, insan ve topluma dair olan her şeyin araştırıldığı, incelendiği ve üzerine tezler üretildiği geniş bir alandır. Bakış açıları ve konuların ele alınış biçimleri bakımından çok farklı yaklaşım ve kuramları içinde barındıran sosyal bilimler anlama, nedenler bulma, işlevlerin ve yapının tanımlarıyla da uğraşır. Bu arada yapılan çalışmaların salt doğruyu bulmak yerine bulunanın farklı bir bakış açısıyla değerlendirilmesini de içerir. Bu aşamada eleştirel düşünme karşımıza çıkmaktadır.

Sosyal bilimlerde eleştirel düşünme, toplumsal olayları, fikirleri ve varsayımları olduğu gibi kabul etmeyi eleştirir. Eleştirel yaklaşım, tutarlı, kanıta dayalı, önyargılardan arınmış ve derinlemesine sorgulama süreci olarak karşımıza çıkmaktadır. Eleştirel yaklaşım, bilgiyi analiz ederek, değerlendirmeler yapma ve sonuçta yapılandırma becerilerini içermektedir. Yaşadığımız çevreye ve topluma karşı en yakın bilgiye sahip olan bireyler bu konuda eksiklikleri ve aksamalarında farkına varabilmektedirler. Anlamlandırma sosyal bilimlerin bir yanını oluştururken bir taraftan da politika yapıcılarına tavsiyeler verme görevini de yürütmektedir. Yani sosyal dünyayı sadece anlamakla kalmaz, aynı zamanda dönüştürmeyi de amaçlar bu bakımdan aktif, çok boyutlu ve bağımsız bir düşünme yöntemidir. Bununla beraber, kontrolsüz veya aşırı kullanımı çeşitli olumsuzluklara neden olabilmektedir. Çalışmada karar alma süreçlerinin yavaşlaması, aşırı kuşkuculuk, toplumsal ilişkilerde gerilim ve bilgiye yönelik göreceli yaklaşımların güçlenmesi gibi etkiler üzerinde durulmuştur. Literatür temelli yapılan bu değerlendirme, eleştirel düşünmeyi reddetme yerine dengeli ve bağlama duyarlı biçimde kullanılmasının önemine dikkat çekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Eleştirel düşünme, sosyal bilimler, bilgi kuramı

CRITICAL THINKING AND ITS LIMITATIONS IN THE SOCIAL SCIENCES: A NEW ASSESSMENT WITHIN THE FRAMEWORK OF CURRENT APPROACHES

ABSTRACT

Our study focuses on the importance of critical thinking in the field of social sciences and its possible limitations. The contribution of unbounded criticism to progress may be less than often assumed. The study is shaped by considering the potential negative consequences of uncontrolled and excessive criticism.

The social sciences constitute a broad field in which everything related to human beings and society is investigated, analyzed, and theorized. Containing diverse perspectives and theoretical frameworks in terms of approaches and subjects, the social sciences engage not only in understanding but also in identifying causes, functions, and structures. Research in this field does not merely seek to find the truth but also includes reassessing existing findings from different viewpoints. At this point, critical thinking comes into play.

In the social sciences, critical thinking questions the passive acceptance of social phenomena, ideas, and assumptions. The critical approach appears as a consistent, evidence-based, unbiased, and deeply analytical process of inquiry. It involves the skills of analyzing information, making evaluations, and structuring conclusions. Individuals who are closest to their social environments and communities can become aware of deficiencies and dysfunctions. While interpretation is one side of the social sciences, they also serve the purpose of providing recommendations to policymakers. Thus, social sciences not only aim to understand the social world but also to transform it—making critical thinking an active, multidimensional, and independent mode of thought.

However, the uncontrolled or excessive use of critical thinking may lead to certain negative outcomes. This study discusses effects such as the slowing down of decision-making processes, excessive skepticism, tension in social relations, and the strengthening of relativistic approaches to knowledge. Based on a literature review, the evaluation highlights the importance of employing critical thinking in a balanced and context-sensitive manner rather than rejecting it altogether.

Keywords: Critical thinking, social sciences, epistemology

1. GİRİŞ

Sosyal bilimler birçok bilginin çalışılıp, depolandığı bir alan olarak karşımıza çıkmaktadır. Sosyal olan olay ve olguların karmaşıklığı ve iç içe geçmişliği iki olgunun doğrudan birbirini etkilemesi gibi basite indirgenemeyecek kadar zordur. Birçok olgunun birbirini etkileme olasılığının olması geniş kapsamlı bir bakış açısını da zorunlu kılmaktadır. "Bir toplumsal

olgu ancak başka bir toplumsal olgu ile açıklanabilir" ilkesi, Emile Durkheim tarafından sosyolojik yaklaşımın metodolojisi içerisinde yer almaktadır (Durkheim, 1994). Bu ilke Durkheim tarafından sosyolojinin bir bilim olarak görülmesi çabasının sonucudur. Temel yöntem kuralı olarak bu ilkenin ortaya atılmasının arkasında sosyolojiyi bağımsız ve nesnel bir bilim haline getirmek içindir.

Sosyal bilimlerde olgular bireyin dışındadır ve başka bir olguyla beraber bulunur. Bilgilerimizin oluşmasında bu olgulardan faydalanılır. Sosyal bilimlerde bilgi üretimi yalnızca olguların analizine dayanmamakla birlikte aynı zamanda bu olguların nasıl anlamlandırıldığı ile ilgilidir. Olguların anlaşılması çabası içerisinde birçok farklı bakış açısı gelişmiştir. Bunlardan biri olan eleştirel düşünme, sosyal gerçekliğin sorgulanmasında merkezi bir rol oynamaktadır. Günümüzde eleştirel düşünmenin işlevi, yalnızca klasik kuramsal çerçevelerle açıklanamayacak kadar karmaşık halde olduğundan dolayı, eleştirel düşüncenin yeniden ele alınarak yeni bir bakış açısıyla değerlendirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

Özellikle günümüzde etkili olan dijitalleşme ile, bilgi üretim süreçleri dönüştürülmüş ve yeni güç ilişkilerinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Bu durum, eleştirel düşünmenin hem kapsamını genişletmiş hem de sınırlarını görünür kılmıştır (Zuboff, 2019). Bu çalışma, eleştirel düşünmenin bu çift yönlü doğasının analizini amaçlamaktadır.

2. KURAMSAL ÇERÇEVE

Sosyal gerçekliğin sorgulanmasında temel bir araç olarak karşımıza çıkan eleştirel düşünme, bir yandan güçlü bir yöntem olmakla birlikte sınırsız değildir. Çalışmamızda eleştirel düşüncenin sınırlarını analiz ederken ortaya çıkışından bahsedilecektir. Eleştirel düşünme kavramı pozitivist epistemolojiye karşı gelişen yorumlayıcı ve eleştirel kuramlarla birlikte ortaya çıkmıştır. Bu yaklaşımlar, bilginin nesnel ve tarafsız olmadığı, aksine toplumsal ve tarihsel bağlamlar içinde üretildiğini savunarak katı pozitivist görüşün dışına çıkarak kendi içsel neden sonuç ilişkilerini kurmayı amaçlar. Pozitivizm, nesnellik ve ölçülebilirlik üzerinden bilgi üretimini savunurken, eleştirel yaklaşımlar, bilginin toplumsal olarak inşa edildiğini ileri sürer.

Eleştirel kuram, bilginin tarafsız olmadığını ve güç ilişkileri tarafından şekillendirildiğini savunur. Bu bağlamda eleştirel düşünme, yalnızca analiz değil aynı zamanda bir “ifşa etme” pratiğidir. Bu aşamada karşımıza birçok yaklaşım eleştirel düşünmeyi geniş bir bantta ele almaktadır. Örneğin epistemik adaletsizlik kavramı, bilgi üretim süreçlerinde bazı aktörlerin sistematik olarak dışlandığını ortaya koyar (Fricker, 2017). Benzer şekilde dekolonyal yaklaşımlar, Batı-merkezci bilgi üretimini eleştirerek alternatif epistemolojilerin önemini

vurgular (Mignolo & Walsh, 2018), (Bhambra, 2018). Kuramsal çerçevemiz dahilinde pozitivizm eleştirisi, güç ve ideoloji analizi ayrıca toplumsal dönüşüm potansiyeli üzerinde fikirlerin analizi yapılmıştır.

3. ELEŞTİREL DÜŞÜNME

Eleştirel düşünme özünde üzerinde kabul görmüş toplumsal olguların doğal yollarla ortaya konulmasının aksine, olguların arka planın daha önemli olduğunu kabul eder. Toplumsal olgular kendiliğinden ortaya çıkmamış aksine tarihsel ve kültürel olarak üretilmiştir. Bu olguların inşa ediliş sürecinde derin bir bakış açısının gelişmesine katkıda bulunan eleştirel yaklaşım, bir bakıma bilim içinde oluşan varsayımların sorgulamasını da gerçekleştirmektedir. Varsayımların mutlak doğru olarak kabul görmesine karşı çıkararak, başka bir gözle yorumlanabileceği üzerinde durur. Yani toplumsal gerçeklik değişmez mutlak gerçeklik değildir. Pozitivist bakış açısına karşı açıkça bir meydan okuma karşımıza çıkmaktadır.

Eleştirel düşünmenin bir diğer yönü ise dönüştürme potansiyelini elinde tutmasıdır. Açıklamayla kalmadığı gibi normatif özelliğinin de olması bu yaklaşımın gücünü ve önemini ön plana çıkarmaktadır. Eleştirel yaklaşım sadece olguların anlaşılmasında farklı bir bakış açısı geliştirmekle kalmayıp, pasif bireylerin toplumsal yaşamda eleştirel analiz gücüne sahip olmalarını da sağlamaktadır. Eleştirel pedagojinin bireylerin eleştirel bilinç geliştirmesini amaçlayan önemli bir alan olduğu dile getirilmektedir (Giroux, 2020).

Güç ilişkileri bakımından ise, toplum içinde var olan ve toplumsal bütünleşmeye karşı tehlike oluşturan iktidar mücadelelerini ele alıp analizini yapmaktadır. Her zaman açıkça anlaşılmayan güç ilişkileri bu bakımdan açığa çıkarılmış olur. Güç ilişkilerinin temelini oluşturan bilgiye sahip olma kavramı dijital yaşamı ve veri ekonomisi gibi yeni alanları da kapsamaktadır (Zuboff, 2019).

4. ELEŞTİREL YAKLAŞIMIN SINIRLILIKLARI

Eleştirel düşüncenin önündeki en büyük engellerden birisi, yerleşik düzene karşı bir tehdit ve bozgunculuk olarak görülmesidir. Eleştirel yaklaşım aslında var olan teze karşı bir antitez görevi yerine getirerek olay ve olgular üzerine derinlemesine düşünmenin yolunu açmaya çalışırken, nitelik açısından ele alınmayıp, dışlanmasına ve üzerinde düşünölmeye layık bulunulmamaktadır. Her türlü sıkıntıya maruz kalmak istemeyen eleştirel yaklaşım sahipleri kendilerini bilim üretmeyi çıktığı odaklı olarak görmeye yönelmektedirler. Bu bir taraftan akademik performans göstermenin kolay bir yolunu oluşturmakta ve engellenmeleri ortadan kaldırabilmektedir. Eleştirel düşünmenin gelişimini sınırlandıran bir faktör olarak üniversitelerin nicelik yarışı içinde oldukları birçok kişi tarafından değerlendirilebilir (Connell, 2019).

Eleştirel yaklaşımın bir diğer sınırlaması ideolojik ve politik yaklaşımlar ve mevcut iktidar ve güç ilişkileri üzerinde fikir beyan etme aşamasında baskı mekanizmaları ile karşı karşıya kalma durumu ile açıklanabilir.

Yöntemsel hegemonya bir başka sınırlama olarak karşımıza çıkmaktadır. Alternatif epistemolojik yaklaşımların dışlanmasına karşı baskın araştırma yöntemlerinin övülmesi ve kullanımının zorlanmasına neden olmaktadır.

Bilgi üretim süreçlerinde bazı aktörlerin sistematik olarak dışlanması, eleştirel düşünmenin kapsayıcılığını sınırlandırmaktadır (Fricker, 2017). Ayrıca Batı merkezli bilgi üretimi, alternatif epistemolojik yaklaşımların görünürlüğünü azaltmaktadır (Bhambra, 2018). Bir başka yönüyle de eleştirel düşünme evrensel bir yaklaşım olarak ele alındığında aslında batı düşüncesini yeniden üretme riskini de üretebileceği düşünülebilir. Dekolonyal yaklaşımların bu durumu eleştirmesi ve çoğulcu bilgi üretimini savunması bu durumu güçlendirmektedir. (Bhambra, 2018), (Mignolo & Walsh, 2018). Ayrıca epistemik adaletsizlik, belirli grupların bilgi üretiminde marjinalleşmesine neden olur (Fricker, 2017). Sonuçta evrensel bir araç gibi sunulmasına rağmen farklı kültürel bağlamları açık bir biçimde ele almaktan çok Batı epistemolojisine dayandığı şeklinde de eleştirilmektedir.

5. TARTIŞMA

Eleştirel düşünme yöntemi bu çalışmada yeni bir bakış açısıyla ele alınmaya çalışılmıştır. Sosyal bilimlerde eleştirel düşünme yalnızca bir bilişsel beceri değil, aynı zamanda epistemolojik bir konumlanma olduğu da ileri sürülmektedir. Literatürde eleştirel düşünme çoğunlukla bireysel analiz yeteneği, argümantasyon becerisi ve rasyonel değerlendirme kapasitesi üzerinden tanımlanmaktadır. Bu yaklaşımın bu haliyle önemli bir indirgemecilik riski taşımaktadır. Toplumsal bağlamda yer edinmeden eleştirel düşünmenin hatalı olabileceği kanaati taşınmaktadır. Özellikle Jürgen Habermas'ın (1984) iletişimsel akıl kuramı ve Michel Foucault'nun (1972) bilgi-iktidar ilişkisine dair çözümlemeleri, eleştirel düşünmenin toplumsal bağlamdan bağımsız ele alınamayacağını göstermektedir.

Eleştirel düşünme, yalnızca doğruluk-yanlışlık ayrımı yapan bir bilişsel süreç değildir. Üretim süreçlerinin hangi iktidar ilişkileri içerisinde şekillendiğini sorgulayan bir yaklaşım olarak ele alınıp, yeniden kavramsallaştırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Eleştirel düşünmenin kendisinin de belirli söylemsel ve kurumsal sınırlar içinde üretiliyor olması bir çelişki olarak görülebilir. Bu durum, Pierre Bourdieu'nün (1990) "alan" ve "habitus" kavramlarıyla açıklanabilecek şekilde, akademik üretimin özerkliğinin sınırlı olduğunu da düşündürmektedir.

Güncel yaklaşımlar bakımından bakıldığında, Zuboff'un (2019) "gözetim kapitalizmi" kavramsallaştırması, bireylerin maruz kaldığı bilgi akışının piyasa temelli yönlendirmelerle şekillendiğini ortaya koyarak eleştirel düşünmenin maddi koşullarını tartışmaya açmaktadır. Bu çerçevede eleştirel düşünme, yalnızca bireysel kapasiteyle değil, bilgi ekosisteminin yapısal özellikleriyle birlikte ele alınıp, yeniden üzerinde değerlendirmeler yapılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

6. SINIRLILIKLAR VE GELECEK ARAŞTIRMALAR

Çalışma kuramsal bir çerçeveye dayanmakta olması ve ampirik veri içermemesi bir sınırlılık olarak belirtilmelidir. İleri sürülen argümanların somut bağlamlarda test edilmesi bir başka sınırlılıktır. Gelecek çalışmaların, eleştirel düşünmenin farklı toplumsal alanlardaki etkilerini ampirik yöntemlerle incelemesi önemli görülmektedir.

Çalışma Batı merkezli teorik literatüre dayanmakta olduğundan dolayı farklı epistemolojileri yeterince temsil edilmemiş olabilir.

Son olarak, dijitalleşmenin eleştirel düşünme üzerindeki etkileri genel bir çerçevede ele alınmış olup, daha spesifik bir şekilde incelenmesi gerekmektedir. Ayrıca, eleştirel düşünmenin normatif ele alınması, kavramın pratikteki uygulanabilirliği konusunda bazı belirsizlikler doğurmaktadır. Gelecek araştırmalar kavramın farklı düzeylerde nasıl ele alınıp, somutlaştırılabileceğine odaklanabilir.

7. SONUÇ

Eleştirel düşünme, sosyal bilimlerin vazgeçilmez unsurlarından biri olmakla birlikte, sınırsız bir özgürlük alanı sunmamaktadır. Eleştirel düşünme katkıları ve sınırlılıkları bakımında tekrar ele alınmalı ve günümüz koşullarından bağımsız bir şekilde bu yöntemin kullanılmasının ciddi hata ve eksikliklere neden olacağı düşünülmektedir. Farklı bir bakış açısı sunarken farkında olmadan içinde bulunduğu sistemin yeniden üretilmesine ve tekrarına neden olma riski göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle eleştirel düşünmenin etkinliğini artırmak için çoğulcu, bağlamsal ve refleksif yaklaşımların geliştirilmesi gerektiği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

- Bhambra, G. K., Gebrial, D., & Nişancıoğlu, K. (2018). *Decolonising the University*. Pluto Press.
- Bourdieu, P. (1990). *The Logic of Practice*. Stanford University Press.
- Connell, R. (2019). *The Good University*. Zed Books.
- Durkheim, Emile. (1994). *Sosyolojik Metodun Kuralları*. Sosyal Yayınları.2. Basım. İstanbul.
- Foucault, M. (1972). *The Archaeology of Knowledge*. Pantheon Books.
- Fricker, M. (2017). *Epistemic Injustice*. Oxford University Press.
- Giroux, H. A. (2020). *On Critical Pedagogy* (2nd ed.). Bloomsbury.
- Habermas, J. (1984). *The Theory of Communicative Action: Volume 1*. Beacon Press.
- Mignolo, W. D., & Walsh, C. E. (2018). *On Decoloniality*. Duke University Press.
- Zuboff, S. (2019). *The Age of Surveillance Capitalism*. Public Affairs.

GENETİĞİ DEĞİŞTİRİLMİŞ GIDALARIN ÇOCUK GELİŞİMİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Öğr. Gör. Dr. Simge SOYDAN

Ankara Hacı Bayram Veli University, Polatlı Vocational School of Social Sciences, Ankara

ORCID ID: 0000-0002-5829-1854

Dr. Songül RAKICIOĞLU

Ondokuz Mayıs University, Faculty of Agriculture, Department of Soil Science and Plant Nutrition,
Atakum, Samsun

ORCID ID: 0000-0002-8013-6439

Prof. Dr. Neriman ARAL

Ankara University, Institute of Health Sciences, Department of Child Development, Keçiören /Ankara

ORCID ID: 0000-0002-9266-938

ÖZET

Genetiği değiştirilmiş organizmalar ve bunlardan elde edilen gıdalar, modern tarım ve gıda sistemlerinde giderek daha önemli bir yer edinmiştir. Bu teknolojiler; ürün veriminin artırılması, zararlı ve hastalıklara karşı dayanıklılığın geliştirilmesi, besin içeriğinin iyileştirilmesi ve gıda güvenliğinin desteklenmesi gibi çeşitli potansiyel avantajlar sunmaktadır. Bununla birlikte, genetiği değiştirilmiş gıdaların insan sağlığı ve çevre üzerindeki etkileri bilimsel ve toplumsal düzeyde tartışılmaya devam etmektedir. Genetiği değiştirilmiş gıdaların olası etkileri özellikle besin gereksinimlerinin yüksek olduğu, büyüme ve gelişmenin hızlı gerçekleştiği ve çevresel etkilere daha duyarlı olunan çocukluk döneminde daha da önem kazanmaktadır. Bu çalışmada genetiği değiştirilmiş gıdaların gelişimi, temel özellikleri, yararları ve olası riskleri çocuk gelişimi perspektifinden değerlendirilmiştir. Bu kapsamda özellikle besin değerinin artırılması, gıda arzının desteklenmesi, alerjenite, antibiyotik direnç genleri, çevresel etkiler ve biyogüvenlik yaklaşımları üzerinde durulmuştur. Bunun yanı sıra farklı ülkelerde uygulanan düzenleyici çerçeveler de ele alınmıştır. Yapılan değerlendirmeler, genetiği değiştirilmiş gıdaların çocuk gelişimi üzerindeki etkilerinin yalnızca beslenme boyutuyla sınırlı olmadığını; gıda güvenliği, insan sağlığı ve çevresel sürdürülebilirlik boyutlarını da kapsayan bütüncül bir yaklaşımla ele alınması gerektiğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Genetiği değiştirilmiş gıdalar, çocuk gelişimi, çocuk sağlığı, biyofortifikasyon, biyogüvenlik, gıda güvenliği

EVALUATION OF GENETICALLY MODIFIED FOODS IN TERMS OF CHILD DEVELOPMENT

ABSTRACT

Genetically modified organisms and the foods derived from them have increasingly gained importance in modern agricultural and food systems. These technologies offer several potential advantages, including increased crop yield, improved resistance to pests and diseases, enhancement of nutritional content, and support for food security. However, the effects of genetically modified foods on human health and the environment continue to be debated at both scientific and societal levels. The potential impacts of genetically modified foods are particularly significant during childhood, a period characterized by high nutritional requirements, rapid growth and development, and increased sensitivity to environmental factors. In this study, the development, main characteristics, benefits, and potential risks of genetically modified foods were evaluated from a child development perspective. In this context, particular emphasis was placed on nutritional enhancement, food supply support, allergenicity, antibiotic resistance genes, environmental impacts, and biosafety approaches. In addition, regulatory frameworks implemented in different countries were also addressed. The evaluations indicate that the effects of genetically modified foods on child development are not limited solely to nutritional aspects; rather, they should be considered within a holistic framework that also encompasses food safety, human health, and environmental sustainability.

Keywords: Genetically modified foods, child development, child health, biofortification, biosafety, food security

GİRİŞ

Küresel ölçekte artan nüfus, iklim değişikliği, sınırlı doğal kaynaklar ve azalan tarım alanları, gıda üretim sistemleri üzerinde önemli baskılar oluşturmaktadır (Begna ve Wakweya, 2026). Mevcut tarımsal uygulamaların tek başına küresel gıda güvenliğini sağlamada yetersiz kalabileceği ve dünya genelinde yetersiz beslenme ile açlık sorununun devam ettiği bilinmektedir (Rahut vd., 2022). Buna karşın, gıda talebi sürekli artmakta, tarımsal verimdeki artış hızının ise gelecekteki gıda gereksinimini karşılamak açısından yeterli olmayabileceği öngörülmektedir (Cheng vd., 2025). Ayrıca, kişi başına düşen ekilebilir arazi miktarının giderek azalması, sürdürülebilir gıda üretimi açısından yeni teknolojik yaklaşımların geliştirilmesini gerekli kılmaktadır (Liang vd., 2025). Bu bağlamda genetik mühendisliği ve rekombinant DNA teknolojileri gibi ileri biyoteknolojik uygulamalar, tarımsal üretimin artırılması ve gıda kalitesinin iyileştirilmesi açısından önemli fırsatlar sunmaktadır (Buiatti

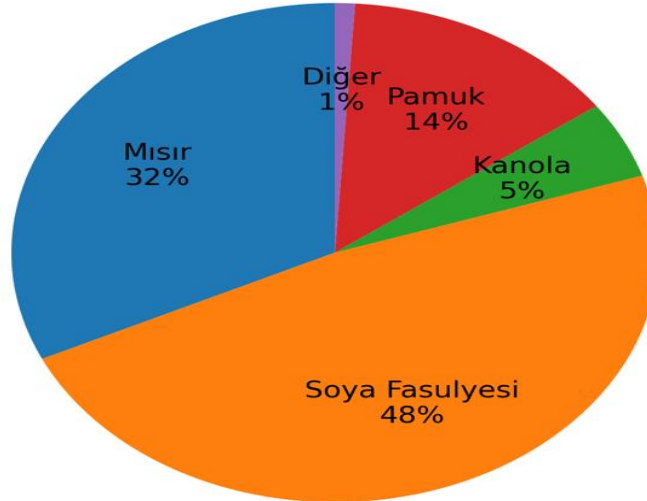
vd., 2013). Bu teknolojik gelişmeler doğrultusunda ortaya çıkan genetiği değiştirilmiş organizmalar, genetik materyali doğal çiftleşme veya doğal rekombinasyon süreçleriyle gerçekleşmeyecek biçimde değiştirilmiş canlılar olarak tanımlanmaktadır. Bu organizmalardan elde edilen ürünler ise genetiği değiştirilmiş gıdalar olarak adlandırılmaktadır (Zhang vd., 2016). Bu teknolojiler sayesinde bitkilere zararlılara dayanıklılık, herbisit toleransı, çevresel stres koşullarına uyum ve besin içeriğinin iyileştirilmesi gibi çeşitli özellikler kazandırılabilir (Matola vd., 2025; Mmbando ve Ngongolo, 2024). Bu durum, geleneksel bitki ıslahı yöntemleriyle uzun sürede elde edilebilecek veya hiç geliştirilemeyecek bazı özelliklerin daha kısa sürede geliştirilmesi mümkün olmaktadır (Ahmar vd., 2020). Bununla birlikte, genetiği değiştirilmiş ürünlerin kullanımının özellikle çocukluk dönemi açısından değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Çocukluk dönemi, fiziksel büyüme, nörolojik gelişim, bağışıklık sisteminin olgunlaşması ve bilişsel kapasitenin şekillenmesi açısından kritik bir yaşam evresi olarak kabul edilmektedir (Smith ve Pollak, 2020). Bu süreçte yeterli ve dengeli beslenme, sağlıklı büyüme ve gelişmenin temel belirleyicilerinden biri olarak öne çıkmaktadır (Skouteris vd., 2022). Bu nedenle, gıda üretim teknolojilerinde meydana gelen değişimlerin çocuk sağlığı ve gelişimi üzerindeki olası etkilerinin değerlendirilmesi büyük önem taşımaktadır.

Genetiği değiştirilmiş gıdaların besin değerinin artırılması ve gıda güvenliğinin desteklenmesi gibi potansiyel faydalar sağlayabildiğini ortaya koyan çeşitli çalışmalar (Qaim ve Kouser, 2013; Paiva ve Damasceno, 2020) bulunmaktadır. Yapılan çalışmalarda A vitamini açısından zenginleştirilen genetiği değiştirilmiş bitkilerin özellikle yetersiz beslenmenin yaygın olduğu bölgelerde çocukların beslenme durumunun iyileştirilmesine katkı sağlayabileceği belirtilmektedir (Tang vd., 2009; Tang vd., 2012). Bununla birlikte bazı araştırmalar, genetiği değiştirilmiş gıdaların uzun dönem sağlık etkileri konusunda daha fazla bilimsel kanıta ihtiyaç olduğunu vurgulamaktadır (Domingo ve Bordonaba, 2011; Nicolai vd., 2014). Özellikle alerjenite, antibiyotik direnç genlerinin aktarımı, olası toksisite, çevresel etkiler ve toplumun gıda güvenliğine ilişkin algısı gibi konuların çocuk sağlığı açısından dikkatle değerlendirilmesi gerektiği ifade edilmektedir (Goodman, 2024; WHO, 2014). Bu bağlamda genetiği değiştirilmiş gıdaların çocuk gelişimi üzerindeki etkilerinin kapsamlı biçimde ele alınması önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, genetiği değiştirilmiş gıdaların potansiyel yararlarını ve olası risklerini çocuk gelişimi perspektifinden incelemek ve biyogüvenlik düzenlemeleri ile toplumsal tartışmalar bağlamında mevcut bilimsel bilgileri değerlendirmektir.

GENETİĞİ DEĞİŞTİRİLMİŞ GIDALARIN GELİŞİMİ VE TEMEL ÖZELLİKLERİ

Genetiği değiştirilmiş gıdaların gelişimi, 1970’li yıllarda rekombinant DNA teknolojisinin geliştirilmesiyle başlamıştır (Cohen vd., 1973). Bu teknolojik ilerleme, bilim insanlarının genetik materyali daha önce mümkün olmayan biçimlerde değiştirebilmesine olanak sağlamış ve genetiği değiştirilmiş organizmaların geliştirilmesi için önemli bir bilimsel altyapı oluşturmuştur (Amanullah vd., 2024). İlk ticari genetiği değiştirilmiş gıda ürünü, raf ömrü uzatılmış ve olgunlaşma süreci geciktirilmiş Flavır Savr domatesi olup 1994 yılında piyasaya sunulmuştur. Bu gelişmeyi takiben herbisit toleranslı soya fasulyesi ve böceklere dayanıklı mısır gibi çeşitli genetiği değiştirilmiş bitkiler ticari üretime girmiştir (Amanullah vd., 2024). Günümüzde genetiği değiştirilmiş ürünlerin üretimi belirli tarımsal ürünlerde yoğunlaşmaktadır. Soya fasulyesi, mısır, pamuk ve kanola, küresel genetiği değiştirilmiş gıdaların üretiminin büyük bölümünü oluşturmaktadır (Şekil 1) (Turnbull vd., 2021).



Şekil 1. Dünya genelinde ekilen genetiği değiştirilmiş bitkilerin ürün bazında yüzdesel dağılımı (Abdul Aziz vd., 2022)

Şekil 1’de görülen Dünya genelinde üretilen genetiği değiştirilmiş gıdaların çoğu herbisit toleransı ve böcek direnci gibi agronomik özelliklere sahip olacak şekilde geliştirilmiştir (Zhang vd., 2016). Son yıllarda genetiği değiştirilmiş gıdaların küresel ekim alanı önemli ölçüde artmış ve birçok ülkede farklı genetiği değiştirilmiş bitkiler ticari olarak yetiştirilmeye başlanmıştır. Ancak bu üretim küresel ölçekte homojen bir dağılım göstermemekte ve daha çok belirli ülkelerde yoğunlaşmaktadır (Çizelge 1).

Çizelge 1. Dünyanın farklı bölgelerinde genetiği değiştirilmiş bitkilerin ekim alanlarının oranı ve yaygın genetiği değiştirilmiş bitkiler (Abdul Aziz vd., 2022)

No	Kıta	Ülke	Alan (Mha)	Yaygın Genetiği Değiştirilmiş Bitkileri
1	Kuzey Amerika	Amerika Birleşik Devletleri	71.5	Pamuk, papaya, yonca, şeker pancarı, kanola, soya fasulyesi, mısır ve yaz kabağı
2	Güney Amerika	Brezilya	52.8	Soya fasulyesi, pamuk ve mısır
3	Güney Amerika	Arjantin	24	Pamuk, soya fasulyesi ve mısır
4	Kuzey Amerika	Kanada	12.5	Soya fasulyesi, şeker pancarı, kanola ve mısır
5	Asya	Hindistan	11.6	Pamuk
6	Güney Amerika	Paraguay	3.8	Mısır, soya fasulyesi ve pamuk
7	Asya	Çin	2.9	Domates, tatlı biber, pamuk, papaya ve kavak
8	Asya	Pakistan	2.8	Pamuk
9	Afrika	Güney Afrika	2.7	Pamuk, soya fasulyesi ve mısır
10	Güney Amerika	Bolivya	1.3	Soya fasulyesi
11	Güney Amerika	Uruguay	1.3	Mısır, soya fasulyesi
12	Asya	Filipinler	0.6	Mısır
13	Avustralya	Avustralya	0.8	Kanola ve pamuk
14	Asya	Myanmar	0.3	Pamuk
15	Afrika	Sudan	0.2	Pamuk
16	Kuzey Amerika	Meksika	0.2	Soya fasulyesi ve pamuk
17	Avrupa	İspanya	0.1	Mısır
18	Güney Amerika	Kolombiya	0.1	Pamuk ve mısır
19	Asya	Vietnam	0.1	Mısır
20	Kuzey Amerika	Honduras	<0.1	Mısır
21	Güney Amerika	Şili	<0.1	Kanola, soya fasulyesi ve mısır
22	Afrika	Malavi	<0.1	Pamuk, börülce, muz
23	Avrupa	Portekiz	<0.1	Mısır
24	Asya	Endonezya	<0.1	Pamuk
25	Asya	Bangladeş	<0.1	Patlıcan
26	Afrika	Nijerya	<0.1	Börülce
27	Afrika	Esvatini	<0.1	Pamuk
28	Afrika	Etiyopya	<0.1	Pamuk
29	Kuzey Amerika	Kosta Rika	<0.1	Soya fasulyesi ve pamuk
Toplam			190.4	

Genetiği değiştirilmiş bitkilerde gerçekleştirilen genetik müdahaleler, tarımsal üretimin sürdürülebilirliğini artırmayı ve çevresel streslere karşı dayanıklılığı geliştirmeyi amaçlayan çeşitli özellikler üzerine odaklanmaktadır. Bu özellikler arasında herbisit toleransı, böcek ve hastalık direnci, abiyotik stres toleransı ile besin değerinin artırılması yer almaktadır (Hamdan ve Tan, 2025). Beslenme güvenliği ve çocuk sağlığı açısından en dikkat çekici uygulamalardan biri, besin öğeleri bakımından güçlendirilmiş ürünlerin geliştirilmesidir. Bu bağlamda, β -karoten içeriği zenginleştirilmiş Altın Pirinç gibi biyofortifiye çeşitler, A vitamini eksikliğinin yaygın olduğu coğrafyalarda önemli potansiyel taşımaktadır. A vitamini eksikliği; çocuklarda bağışıklık sisteminin zayıflamasına, görme fonksiyonlarında bozulmaya ve büyüme geriliğine yol açabilen ciddi sağlık sorunlarıyla ilişkilendirildiğinden, biyoteknolojik olarak güçlendirilmiş mahsullerin beslenme programlarına dahil edilmesi,

özellikle risk altındaki çocuk nüfusun sağlık sonuçlarının iyileştirilmesinde önemli katkı sağlayabilir (Dubock, 2017). Bu çerçevede biyofortifikasyon çalışmaları, klasik tarım yaklaşımlarının ötesine geçerek hem tarımsal üretim hem de halk sağlığı hedeflerini birleştiren disiplinler arası bir çözüm olarak değerlendirilmelidir.

GENETİĞİ DEĞİŞTİRİLMİŞ GIDALARIN ÇOCUK GELİŞİMİ AÇISINDAN POTANSİYEL YARARLARI

Genetiği değiştirilmiş gıdaların en önemli avantajlarından biri tarımsal verimliliğin artırılmasına katkı sağlamalarıdır (Ghimire vd., 2023). Genetiği değiştirilmiş gıdaların teknolojileri sayesinde ürün kayıpları azalabilmekte ve birim alandan elde edilen verim artabilmektedir (Chen, 2025). Bu durum küresel gıda arzının artırılmasına katkı sağlayarak özellikle yetersiz beslenmenin yaygın olduğu bölgelerde çocukların yeterli enerji ve protein alımını dolaylı olarak destekleyebilmektedir (Smyth, 2020). Bir diğer önemli avantaj ise bitkilerin besin değerinin artırılabilmesidir. Genetik mühendisliği yöntemleri kullanılarak bitkilerin vitamin, mineral ve temel besin öğeleri bakımından zenginleştirilmesi mümkündür (Jha vd., 2025).

Çocukluk döneminde mikro besin ögesi eksiklikleri fiziksel büyümeyi, bilişsel gelişimi ve bağışıklık sistemini olumsuz etkileyebilmektedir (Roberts vd., 2022; Stevens vd., 2022). Bu nedenle, biyofortifiye genetiği değiştirilmiş ürünler, özellikle düşük gelirli toplumlarda çocukların beslenme kalitesinin artırılmasında potansiyel bir araç olarak değerlendirilmektedir (Avnee vd., 2023). Ayrıca, bazı genetiği değiştirilmiş ürünler ile ilgili uygulamalar gıda işleme ve depolama süreçlerinde de avantajlar sağlamaktadır. Raf ömrü uzatılmış ürünlerin hasat sonrası kayıpları azaltılabilmekte ve gıdanın daha geniş bölgelere ulaştırılması kolaylaştırılabilmektedir (Ninama vd., 2024). Bu durum özellikle gıda erişiminin sınırlı olduğu bölgelerde çocukların düzenli ve güvenli gıdaya ulaşmasına katkı sağlayabilir. Bunun yanı sıra kuraklık, tuzluluk ve yüksek sıcaklık gibi çevresel streslere dayanıklı bitki çeşitlerinin geliştirilmesi, iklim değişikliğinin gıda üretimi üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmaya yardımcı olabilir (Shelake vd., 2022). Bu tür gelişmeler uzun vadede çocukların beslenmesini etkileyen gıda arzının istikrarına katkı sağlayabilir.

GENETİĞİ DEĞİŞTİRİLMİŞ GIDALARIN ÇOCUK SAĞLIĞI AÇISINDAN POTANSİYEL RİSKLERİ VE TARTIŞMALI YÖNLERİ

Genetiği değiştirilmiş gıdaların çocuk gelişimi üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesinde en önemli konulardan biri güvenlidir (Abrams vd., 2024). Bununla birlikte, Goodman (2024), genetiği değiştirilmiş ürünlerin kullanımından kaynaklanan belirgin bir sağlık riskinin ortaya konulamadığını belirtmektedir. Buna karşılık, bu ürünlerin ticarileştirilmesiyle birlikte

ekonomik, çevresel ve insan sağlığı açısından çeşitli yararlar sağlanabildiği farklı çalışmalar tarafından ortaya konulmuştur (Vega Rodríguez vd., 2022). Öte yandan, potansiyel alerjenite, antibiyotik direnç genlerinin aktarımı ve gen transferi gibi konular genetiği değiştirilmiş gıdaların güvenliğiyle ilgili bilimsel tartışmalarda sıklıkla ele alınan başlıca konular arasında yer almıştır (Bawa ve Anilakumar, 2012). Bitkilere yeni genlerin eklenmesi bazı durumlarda beklenmedik proteinlerin veya metabolitlerin oluşmasına yol açabilmektedir (Schnell vd., 2015). Bu durum teorik olarak alerjik reaksiyonlara neden olabileceği yönünde endişelere yol açmıştır (Lehrer ve Bannon, 2005).

Çocukluk çağı, gıda alerjilerinin daha sık görüldüğü bir dönem olduğundan, bu konudaki güvenlik değerlendirmeleri özellikle önemlidir. Genetiği değiştirilmiş gıdalarla ilgili tartışılan bir diğer konu ise antibiyotik direnç genlerinin aktarımıdır. Genetik dönüşüm süreçlerinde kullanılan bazı işaretleyici genlerin antibiyotik direnci ile ilişkili olabileceği ve bunun mikrobiyota üzerinde etkiler oluşturabileceği yönünde endişeler rapor edilmiştir (Gay ve Gillespie, 2005). Bu risk kesin olarak kanıtlanmış olmamakla birlikte, çocuklarda bağırsak mikrobiyotasının gelişimsel önemi nedeniyle dikkatle incelenmesi gereken bir konudur. Genetiği değiştirilmiş bitkilerin çevresel etkileri de çocuk sağlığını dolaylı olarak etkileyebilecek faktörler arasında değerlendirilmektedir. Özellikle tarımsal biyolojik çeşitlilik üzerindeki olası etkiler, herbisitlere dirençli yabancı otların ortaya çıkması ve gen akışı gibi süreçler ekosistem dengesi açısından tartışılan konular arasındadır. Bu tür çevresel değişimlerin tarımsal üretim sistemleri ve gıda zinciri üzerinde oluşturabileceği etkiler, uzun vadede gıda güvenliği ve dolayısıyla toplum sağlığı üzerinde dolaylı sonuçlar doğurabilmektedir. (Tudi vd., 2021). Abrams ve ark. (2024), GDO içeren gıdaların insan sağlığına doğrudan zararını gösteren bir kanıt olmamakla birlikte bu gıdalardaki glifosat ve diğer herbisit kalıntılarının kaygı yaratabileceğini belirtmiştir. Nitekim, Gerona ve arkadaşlarının (2022) yürüttüğü prospektif bir çalışmada hamile kadınlardan gebeliğin 26. haftasında alınan idrar örnekleri üzerinden glifosat düzeyi ölçülmüş ve erken gebelikte glifosat maruziyeti ile düşük doğum ağırlığı - fetal büyüme azalması ilişkili bulunmuştur. Barnett ve ark. (2025)'nin transgenerational (nesiller arası) etkiyi inceledikleri çalışmalarında ise gebe farelere glifosat verilmiş ve doğan yavrular ile torunlar incelenerek etkilerin iki nesil boyunca genetik aktarımla devam ettiği bulunmuştur. Ayrıca farelerin maruziyet sonrası bağırsak bariyerlerinde bozulma, inflamasyon artışı, bağışıklık sistemlerinde değişiklikler, glukoz toleransında bozulma, insülin direnci, GLP-1 hormonunda azalma tespit edilmiş ve bu bulgular maruz kalınan glifosatın obezite, diyabet benzeri süreçleri tetiklemesi ile ilişkilendirilmiştir. Bu bulguların yanı sıra farelerde hareket azalması ve çalışma belleğinde

düşüş tespit edilmiş ve bu bulgu nörogelişimsel etki ile ilişkilendirilmiştir. Söz konusu çalışma fareler üzerinde yapıldığından insanlar üzerinde etki genellemesi yapılmamış fakat risk faktörü olarak değerlendirilmesi önerilmiştir. Abrams ve ark. (2024)'nın yürüttüğü, halihazırda devam eden, prenatal glifosat maruziyetinin incelendiği çalışmanın ön bulguları kız bebeklerde doğumda anogenital mesafe artışı ile ilişkili olabileceğini ancak erkek bebeklerde benzer bir ilişkinin gözlenmediğini ortaya koymuştur. Anogenital mesafe, bebeğin anne karnında hormonlardan nasıl etkilendiğini gösteren erken bir biyolojik ipucu olarak kabul edilmektedir. Bu bulgular, perinatal maruziyetin hormonal gelişim üzerinde etkili olabileceğine dair sinyaller sunmakla beraber erken ergenlik vb. klinik sonuçlarla ilişkisi henüz net değildir.

GENETİĞİ DEĞİŞTİRİLMİŞ GIDALARA YÖNELİK BİYOGÜVENLİK VE DÜZENLEYİCİ YAKLAŞIMLAR

Genetiği değiştirilmiş gıdaların güvenli kullanımını sağlamak amacıyla birçok ülkede biyogüvenlik düzenlemeleri geliştirilmiştir (Bawa ve Anilakumar, 2013). Bu düzenlemeler ülkelerin ekonomik koşulları, bilimsel altyapısı ve kamuoyu algısına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Amerika Birleşik Devletleri'nde genetiği değiştirilmiş ürünlerin düzenlenmesinden Amerikan Gıda ve İlaç Dairesi (Food and Drug Administration, FDA), Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı (United States Department of Agriculture, USDA) ve Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency, EPA) sorumludur. Avrupa Birliği ise daha ihtiyatlı bir yaklaşım benimseyerek Avrupa Gıda Güvenliği Otoritesi (European Food Safety Authority, EFSA) tarafından yürütülen kapsamlı risk değerlendirmeleri ve sıkı etiketleme kuralları uygulamaktadır. Uluslararası düzeyde Cartagena Biyogüvenlik Protokolü ve Codex Alimentarius Komisyonu, genetiği değiştirilmiş gıdaların güvenli kullanımı ve ticareti için temel çerçeveyi oluşturmaktadır (Amanullah vd., 2024).

Çocuk sağlığının korunması açısından biyogüvenlik düzenlemeleri büyük önem taşımaktadır. Bu çerçevede genetiği değiştirilmiş ürünler piyasaya sunulmadan önce insan sağlığı ve çevresel etkiler bakımından kapsamlı risk değerlendirmelerine tabi tutulmaktadır. Özellikle bebekler ve çocuklar gibi hassas grupların korunması amacıyla güvenlik değerlendirmelerinin titizlikle yapılması ve tüketicilerin bilinçli tercih yapabilmesini sağlayan şeffaf etiketleme uygulamalarının uygulanması gerekmektedir.

GENETİĞİ DEĞİŞTİRİLMİŞ GIDALAR VE ÇOCUK SAĞLIĞI AÇISINDAN GELECEK PERSPEKTİFLERİ

Genom düzenleme teknolojilerindeki gelişmeler, tarımsal biyoteknoloji alanında yeni fırsatlar sunmaktadır. CRISPR/Cas gibi genom düzenleme sistemleri, bitki genomlarında daha hassas

ve hedefe yönelik değişiklikler yapılmasına olanak tanımaktadır. Bu teknolojiler sayesinde besin değeri artırılmış ve iklim streslerine daha dayanıklı bitki çeşitlerinin geliştirilmesi mümkün olabilmektedir (Yuan vd., 2024; Saini vd., 2025). Ancak bu teknolojilerin çocuk sağlığı açısından güvenli biçimde kullanılabilmesi için uzun dönemli bilimsel araştırmalara, güçlü düzenleyici sistemlere ve şeffaf bilim iletişimine ihtiyaç bulunmaktadır.

SONUÇ VE ÖNERİLER

Genetiği değiştirilmiş gıdalar, besin içeriğinin iyileştirilmesi, tarımsal üretkenliğin artırılması ve gıda arzının sürdürülebilirliğinin desteklenmesi açısından önemli bir biyoteknolojik yaklaşım olarak değerlendirilmektedir. Özellikle biyofortifiye ürünler, çocuklarda yaygın görülen mikro besin ögesi eksikliklerinin azaltılmasına katkı sağlayabilecek potansiyele sahiptir. Bununla birlikte çocukluk döneminin gelişimsel hassasiyeti dikkate alındığında, genetiği değiştirilmiş gıdaların güvenliği; alerjenite, antibiyotik direnç genleri, çevresel etkiler ve biyogüvenlik boyutlarıyla birlikte değerlendirilmelidir. Bu alanda yürütülecek uzun dönemli ve disiplinler arası araştırmalar, genetiği değiştirilmiş gıdaların çocuk sağlığı üzerindeki etkilerinin daha kapsamlı biçimde anlaşılmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Abdul Aziz, M., Brini, F., Rouached, H., & Masmoudi, K. (2022). Genetically engineered crops for sustainably enhanced food production systems. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1027828. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1027828>
- Abrams, S. A., Albin, J. L., & Landrigan, P. J. (2024). Use of genetically modified organism (GMO)-containing food products in children. *Pediatrics*, 153(1), e2023064774. <https://doi.org/10.1542/peds.2023-064774>
- Ahmar, S., Gill, R. A., Jung, K. H., Faheem, A., Qasim, M. U., Mubeen, M., & Zhou, W. (2020). Conventional and molecular techniques from simple breeding to speed breeding in crop plants: Recent advances and future outlook. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(7), 2590. <https://doi.org/10.3390/ijms21072590>
- Amanullah, M., Nahid, M., & Hosen, S. M. Z. (2024). Global overview of genetically modified foods and its benefits: A review. *Health Dynamics*, 1(7), 236–243. <https://doi.org/10.33846/hd10703>
- Avnee, Sood, S., Chaudhary, D. R., Jhorar, P., & Rana, R. S. (2023). Biofortification: An approach to eradicate micronutrient deficiency. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1233070. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1233070>
- Barnett, J. A., Gibbons, A., Fenton, S. E., Morrison, K. E., & Deehan, E. C. (2025). Prenatal exposure to dietary levels of glyphosate disrupts metabolic, immune, and behavioral markers across generations in mice. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180437>
- Bawa, A. S., & Anilakumar, K. R. (2013). Genetically modified foods: Safety, risks and public concerns—A review. *Journal of Food Science and Technology*, 50(6), 1035–1046. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0899-1>
- Begna, T., & Wakweya, R. B. (2026). Mitigating climate change impacts on food security via climate-smart agriculture. *Plant Stress*, 19, 101152. <https://doi.org/10.1016/j.stress.2025.101152>

- Buiatti, M., Christou, P., & Pastore, G. (2013). The application of GMOs in agriculture and in food production for a better nutrition: Two different scientific points of view. *Genes & Nutrition*, 8, 255–270. <https://doi.org/10.1007/s12263-012-0316-4>
- Chen, X. (2025). The role of modern agricultural technologies in improving agricultural productivity and land use efficiency. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1675657. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1675657>
- Cheng, P., Zhang, Y., Liu, K., Kong, X., Wu, S., Yan, H., & Jiang, P. (2025). Continuing the continuous harvests of food production: From the perspective of the interrelationships among cultivated land quantity, quality, and grain yield. *Humanities and Social Sciences Communications*, 12, 46. <https://doi.org/10.1057/s41599-024-04342-1>
- Cohen, S. N., Chang, A. C. Y., Boyer, H. W., & Helling, R. B. (1973). Construction of biologically functional bacterial plasmids in vitro. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 70(11), 3240–3244. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.70.11.3240>
- Domingo, J. L., & Bordonaba, J. G. (2011). A literature review on the safety assessment of genetically modified plants. *Environment International*, 37(14), 734–742. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2011.01.003>
- Dubock, A. (2017). An overview of agriculture, nutrition and fortification, supplementation and biofortification: Golden rice as an example for enhancing micronutrient intake. *Agriculture & Food Security*, 6, 59. <https://doi.org/10.1186/s40066-017-0135-3>
- Gay, P. B., & Gillespie, S. H. (2005). Antibiotic resistance markers in genetically modified plants: A risk to human health? *The Lancet Infectious Diseases*, 5(10), 637–646. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(05\)70241-3](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(05)70241-3)
- Gerona, R. R., Bradman, A., Castorina, R., Jewell, N. P., Smith, D., Wong, A., & Eskenazi, B. (2022). Glyphosate exposure in early pregnancy and reduced fetal growth. *Environmental Health*, 21(1), 95. <https://doi.org/10.1186/s12940-022-00906-3>
- Ghimire, B. K., Yu, C. Y., Kim, W. R., Moon, H. S., Lee, J., Kim, S. H., & Chung, I. M. (2023). Assessment of benefits and risk of genetically modified plants and products: Current controversies and perspective. *Sustainability*, 15(2), 1722. <https://doi.org/10.3390/su15021722>
- Goodman, R. E. (2024) Twenty-eight years of GM Food and feed without harm: why not accept them?, *GM Crops & Food*, 15:1, 40-50, <https://doi.org/10.1080/21645698.2024.2305944>
- Hamdan, M. F., & Tan, B. C. (2025). Genetic modification techniques in plant breeding: A comparative review of CRISPR/Cas and GM technologies. *Horticultural Plant Journal*, 11(5), 1807–1829. <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2024.02.012>
- Jha, A., Jayswal, D. K., Shikha, D., Kumar, A., & Ahmad, F. (2025). Empowering vital fruit crops with enhanced nutritional contents. *Frontiers in Plant Science*, 16, 1519673. <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1519673>
- Lehrer, S. B., & Bannon, G. A. (2005). Risks of allergic reactions to biotech proteins in foods: Perception and reality. *Allergy*, 60(5), 559–564. <https://doi.org/10.1111/j.1398-9995.2005.00704.x>
- Liang, J., Sun, Y., Yang, Y., et al. (2025). Agricultural biotechnology in China: Product development, commercialization, and perspectives. *aBIOTECH*, 6, 284–310. <https://doi.org/10.1007/s42994-025-00209-4>
- Matola, S. H., Li, J., Sun, M., Yang, L., Zhuang, W., & Yang, J. (2025). Advances in Genetic Engineering Techniques for Improved Forest Trees: Applications in Biomass, Stress Resilience and Carbon Sequestration. *International Journal of Molecular Sciences*, 26(20), 10192. <https://doi.org/10.3390/ijms262010192>
- Mmbando, G. S., & Ngongolo, K. (2024). The current status of the use of genetic modification and editing to improve biodiversity and ecological sustainability. *All Life*, 17(1), Article 2417191. <https://doi.org/10.1080/26895293.2024.2417191>

- Nicolia, A., Manzo, A., Veronesi, F., & Rosellini, D. (2014). An overview of the last 10 years of genetically engineered crop safety research. *Critical Reviews in Biotechnology*, 34(1), 77–88. <https://doi.org/10.3109/07388551.2013.823595>
- Ninama, N., Gangal, L., Khayum, A., Harshitha, S. B., Divya, C., Sowmya, H. M., Singh, A., & Anushi, H. (2024). Post-harvest biotechnology or genetic engineering solutions: Extending shelf life and reducing food waste. *Journal of Advances in Biology & Biotechnology*, 27(4), 1–26. <https://doi.org/10.9734/JABB/2024/v27i4736>
- Paiva, M.J.M., & Damasceno, I.A.M. (2020). O uso de dos alimentos geneticamente modificados: Principais desafios. *Revista Multidebates*, 4(3), 90–96.
- Qaim, M., & Kouser S. (2013). Genetically modified crops and food security. *PLoS One*, 8(6), e64879. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0064879>.
- Rahut, D. B., Aryal, J. P., Manchanda, N., & Sonobe, T. (2022). Expectations for household food security in the coming decades: A global scenario. In D. Barling & J. Fanzo (Eds.), *Future foods: Global trends, opportunities, and sustainability challenges* (pp. 107–131). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91001-9.00002-5>
- Roberts, M., Tolar-Peterson, T., Reynolds, A., Wall, C., Reeder, N., & Rico Mendez, G. (2022). The effects of nutritional interventions on the cognitive development of preschool-age children: A systematic review. *Nutrients*, 14(3), 532. <https://doi.org/10.3390/nu14030532>
- Saini, H., Devrani, A., Synrem, G., & Priyanka. (2025). Application of CRISPR technology in plant improvement: An update review. *Advances in Agriculture*, 2025, 4578877. <https://doi.org/10.1155/aia/4578877>
- Schnell, J., Steele, M., Bean, J., Neuspiel, M., Girard, C., Dormann, N., Pearson, C., Savoie, A., Bourbonnière, L., & Macdonald, P. (2015). A comparative analysis of insertional effects in genetically engineered plants: Considerations for pre-market assessments. *Transgenic Research*, 24(1), 1–17. <https://doi.org/10.1007/s11248-014-9843-7>
- Shelake, R. M., Kadam, U. S., Kumar, R., Pramanik, D., Singh, A. K., & Kim, J. Y. (2022). Engineering drought and salinity tolerance traits in crops through CRISPR-mediated genome editing: Targets, tools, challenges, and perspectives. *Plant Communications*, 3(6), 100417. <https://doi.org/10.1016/j.xplc.2022.100417>
- Skouteris, H., Green, R., Chung, A., et al. (2022). Nurturing children's development through healthy eating and active living: Time for policies to support effective interventions in the context of responsive emotional support and early learning. *Health & Social Care in the Community*. <https://doi.org/10.1111/hsc.14106>
- Smith, K. E., & Pollak, S. D. (2020). Early life stress and development: Potential mechanisms for adverse outcomes. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, 12, 34. <https://doi.org/10.1186/s11689-020-09337-y>
- Smyth, S. J. (2020). The human health benefits from GM crops. *Plant Biotechnology Journal*, 18(4), 887–888. <https://doi.org/10.1111/pbi.13261>
- Stevens, G. A., Beal, T., Mbuya, M. N. N., Luo, H., & Neufeld, L. M. (2022). Micronutrient deficiencies among preschool-aged children and women of reproductive age worldwide: A pooled analysis of individual-level data from population-representative surveys. *The Lancet Global Health*, 10(11), e1590–e1599. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(22\)00367-9](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(22)00367-9)
- Tang G, Hu Y, Yin SA, Wang Y, Dallal GE, Grusak MA, Russell RM. β -Carotene in Golden Rice is as good as β -carotene in oil at providing vitamin A to children. *Am J Clin Nutr*. 2012 Sep;96(3):658-64. doi: 10.3945/ajcn.111.030775. Epub 2012 Aug 1. Retraction in: *Am J Clin Nutr*. 2015 Sep;102(3):715. doi: 10.3945/ajcn.114.093229. PMID: 22854406; PMCID: PMC3417220.

- Tang G, Qin J, Dolnikowski GG, Russell RM, Grusak MA. Golden Rice is an effective source of vitamin A. *Am J Clin Nutr*. 2009 Jun;89(6):1776-83. doi: 10.3945/ajcn.2008.27119. Epub 2009 Apr 15. PMID: 19369372; PMCID: PMC2682994.
- Tudi, M., Ruan, H., Wang, L., Lyu, J., Sadler, R., Connell, D., Chu, C., & Phung, D., (2021), Agriculture development, pesticide application, and its impact on the environment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18, 1112. <https://doi.org/10.3390/ijerph18031112>
- Vega Rodríguez, A., Rodríguez-Oramas, C., Sanjuán Velázquez, E., Hardisson de la Torre, A., Rubio Armendáriz, C., & Carrascosa Iruzubieta, C. (2022). Myths and realities about genetically modified food: A risk-benefit analysis. *Applied Sciences*, 12(6), 2861. <https://doi.org/10.3390/app12062861>
- WHO (2014). Frequently asked questions on genetically modified foods. World Health Organization, <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/food-genetically-modified>
- Yuan, P., Usman, M., Liu, W., Adhikari, A., Zhang, C., Njiti, V., & Xia, Y. (2024). Advancements in plant gene editing technology: From construct design to enhanced transformation efficiency. *Biotechnology Journal*, 19(12), e202400457. <https://doi.org/10.1002/biot.202400457>
- Zhang, C., Wohlhueter, R., & Zhang, H. (2016). Genetically modified foods: A critical review of their promise and problems. *Food Science and Human Wellness*, 5(3), 116–123. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2016.04.002>

ÇOCUKLARDA AKUT BATIN: ETİYOLOJİ VE TANISAL YAKLAŞIM

Filiz GÜNDÜZ TELSİZ

Öğretim Görevlisi, Gaziantep Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Çocuk Cerrahisi, Gaziantep, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-1094-9765

ÖZET

Çocukluk çağında akut batın, hızlı tanı ve tedavi gerektiren, potansiyel olarak yaşamı tehdit eden klinik bir durumdur. Etiyoloji yaşa göre farklılık göstermekte olup, yenidoğan döneminde nekrotizan enterokolit ve intestinal obstrüksiyonlar ön planda iken, süt çocukluğu ve okul öncesi dönemde invajinasyon ve mezenterik lenfadenit daha sık görülmektedir. Okul çağı ve adölesan dönemde ise akut apandisit en yaygın akut batın nedenidir. Ayrıca over torsiyonu, Meckel divertikül komplikasyonları ve travmaya bağlı batın patolojileri de ayırıcı tanıda yer almaktadır. Klinik bulgular değişken olmakla birlikte, karın ağrısı, kusma, ateş ve iştahsızlık en sık karşılaşılan semptomlardır. Tanıda ayrıntılı anamnez ve fizik muayene temel olmakla birlikte, lökosit sayısı, C-reaktif protein ve diğer inflamatuvar belirteçler yardımcıdır. Ultrasonografi, non-invaziv ve kolay uygulanabilir olması nedeniyle ilk basamak görüntüleme yöntemi olarak tercih edilmektedir. Bilgisayarlı tomografi ve manyetik rezonans görüntüleme ise seçilmiş olgularda kullanılmaktadır. Tedavi yaklaşımı altta yatan nedene bağlı olup, bazı olgularda konservatif izlem yeterli olurken, cerrahi müdahale gerektiren durumlarda erken tanı morbiditeyi azaltmaktadır. Sonuç olarak, çocuklarda akut batın yönetiminde yaşa göre etiyolojik yaklaşım ve sistematik değerlendirme büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Akut batın; çocuk; apandisit; invajinasyon; ultrasonografi

ACUTE ABDOMEN IN CHILDREN: ETIOLOGY AND DIAGNOSTIC APPROACH

ABSTRACT

Acute abdomen in childhood is a potentially life-threatening condition that requires prompt diagnosis and management. The etiology varies according to age; necrotizing enterocolitis and intestinal obstruction are more common in the neonatal period, whereas intussusception and mesenteric lymphadenitis are frequently seen in infancy and preschool children. Acute appendicitis is the most common cause in school-aged children and adolescents. Additionally, ovarian torsion, Meckel's diverticulum complications, and abdominal trauma should be considered in the differential diagnosis. Although clinical presentation may vary, abdominal pain, vomiting, fever, and anorexia are the most common symptoms. A detailed history and physical examination are essential for diagnosis, while laboratory parameters such as leukocyte count and C-reactive protein provide supportive information. Ultrasonography is the preferred first-line imaging modality due to its non-invasive nature and accessibility. Computed tomography and magnetic resonance imaging are reserved for selected cases. Management depends on the underlying etiology; while some cases can be managed conservatively, early surgical intervention in appropriate patients reduces morbidity. In conclusion, an age-based etiological approach and systematic evaluation are crucial in the management of acute abdomen in children.

Keywords: Acute abdomen; child; appendicitis; intussusception; ultrasonography

ÇOCUKLARDA REKTAL KANAMA: ETİYOLOJİ VE KLİNİK YAKLAŞIM

Filiz GÜNDÜZ TELSİZ

Öğretim Görevlisi, Gaziantep Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Çocuk Cerrahisi, Gaziantep, Türkiye.
ORCID ID: 0000-0003-1094-9765

ÖZET

Çocukluk çağında rektal kanama, sık karşılaşılan ve genellikle benign nedenlere bağlı olmakla birlikte, bazı durumlarda ciddi gastrointestinal patolojilerin belirtisi olabilen önemli bir klinik bulgudur. Etiyoloji yaşa göre farklılık göstermektedir. Yenidoğan döneminde nekrotizan enterokolit ve allerjik proktokolit ön planda iken, süt çocukluğu döneminde anal fissür ve invajinasyon daha sık görülmektedir. Okul çağı çocuklarında juvenil polipler ve enfeksiyöz kolitler önemli nedenler arasında yer alırken, adölesan dönemde inflamatuvar bağırsak hastalıkları daha ön plana çıkmaktadır. Klinik bulgular kanamanın rengine, miktarına ve eşlik eden semptomlara göre değişiklik göstermektedir. Parlak kırmızı kanama genellikle distal gastrointestinal sistem kaynaklı olup, ağrılı defekasyon anal fissürü düşündürürken, ağrısız kanama juvenil polip lehine olabilir. Tanıda ayrıntılı anamnez ve fizik muayene temel olmakla birlikte, laboratuvar tetkikleri ve görüntüleme yöntemleri ayırıcı tanıda önemli rol oynamaktadır. Ultrasonografi non-invaziv olması nedeniyle ilk basamak görüntüleme yöntemi olarak tercih edilirken, endoskopik inceleme özellikle persistan ve nedeni açıklanamayan kanamalarda tanı koydurucudur. Tedavi yaklaşımı altta yatan nedene bağlı olarak değişmekte olup, çoğu olguda konservatif tedavi yeterli olurken, bazı durumlarda endoskopik veya cerrahi müdahale gerekebilmektedir. Sonuç olarak, çocuklarda rektal kanama değerlendirilirken yaşa göre etiyolojik yaklaşım ve sistematik tanısal değerlendirme büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Rektal kanama; çocuk; anal fissür; juvenil polip; invajinasyon

RECTAL BLEEDING IN CHILDREN: ETIOLOGY AND CLINICAL APPROACH

ABSTRACT

Rectal bleeding in childhood is a common clinical finding that is usually associated with benign conditions but may also indicate serious gastrointestinal pathologies in some cases. The etiology varies according to age. In the neonatal period, necrotizing enterocolitis and allergic proctocolitis are prominent causes, whereas anal fissure and intussusception are more common in infancy. Juvenile polyps and infectious colitis are frequent causes in school-aged children, while inflammatory bowel diseases become more prominent during adolescence. Clinical presentation varies depending on the color, amount, and associated symptoms of bleeding. Bright red blood typically indicates a distal gastrointestinal source; painful defecation suggests anal fissure, whereas painless bleeding may indicate juvenile polyps. A detailed history and physical examination are essential for diagnosis, while laboratory tests and imaging modalities contribute to differential diagnosis. Ultrasonography is the preferred first-line imaging modality due to its non-invasive nature, and endoscopic evaluation is particularly useful in persistent or unexplained cases. Management depends on the underlying cause; most cases can be managed conservatively, while some require endoscopic or surgical intervention. In conclusion, an age-based etiological approach and systematic diagnostic evaluation are crucial in the management of rectal bleeding in children.

Keywords: Rectal bleeding; child; anal fissure; juvenile polyp; intussusception

MİGRENLİ KADINLARDA KAS OKSİJENİZASYONUN İNCELENMESİ VE KAS OKSİJENİZASYONUN DİSABİLİTE İLE ALLODİNİ ŞİDDETİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRMESİ

Özge ÖZKUTLU

Dr. Öğr. Üyesi, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Fakültesi,
Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Ankara, Türkiye.

ORCID ID: 0000-0002-0979-7613

Saime Büşranur POLAT

Fizyoterapist, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

ORCID ID: 0009-0000-3931-913X

Çağla KARADAŞ

Fizyoterapist, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

ORCID ID: 0009-0002-5147-0961

Nezhat Özgül ÜNLÜER

Doç. Doktor, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Fakültesi,
Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Ankara, Türkiye.

ORCID ID: 0000-0003-2314-0738

Mustafa Ertuğrul YAŞA

Doç. Doktor, Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Gülhane Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Fakültesi,
Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Ankara, Türkiye.

ORCID ID: 0000-0002-7796-2588

Ömer KARADAŞ

Prof.Dr, Ankara Gülhane Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Nöroloji Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye.

ORCID ID: 0000-0002-7796-2588

ÖZET

Bu çalışmada, kadın migren hastalarında kutanöz alodini, migrene bağlı engellilik düzeyleri ve kas oksijenizasyonu arasındaki ilişkinin değerlendirilmesi amaçlandı. Araştırma, 18–65 yaş aralığında bulunan 30 kadın migren hastası üzerinde gerçekleştirildi. Hastaların yaş ortalaması $38,10 \pm 9,59$ yıl olarak saptandı. Migrene bağlı engellilik düzeyi Migren Engellilik Değerlendirmesi Ölçeği (MIDAS) ile kutanöz alodini varlığı ise Allodynia Symptom Ölçeği (ASC-12) ile değerlendirildi. Kas oksijenizasyonu üst trapezius kasında lokal kas oksijen satürasyonu (SmO_2) ve toplam hemoglobin (THb) ölçümüyle değerlendirildi. Ölçümler, yakın kızılötesi spektroskopisi temelli Moxy Kas Oksijen Monitör aracılığıyla gerçekleştirildi. İstatistiksel analizler SPSS programıyla yapıldı. Normal dağılım Shapiro–Wilk testi ile incelendi. Tanımlayıcı istatistikler ortalama $\pm$ standart sapma ve medyan (çeyrekler arası aralık) olarak gösterildi. Pearson veya Spearman korelasyon analizi ile değişkenler arası ilişkiler değerlendirilip, $p < 0,05$ değeri istatistiksel olarak anlamlı kabul edildi. Yapılan korelasyon analizleri sonucunda; sağ taraf SmO_2 kontraksiyon değerleri ile Alodini Symptom Ölçeği skorları arasında negatif yönlü ve istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki saptandı ($r = -0,279$; $p = 0,035$). Buna karşın; hem sağ hem de sol taraf SmO_2 ve THb değerleri ile MIDAS skorları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir korelasyon gözlenmedi ($p > 0,05$). Sonuç

olarak, migren hastalarında üst trapezius kasına ait hemodinamik değişiklikler ile alodini şiddeti arasında sınırlı düzeyde bir ilişki olduğu görülmektedir. Bu doğrultuda, kas oksijenizasyonunun değerlendirilmesi klinik açıdan potansiyel olarak yararlı olabilir; ancak elde edilen ilişkinin zayıf olması nedeniyle bulguların genellenebilirliğini sınırlamaktadır ve daha geniş örneklemlemlerle desteklenmesi gerekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Migren, Kutanöz Alodini, Kas Oksijenizasyonu, NIRS, Moxy Monitör

AN INVESTIGATION OF MUSCLE OXYGENATION IN WOMEN WITH MIGRAINE AND AN ASSESSMENT OF MUSCLE OXYGENATION IN RELATION TO DISABILITY AND THE SEVERITY OF ALLODYNIA

ABSTRACT

This study aimed to evaluate the relationship between cutaneous allodynia, migraine-related disability levels, and muscle oxygenation in female patients with migraine. The study was conducted on 30 female migraine patients aged between 18 and 65 years. The mean age of the participants was 38.10 ± 9.59 years. Migraine-related disability was assessed using the Migraine Disability Assessment Scale (MIDAS), while the presence of cutaneous allodynia was evaluated using the Allodynia Symptom Checklist (ASC-12). Muscle oxygenation was assessed in the upper trapezius muscle by measuring local muscle oxygen saturation (SmO_2) and total hemoglobin (THb). Measurements were performed using a near-infrared spectroscopy-based Moxy Muscle Oxygen Monitor. Statistical analyses were conducted using the SPSS software. Normality was assessed with the Shapiro–Wilk test. Descriptive statistics were presented as mean $\pm$ standard deviation and median (interquartile range). Relationships between variables were analyzed using Pearson or Spearman correlation analyses, and a p-value of <0.05 was considered statistically significant. The correlation analyses revealed a negative and statistically significant relationship between right-side SmO_2 contraction values and Allodynia Symptom Checklist scores ($r = -0.279$; $p = 0.035$). However, no statistically significant correlation was found between both right and left SmO_2 and THb values and MIDAS scores ($p > 0.05$). In conclusion, there appears to be a limited association between hemodynamic changes in the upper trapezius muscle and the severity of allodynia in migraine patients. Accordingly, the assessment of muscle oxygenation may be clinically useful; however, the weak nature of the observed relationship limits the generalizability of the findings, and further studies with larger sample sizes are needed.

Keywords: Migraine, Cutaneous Allodynia, Muscle Oxygenation, NIRS, Moxy Monitor

GİRİŞ

Dünya genelinde geniş bir popülasyonu etkileyen baş ağrısı bozuklukları, tekrarlayan ataklarla seyreden nörolojik hastalıklar arasında yer alır ve gerilim tipi baş ağrısı, migren, küme baş ağrısı ve kronik günlük baş ağrısı sendromları olarak adlandırılan alt tipleri bulunur (Stovner et al., 2007). Migren, tekrarlayan baş ağrısı atakları ile seyreden ve bu ataklara sıklıkla bulantı, kusma, ışık ve sese karşı artmış duyarlılığın sıkça görüldüğü nörolojik bir bozukluktur. Uluslararası Baş Ağrısı Bozuklukları Sınıflandırması (ICHD) kriterleri, migreni temel olarak auralı ve aurasız şeklinde iki ana gruba ayırır. Tanısal süreçte aurasız tip için en az beş, auralı tip için ise en az iki atak varlığı şartı aranır (Headache Classification Committee of the International Headache Society., 2018). Yapılan popülasyon bazlı çalışmalar, migrenin cinsiyetler arası dağılımı ve hastalık yükü açısından belirgin farklılıklar sergilediğini ortaya koymaktadır. Özellikle kadınlarda aurasız migren görülme sıklığı (%11), erkeklere kıyasla yaklaşık üç kat daha fazla olup; bu oran doğurganlık döneminde belirgin bir artış göstermektedir (Chalmer et al., 2023).

Engellilik; bireyin mevcut sağlık durumu ile çevresel ve kişisel faktörlerin etkileşimi sonucunda ortaya çıkan bir durumu ifade eder. Bu tablo; vücut fonksiyonları, bireysel aktiviteler veya toplumsal katılım düzeyinde, bir ya da birden fazla yaşam alanında deneyimlenen işlevsel kısıtlılıkları kapsar (Leonardi et al., 2006). Migren ataklarının sıklığı arttıkça engellilik oranları da yükselir; özellikle kronik migren hastalarında iş göremezlik oranları daha yüksektir (Shapiro et al., 2023). Migrenin bireysel sağlığın ötesinde, aile içi dinamikleri ve sosyal işlevsellik üzerinde de ciddi kısıtlamalara yol açtığı gözlemlenmektedir. Yapılan incelemeler, bir partnerle yaşayan migren hastalarının yaklaşık %85 oranında ev işleri ve hane içi sorumluluklarını yerine getirmede belirgin bir kapasite kaybı yaşadığını göstermektedir (Lipton et al., 2003). Ülkemizde yapılan bir çalışmada ise 101 migrenli bireyin %68.3'ünün günlük aktivitelerini yerine getirmede belirgin düzeyde yetersizlik yaşadıkları saptanmıştır (Gül et al., 2011).

Allodini, normal şartlarda ağrı uyandırmayan bir uyarana karşı ağrı hissedilmesi durumunu ifade eder. Yaş, cinsiyet, ilaç kullanımı, beslenme, anksiyete seviyesi, kronik stres gibi faktörler allodini şiddetini etkileyebilir (Sandkuhler, 2009). Genellikle baş ağrısının en yoğun olduğu evrede ve ağrı ile aynı tarafta ortaya çıkan allodini, sadece kafa derisiyle sınırlı kalmayıp ekstremitelere de yayılım gösterebilir. Yapılan araştırmalar; allodini varlığı ile hastalık süresi ve atak sıklığı arasında doğrudan bir korelasyon bulunduğunu, özellikle sık atak geçiren bireylerde allodini süresinin daha uzun seyrettiğini kanıtlar (Burstein et al., 2000).

Kas oksijenasyonu, ölçüm yapıldığı sırada kas dokusu içerisinde bulunan ve hemoglobin, miyoglobin ile sitokrom yapılarının bir parçasını oluşturan toplam hem moleküllerinin, oksijene bağlı olan yüzdesini ifade eder (Stathopoulos et al., 2024). Kas dokusu oksijenasyonunun değerlendirilmesinde farklı yöntemler kullanılmakta olup, bunlardan biri olan yakın kızılötesi spektroskopisi (NIRS), dokularda oksijenin taşınması ve kullanımını incelemeye olanak sağlar (Ferrari et al., 2004). Hipoksi, hava, kan veya dokulardaki oksijen seviyesinin normal sınırların altına düşmesini ifade eder (Safran et al., 2003). Hipoksinin migren ataklarını tetikleyebileceği ilk olarak 1980’li yıllarda öne sürülmüştür (Amery, 1982) ve ilerleyen süreçte hipoksinin migren ataklarını tetikleyebileceği düşünülmüştür (Arngim et al., 2016). Hipoksinin kas oksijenasyonunu etkilediğini ortaya koyan çalışmalar mevcut olsa da (Hansen et al., 2024; Sweeting et al., 2017) hem migren hastalarında kas oksijenasyonunu doğrudan değerlendiren çalışmalar hem de kas oksijenasyonunun engellilik ve allodini şiddetiyle ilişkisini araştıran çalışmalar sınırlıdır. Bu bilgi boşluğunu gidermek amacıyla, migren hastalarında kas oksijenasyon düzeylerini karşılaştırmak ve kas oksijenasyonunun allodini semptomları ile migrene bağlı yetersizlik düzeyi arasındaki ilişkisini incelemek hedeflenmiştir.

YÖNTEM

Evren ve Örneklem

Çalışmaya dahil edilen hastalar, Gülhane Eğitim ve Araştırma Hastanesi Nöroloji Polikliniği’ne başvuran kadın migren hastaları arasından seçildi. Çalışmaya dahil edilmeden önce hastalara çalışma hakkında bilgi verilmiştir ve yazılı gönüllü onamları alındı. Çalışmaya; Uluslararası Baş Ağrısı Derneği Baş Ağrısı Sınıflandırma Komitesi (ICHD-3) kriterlerine göre uzman bir nörolog tarafından en az altı önce migren tanısı almış (Headache Classification Committee of the International Headache Society., 2013), 18- 65 yaş arasında olan, kadın cinsiyette olan ve son bir ay içerisinde ilaç değişikliği yapılmamış ve araştırma hakkında detaylı bilgilendirildikten sonra katılım için gönüllü onam veren kadın hastalar dahil edildi. Araştırmadan dışlama kriterleri; farklı tipte birincil veya ikincil baş ağrısı tanısına sahip olmak, temporomandibular bozukluk bulunması, gebelik, epilepsi ve multiple skleroz gibi ciddi nörolojik hastalıkların varlığı ile şiddetli depresyon gibi ciddi psikiyatrik ve sistemik hastalıklara sahip olmaktır. Ayrıca cihaz ölçümlerinden güvenilir veri elde edilemeyen bireyler ile yazılı gönüllü onam formunu imzalamayan kişiler de çalışma dışı bırakıldı.

Veri Toplama Araçları

Bireylerin demografik verilerini kaydetmek için yapılandırılmış değerlendirme formu kullanıldı ve yaş (yıl), boy (cm), kilo (kg), cinsiyet gibi demografik bilgileri kaydedildi. Migrenli hastalarda ayrıca atak sıklığı, süresi gibi baş ağrısıyla ilişkili özellikler de değerlendirildi. Hastalarda kutanöz allodini varlığını değerlendirmek amacıyla Allodini Symptom Ölçeği (ASC) kullanıldı. Ölçeğin Türkçe versiyonunun geçerlilik ve güvenilirlik çalışması Yalın ve ark. tarafından yapılmıştır (Lipton et al., 2008; Yalın et al., 2016). Katılımcıların günlük yaşam aktiviteleri üzerindeki etkisini ve migrene bağlı engellilik düzeyini belirlemek amacıyla Migren Engellilik Değerlendirmesi Ölçeği (MIDAS) kullanılmıştır. Bu ölçeğin Türkçe versiyonunun geçerlilik ve güvenilirlik çalışması Ertaş ve ark. tarafından yapılmıştır (Ertaş et al., 2004; Stewart et al., 2001). Katılımcıların kas oksijenasyonu; üst trapezius kasında lokal kas oksijen saturasyonu (SmO_2) ve toplam hemoglobin (THb) düzeylerinin ölçülmesiyle değerlendirildi. Ölçümler, yakın kızılötesi spektroskopisi (NIRS) teknolojisini kullanan Moxy Kas Oksijen Monitörü (Moxy Monitor, Fortiori Design LLC, Minnesota, ABD) aracılığıyla yapıldı (Feldmann et al., 2019). Çalışmada kullanılacak ölçüm protokolünün uygulanabilirliğini değerlendirmek amacıyla, Moxy kas oksijen monitörü ile yapılan pilot ölçümler beş kişiden oluşan sağlıklı bireyler üzerinde gerçekleştirildi. Pilot uygulamanın tamamlanmasının ardından ölçümler sağ ve sol üst trapezius kası üzerinde gerçekleştirildi. Sensör, ilgili kas bölgelerine yerleştirilerek SmO_2 ve THb değerleri kaydedildi.

Üst Trapezius Kası: Moxy Monitörü, üst trapezius kasının enine kesitine yerleştirildi. Cihaz, akromiyon ile C7 omurunun tam ortasına yerleştirildi. SmO_2 ölçümleri, istirahatte, 5 saniyelik aralıklarla gerçekleştirilen 6 saniyelik üç izometrik kasılmanın ardından, 1 dakikalık dinlenmeden sonra kaydedildi. İzometrik kasılma için katılımcılardan omuzlarını kaldırmaları ve orada tutmaları istendi (Stegeman et al., 2007).

Veri Toplama Araçlarının Uygulanması

Bu çalışma, Gülhane İlaç ve Tıbbi Cihaz Dışı Girişimsel Araştırmalar Etik Kurulu'nun 2026/36 tarih ve 46418986 sayılı onayı ile yürütüldü. Araştırmaya, Gülhane Eğitim ve Araştırma Hastanesi Nöroloji Polikliniğine başvuran 18–65 yaş aralığındaki kadın migren hastaları dahil edildi. Çalışma tek seanslık değerlendirmeden oluştu olup herhangi bir girişimsel uygulama içermedi. Veri toplama süreci yüz yüze gerçekleştirildi ve değerlendirmeler yaklaşık 25–30 dakika sürdü. Hastalara çalışma öncesinde gerekli bilgilendirme yapıldı ve yazılı aydınlatılmış onamları alındı. Tüm hastalar klinik olarak stabil oldukları ve migren dışında akut bir sağlık problemi bulunmadığı dönemde değerlendirildi.

Verilerin Analizi

Veriler SPSS 25.0 kullanılarak analiz edilmiştir. Sürekli değişkenlerin normal dağılımı Shapiro-Wilk testi ile kontrol edilmiştir. Normal dağılan veriler ortalama $\pm$ standart sapma, normal dağılmayanlar medyan [çeyrekler arası açıklık] olarak sunuldu. Değişkenler arasındaki ilişkiler Pearson veya Spearman korelasyonu ile değerlendirildi. Anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edildi.

BULGULAR

Çalışmaya dahil edilen 30 migren hastasının demografik özelliklerine ilişkin veriler Tablo 1’de sunuldu. Hastaların yaş ortalaması $38,10 \pm 9,59$ yıl, ortalama VKİ’si $25,46 \pm 4,39$ kg/m² olarak saptandı. Klinik özellikler incelendiğinde; ortalama hastalık süresi $106,23 \pm 104,8$ ay hastalığın başlangıç yaş ortalaması $27,87 \pm 10,51$ yıl olarak saptandı. Migren hastalarının ayda geçirdikleri ortalama atak sayısı $7,33 \pm 8,49$ iken, atak süresinin ortalama $42,7 \pm 30,76$ saat olduğu görüldü.

Tablo 1. Migren Hastalarının Demografik ve Klinik Özellikleri

Toplam (n=30)	Ortalama $\pm$ SS	Medyan [CAA]	Min-Max
Yaş (yıl)	$38,10 \pm 9,59$	37,5 [16]	18-54
VKİ (kg/m ²)	$25,46 \pm 4,39$	25,9 [4,11]	15,05-38,22
Hastalık Süresi (ay)	$106,23 \pm 104,8$	60 [168]	7-360
Başlangıç Yaşı (yıl)	$27,87 \pm 10,51$	26,5 [16]	7-51
Ayda Geçirilen Atak Sayısı	$7,33 \pm 8,49$	4 [6]	1-30
Atak Süresi (saat)	$42,7 \pm 30,76$	36 [48]	1-144
	n	%	
Tutulum Tarafı			
Sağ	10	33,3	
Sol	10	33,3	
Bilateral	10	33,3	

SS: Standart Sapma, CAA: Çeyrekler Arası Açıklık, Min: Minimum, Max: Maksimum, n: Birey Sayısı, %: Yüzde, VKİ: Vücut kitle indeksi

Migren hastalarının engellilik düzeyleri ve allodini şiddetlerine dair veriler Tablo 2’de sunuldu. MİDAS ölçeği sonuçlarına göre, hastaların son 3 ayda migren nedeniyle iş, ev ve sosyal yaşamlarında kaybettikleri ortalama gün sayısı $82,67 \pm 56,48$ gün olarak hesaplandı. Son 3 ay içindeki baş ağrılı gün sayısı ortalama $33,10 \pm 24,56$ gün, ağrı şiddeti ise VAS skalasına göre ortalama $6,96 \pm 1,82$ olarak saptandı.

Engellilik düzeyleri kategorik olarak incelendiğinde; hastaların %83,3'ü (n=25) "Şiddetli Engellilik" grubunda yer alırken, %10'unun (n=3) orta, %6,7'sinin (n=2) hafif düzeyde engellilik yaşadığı görüldü.

Allodini değerlendirmesinde, migren hastalarının ortalama Allodini Semptom Ölçeği Skoru $6,97 \pm 4,14$ olarak bulundu. Allodini şiddeti dağılımına bakıldığında; hastaların %36,7'sinde (n=11) şiddetli, %30'unda (n=9) orta ve %10'unda (n=3) hafif düzeyde allodini görüldü. Allodini saptanmayan hasta oranı ise %23,3 (n=7) olarak belirlendi.

Tablo 2. Migren Hastalarının Engellilik Düzeyine ve Alodini Şiddetine Dair Bilgiler

Toplam (n=30)	Ortalama $\pm$ SS	Medyan [CAA]	Min-Max
MİDAS (3 Ayda Kaybedilen Gün Sayısı)	82,67 $\pm$ 56,48	76 [104]	8-210
MİDAS A (Son 3 Ayda Baş Ağrısının Olduğu Gün Sayısı)	33,10 $\pm$ 24,56	22 [30]	3-90
MİDAS B (Son 3 Ayda Ortalama Ağrı VAS Değeri)	6,96 $\pm$ 1,82	7 [2]	3-10
	n	%	
Engellilik Düzeyi			
Şiddetli	25	83,3	
Orta Düzey	3	10	
Hafif Düzey	2	6,7	
	Ortalama $\pm$ SS	Medyan [CAA]	Min-Max
Alodini Semptom Ölçeği Skoru	6,97 $\pm$ 4,14	6,5 [5]	0-16
	n	%	
Alodini Şiddeti			
Şiddetli	11	36,7	
Orta	9	30	
Hafif	3	10	
Yok	7	23,3	

SS: Standart Sapma, CAA: Çeyrekler Arası Açıklık, Min: Minimum, Max: Maksimum, n: Birey Sayısı, %: Yüzde, MİDAS: Migren Engellilik Değerlendirme Ölçeği

Migren hastalarının sağ ve sol üst trapez kaslarına ait SmO₂ ve THb değerleri ile MİDAS skoru ve Alodini Semptom Ölçeği skoru arasındaki ilişkiyi gösteren veriler Tablo 3'te sunuldu.

Yapılan korelasyon analizleri sonucunda, migren hastalarının MİDAS skoru ile sağ ve sol tarafta ölçülen SmO₂ ve THb parametreleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki bulunmadığı görüldü (p>0,05). Korelasyon katsayılarının düşük düzeyde olduğu ve hem pozitif hem negatif yönlü zayıf ilişkiler gösterdiği belirlendi.

Allodini Semptom Ölçeği skoru ile parametreler arasındaki ilişkiler değerlendirildiğinde ise yalnızca sağ üst trapez kası kontraksiyon fazı SmO₂ değeri ile allodini skoru arasında istatistiksel olarak anlamlı, negatif yönlü zayıf bir ilişki saptandı (r=-0,279; p=0,035). Buna

göre, sağ tarafta kontraksiyon fazında ölçülen SmO₂ azaldıkça alodini semptom şiddetinin arttığı görüldü. Ek olarak alodini skoru ile diğer tüm SmO₂ ve THb ölçümleri arasında anlamlı bir ilişki bulunmadığı (p>0,05) ve korelasyonların zayıf düzeyde kaldığı tespit edildi.

Tablo 3. Migren Hastalarının Üst Trapez Kasına Ait Kas Oksijenizasyonu Değerlerinin

				MIDAS Skoru		Alodini Semptom Ölçeği Skoru	
Toplam (n=30)	Ortalama ± SS	Medyan [ÇAA]	Min-Max	p	r	p	r
Sağ SmO ₂ ^{1.İST}	47,72 ± 16,40	48,6 [23,74]	18,19-78,04	0,091 ^b	-0,02	0,105 ^b	-0,302
Sağ THb ^{1.İST}	11,56 ± 0,46	11,43 [0,66]	10,8-12,79	0,350 ^a	0,177	0,483 ^a	0,133
Sağ SmO ₂ ^{KON}	46,22 ± 15,04	52,57 [22,67]	21,41-73,42	0,684 ^b	0,078	0,035^{b*}	-0,279
Sağ THb ^{KON}	11,53 ± 0,46	11,40 [0,61]	10,76-12,86	0,391 ^b	0,162	0,253 ^b	0,215
Sağ SmO ₂ ^{2.İST}	49,67 ± 13,81	51,47 [21,95]	23,54-71,51	0,318 ^b	0,189	0,420 ^b	-0,153
Sağ THb ^{2.İST}	11,58 ± 0,48	11,41 [0,56]	10,79-12,75	0,841 ^b	0,038	0,895 ^b	0,025
Sol SmO ₂ ^{1.İST}	47,49 ± 13,84	48,95 [17,68]	19,12-73,06	0,870 ^b	-0,031	0,855 ^b	-0,035
Sol THb ^{1.İST}	11,41 ± 0,45	11,49 [0,43]	10,58-12,73	0,779 ^a	-0,054	0,901 ^a	-0,024
Sol SmO ₂ ^{KON}	46,96 ± 13,76	50,27 [24,73]	18,71-69,35	0,934 ^b	0,016	0,172 ^b	-0,256
Sol THb ^{KON}	11,60 ± 0,46	11,49 [0,36]	10,54-12,73	0,486 ^a	-0,132	0,453 ^a	-0,142
Sol SmO ₂ ^{2.İST}	50,6 ± 12,39	54,83 [17,13]	19,25-66,67	0,784 ^a	-0,052	0,436 ^a	-0,148
Sol THb ^{2.İST}	11,61 ± 0,43	11,54 [0,40]	10,58-12,63	0,469 ^a	-0,137	0,649 ^a	-0,087

MIDAS Skoru ve Alodini Semptom Ölçeği Skoru ile İlişkisi

p <0,05, SS: Standart Sapma, ÇAA: Çeyrekler Arası Açıklık, Min: Minimum, Max: Maksimum, SmO₂: Kas Oksijen Satürasyonu, THb: Total Hemogloblin, 1.İST: Birinci İstirahat, KON: Kontraksiyon, 2.İST: İkinci İstirahat a: Spearman Korelasyon Analizi, b: Pearson Korelasyon Analizi

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada migren hastalarında üst trapez kasına ait oksijenasyon SmO₂ ve THb parametreleri ile klinik şiddeti yansıtan MIDAS ve Alodini Semptom Ölçeği skorları arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Elde edilen bulgular, MIDAS skoru ile hem sağ hem de sol üst trapez kasından elde edilen SmO₂ ve THb ölçümleri arasında istatistiksel olarak anlamlı bir ilişki olmadığını göstermiştir. Korelasyon katsayılarının düşük düzeyde olması, bu parametreler ile migrenin fonksiyonel etkisini yansıtan MIDAS skoru arasında belirgin bir ilişki bulunmadığını düşündürmektedir. Alodini Semptom Ölçeği açısından değerlendirildiğinde ise yalnızca sağ üst trapez kasının kontraksiyon fazında ölçülen SmO₂ değeri ile alodini şiddeti arasında zayıf ve negatif yönlü anlamlı bir ilişki saptanmıştır. Bu bulgu, kas oksijenasyonunun azalmasının alodini semptomlarının artışı ile ilişkili olabileceğine işaret ederken, diğer tüm SmO₂ ve THb parametreleri ile alodini arasında anlamlı bir ilişki bulunmaması, bu ilişkinin sınırlı ve bölgesel olabileceğini göstermektedir.

Literatürdeki güncel kanıtlar, üst trapez kası mekanizmasının Gerilim Tipi Baş Ağrısı (TTH) patofizyolojisindeki kritik rolünü giderek daha fazla vurgulamaktadır. Shimada ve ark. tarafından 203 TTH hastası üzerinde gerçekleştirilen kapsamlı kesitsel analiz, trapez kası sertliği ile baş ağrısı şiddeti arasındaki doğrudan ilişkiyi somutlaştırmıştır. Artmış trapez kası sertliği, TTH hastalarında daha yüksek baş ağrısı şiddeti ile pozitif yönde ilişkili bulunmuştur. Bu durum, periferik kas dokusundaki mekanik değişimlerin baş ağrısı patofizyolojisinde rol oynayabileceğini desteklemektedir (Shimada et al., 2025).

Literatürde üst trapezius kasına yönelik çalışmalar değerlendirildiğinde, kas dokusunda meydana gelen yapısal değişikliklerin migren ile ilişkili olabileceği düşünülmektedir. 2023 yılında Sollmann ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, 41'i kadın olmak üzere 20–31 yaş aralığında toplam 50 katılımcı dahil edilmiştir. Katılımcılar; yalnızca gerilim tipi baş ağrısı (TTH-) olan bireyler, migren ile birlikte görülen gerilim tipi baş ağrısı olan bireyler (TTH+) ve sağlıklı kontrol grubundan oluşmuştur. Çalışmada trapez kas T2 değerleri manyetik rezonans görüntüleme ile değerlendirilmiş, özellikle TTH+ grubunda trapez kas T2 değerlerinin diğer gruplara göre daha yüksek olduğu; ayrıca artmış T2 değerlerinin baş ağrısı gün sayısı ve boyun ağrısı varlığı ile anlamlı şekilde ilişkili olduğu saptanmıştır. T2 değerindeki değişimler, dokunun mikroyapısındaki bozulmaları gösterebilen hassas bir görüntüleme belirteci olarak kabul edilmektedir. İlgili çalışmada T2 değerindeki artışın; dokuda interstisyel sıvı artışına bağlı ödem ve inflamasyon, kas liflerinde mikroskobik düzeyde doku hasarı ve ekstraselüler matriksteki değişiklikler ile ilişkili olabileceği belirtilmiştir. Ayrıca kas dokusu içerisinde yağ birikiminin de T2 sinyal değişikliklerine katkıda bulunabileceği ifade edilmektedir (Sollmann et al., 2023).

Azalmış kas oksijenasyonu, miyofasial tetik nokta (MTrP) oluşumunda önemli bir faktör olarak görülmektedir. Fibromiyalji hastalarında tetik noktaların bulunduğu kas bölgelerinde düşük doku oksijenasyonu tespit edilmiştir, bu da kas dokusunun oksijen yetersizliği yaşadığını göstermektedir (Lund et al., 1986). Baş ağrısı olan ve olmayan bireylerde üst trapez (UT) kasındaki tetik noktaların varlığı ile baş ağrısı arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmanın bulguları sonucunda, UT kasındaki tetik noktalar ile baş ağrısı arasında orta düzeyde bir ilişki saptanmış, ancak bu ilişki anlamlı bulunmamıştır. Bu bulgular, azalmış kas oksijenasyonu ile tetik nokta oluşumu arasındaki ilişkinin dolaylı olarak baş ağrısı semptomatolojisine katkıda bulunabileceği görüşünü desteklemektedir (Devadiga et al., 2025).

Migren hastalarında kas oksijenizasyonu ile migrene bağlı disabilite arasındaki ilişkiyi doğrudan inceleyen çalışmalar sınırlıdır. Çalışmamızda elde edilen sonuçlar, üst trapez kas

oksijenizasyonu ile MIDAS skorları arasında bir ilişki olmadığını göstermektedir. Bizim çalışmamızın sonuçları aksine, migren hastalarında egzersiz programlarının maksimum oksijen alımını artırdığı ve bu artışın migren atak sıklığı, şiddeti ve ilaç kullanımında iyileşme sağladığı gösterilmiştir; bu da kas oksijenizasyonunun migren semptomları üzerinde olumlu etkisi olabileceğini düşündürmektedir (Varkey et al., 2009). Yüksek akımlı oksijen tedavisi, migren ataklarında ağrı, bulantı ve görsel semptomların hafiflemesine katkı sağlayabilir; ancak MIDAS skoru ile ilişkisi henüz net olarak ortaya konmamıştır (Singhal et al., 2017).

Sonuç olarak, mevcut literatürde kas oksijenizasyonunun özellikle disabilite ölçekleri üzerindeki etkisini açıklayan verilerin ve allodini ile ilişkisini ortayan koyan çalışmaların sınırlı olması, bu ilişkilerin daha büyük örneklem ve uzunlamasına tasarımlarla detaylandırılmasına ihtiyaç olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda, gelecekteki çalışmaların kas oksijenizasyonunu periferik fizyolojik ölçümler, merkezi ağrı modülasyonu parametreleri ve disabilite ölçekleri ile birlikte değerlendirmesi, migren patofizyolojisinin daha bütüncül anlaşılmasına katkı sağlayabilir.

KAYNAKLAR

- Amery, W. K. (1982). Brain hypoxia: The turning-point in the genesis of the migraine attack? *Cephalalgia*, 2(2), 83–109.
- Arngrim, N., Schytz, H. W., Britze, J., Amin, F. M., Vestergaard, M. B., Hougaard, A., ... & Secher, N. H. (2016). Migraine induced by hypoxia: An MRI spectroscopy and angiography study. *Brain*, 139(3), 723–737.
- Burstein, R., Yarnitsky, D., Goor-Aryeh, I., Ransil, B. J., & Bajwa, Z. H. (2000). An association between migraine and cutaneous allodynia. *Annals of Neurology*, 47(5), 614–624.
- Chalmer, M. A., Kogelman, L. J., Callesen, I., Christensen, C. G., Techlo, T. R., Møller, P. L., ... & Mikkelsen, S. (2023). Sex differences in clinical characteristics of migraine and its burden: A population-based study. *European Journal of Neurology*, 30(6), 1774–1784.
- Devadiga, D., Sannasi, R., Rao, P. D., Keshavmurthy, H. H., Dommerholt, J., & Thomas, S. (2025). Association between sternocleidomastoid and upper trapezius muscle trigger points and headaches: A cross-sectional study. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*, 48(6-9), 683–688.
- Ertaş, M., Siva, A., Dalkara, T., Uzuner, N., Dora, B., Inan, L., ... & Sirin, H. (2004). Validity and reliability of the Turkish Migraine Disability Assessment (MIDAS) questionnaire. *Headache*, 44(8), 786–793.
- Feldmann, A., Schmitz, R., & Erlacher, D. (2019). Near-infrared spectroscopy-derived muscle oxygen saturation on a 0% to 100% scale: Reliability and validity of the Moxy Monitor. *Journal of Biomedical Optics*, 24(11), 1–11.
- Ferrari, M., Mottola, L., & Quaresima, V. (2004). Principles, techniques, and limitations of near infrared spectroscopy. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 29(4), 463–487.
- Gül, S., & Mollaoğlu, M. (2011). Migrenli bireylerde ağrının özellikleri ve bireyin günlük aktiviteleri üzerindeki etkisi. *Yeni Symposium*, 49(3), 153–158.

- Hansen, C., Brocherie, F., Millet, G. P., & Girard, O. (2024). Effects of hypoxia severity on muscle oxygenation kinetics using statistical parametric mapping during repeated treadmill sprints. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 19(4), 417–421.
- Headache Classification Committee of the International Headache Society (IHS). (2018). The International Classification of Headache Disorders, 3rd edition. *Cephalalgia*, 38(1), 1–211.
- Leonardi, M., Bickenbach, J., Ustun, T. B., Kostanjsek, N., & Chatterji, S. (2006). The definition of disability: What is in a name? *The Lancet*, 368(9543), 1219–1221.
- Lipton, R. B., Bigal, M. E., Kolodner, K., Stewart, W. F., Liberman, J. N., & Steiner, T. J. (2003). The family impact of migraine: Population-based studies in the USA and UK. *Cephalalgia*, 23(6), 429–440.
- Lipton, R. B., Bigal, M. E., Ashina, S., Burstein, R., Silberstein, S., Reed, M. L., ... & American Migraine Prevalence and Prevention Advisory Group. (2008). Cutaneous allodynia in the migraine population. *Annals of Neurology*, 63(2), 148–158.
- Lund, N., Bengtsson, A., & Thorborg, P. (1986). Muscle tissue oxygen pressure in primary fibromyalgia. *Scandinavian Journal of Rheumatology*, 15(2), 165–173.
- Safran, M., & Kaelin, W. G. (2003). HIF hydroxylation and the mammalian oxygen-sensing pathway. *The Journal of Clinical Investigation*, 111(6), 779–783.
- Sandkuhler, J. (2009). Models and mechanisms of hyperalgesia and allodynia. *Physiological Reviews*, 89(2), 707–758.
- Shapiro, R. E., Martin, A. A., Bhardwaj, S., Thomson, H., Maculaitis, M. C., Anderson, C., & Kymes, S. M. (2023). Relationships between headache frequency, disability, and disability-related unemployment among adults with migraine. *Journal of Managed Care & Specialty Pharmacy*, 29(2), 197–209.
- Shimada, D., Ishikawa, E., Kawai, T., Harada, Y., Hatayama, T., Kono, T., ... & Iijima, S. (2025). Association between trapezius muscle stiffness and headache severity in patients with tension-type headache. *European Journal of Neurology*, 32(10), e70393.
- Singhal, A. B., Maas, M. B., Goldstein, J. N., Mills, B. B., Chen, D. W., Ayata, C., ... & Topcuoglu, M. A. (2017). High-flow oxygen therapy for treatment of acute migraine: A randomized crossover trial. *Cephalalgia*, 37(8), 730–736.
- Sollmann, N., Schandelmaier, P., Weidlich, D., Stelter, J., Joseph, G. B., Börner, C., ... & Landgraf, M. N. (2023). Headache frequency and neck pain are associated with trapezius muscle T2 in tension-type headache among young adults. *The Journal of Headache and Pain*, 24(1), 84.
- Stathopoulos, A., Petridou, A., Kantouris, N., & Mougios, V. (2024). A comparison of leg muscle oxygenation, cardiorespiratory responses, and blood lactate between walking and running at the same speed. *Sports*, 12(2), 48.
- Stegeman, D., & Hermens, H. (2007). Standards for surface electromyography: The European project Surface EMG for non-invasive assessment of muscles (SENIAM). *Roessingh Research and Development*, 10(8), 108–112.
- Stewart, W. F., Lipton, R. B., Dowson, A. J., & Sawyer, J. (2001). Development and testing of the Migraine Disability Assessment (MIDAS) Questionnaire to assess headache-related disability. *Neurology*, 56(suppl_1), S20–S28.
- Stovner, L. J., Hagen, K., Jensen, R., Katsarava, Z., Lipton, R. B., Scher, A. I., ... & Zwart, J. A. (2007). The global burden of headache: A documentation of headache prevalence and disability worldwide. *Cephalalgia*, 27(3), 193–210.

Sweeting, A. J., Billaut, F., Varley, M. C., Rodriguez, R. F., Hopkins, W. G., & Aughey, R. J. (2017). Variations in hypoxia impairs muscle oxygenation and performance during simulated team-sport running. *Frontiers in Physiology*, 8, 80. [h](#)

Varkey, E., Cider, Å., Carlsson, J., & Linde, M. (2009). A study to evaluate the feasibility of an aerobic exercise program in patients with migraine. *Headache: The Journal of Head and Face Pain*, 49(4), 563–570.

Yalin, O. Ö., Uludüz, D., Sungur, M. A., Sart, H., & Özge, A. (2016). Identification of allodynic migraine patients with the Turkish version of the Allodynia Symptel Checklist: Reliability and consistency study. *Archives of Neuropsychiatry (Nöropsikiyatri Arşivi)*, 54(3), 260–264.

TÜRKİYE’DE DEPREM SONRASI SÜRECİN DEĞERLENDİRİLMESİNE YÖNELİK LİTERATÜR İNCELEMESİ

Fatma SAVAŞ

Yüksek Lisans Öğrencisi, Aksaray Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Acil Yardım ve Afet
Yönetimi ABD, Aksaray, Türkiye

ORCID ID: 0009-0005-1041-8958

Şefik ÖZDEMİR

Prof. Dr., Aksaray Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Acil Yardım ve Afet Yönetimi,
Aksaray, Türkiye.

ORCID ID: 0000-0003-3005-0570

ÖZET

Depremler meydana geldikleri ülkelerde toplumun sosyal, ekonomik ve fiziksel yapılarını büyük yıkıma uğratarak önemli etkilere sebep olan afetlerdendir. Bu çalışma afet yönetimi döngüsünün deprem sonrası aşamasında müdahale ve iyileştirme süreçlerini Türkiye örneğinde değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu amaçla PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar ve TR Dizin/ULAKBIM veri tabanlarında Türkçe ve İngilizce anahtar kelimelerle literatür taraması yapılmış; deprem sonrası afet yönetim döngüsündeki süreçlere ilişkin çalışmalar incelenmiştir. Bu kapsamda Türkiye’de yaşanan depremlerde deprem sonrası müdahale ve iyileştirme süreçlerine yönelik literatürde yer alan bulgular değerlendirilmiştir. Yapılan literatür taraması sonucu, deprem sonrası hızlı ve etkin müdahalenin, arama kurtarma çalışmaları ve afet lojistiğinin koordineli şekilde yönetimiyle gerçekleştirilebileceği görülmektedir. Türkiye’de müdahale sürecinin AFAD tarafından koordine edilerek tek merkezden yürütülüp beraberinde çeşitli kurum ve kuruluşların görev aldığı görülmektedir. Bununla beraber iyileştirme sürecinin de yalnızca fiziksel olarak değil toplumun sosyal, psikolojik ve ekonomik olarak da eski haline döndürebilmeyi amaçlayan uzun vadeli bir süreç olduğu literatürde belirtilmiştir. Sonuç olarak deprem sonrası müdahale ve iyileştirme süreçlerinin etkin bir şekilde yürütülüp sürdürülebilir olması için kurumsal yapının güçlendirilmesi, kurumlar arası doğru iletişimin sağlanıp koordineli çalışma planlanması, afet lojistiği ile yeterli donanımda çalışan kapasitesinin artırılması ve deprem sonrası sürecin afet yönetim döngüsüyle bütüncül olarak ele alınması gerektiği değerlendirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Deprem, Afet Yönetim Döngüsü, Depreme Müdahale, Deprem Sonrası İyileştirme.

A LITERATURE REVIEW ON EVALUATING THE POST-EARTHQUAKE PROCESS IN TURKEY

ABSTRACT

Earthquakes are disasters that cause significant impacts by devastating the social, economic, and physical structures of the communities in the countries where they occur. This study aims to evaluate response and recovery processes in the post-earthquake phase of the disaster management cycle using the Turkish example. In this context, a literature review was conducted using Turkish and English keywords in PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar, and TR Dizin/ULAKBIM databases; studies related to the processes in the disaster management cycle following an earthquake were examined. In this context, findings in the literature regarding post-earthquake response and recovery processes in Turkey during earthquakes have been evaluated. The literature review reveals that rapid and effective post-earthquake response can be achieved through coordinated management of search and rescue operations and disaster logistics. In Turkey, it is observed that the response process is coordinated by AFAD and managed from a single center, involving various institutions and organizations. Additionally, it has been stated in the literature that the recovery process is a long-term process that aims not only to restore physical conditions but also to rehabilitate the community socially, psychologically, and economically. As a result, it has been evaluated that in order for post-earthquake response and recovery processes to be conducted effectively and sustainably, the institutional structure must be strengthened; proper communication between institutions must be ensured and coordinated work plans must be developed; the capacity of adequately equipped human resources in disaster logistics must be increased; and the post-earthquake process must be addressed holistically within the framework of the disaster management cycle.

Keywords: Earthquake, Disaster Management Cycle, Earthquake Response, Post-Earthquake Recovery.

1.GİRİŞ

Türkiye bulunduğu coğrafya nedeniyle birçok bölgesinde, deprem ve benzeri doğal afetleri barındırır (Kalkan vd., 2020). Deprem, yerkabuğundaki kırılmalar sebebiyle birdenbire ortaya çıkan ve titreşimlerin dalgalar şeklinde yayılarak geçtikleri yerleri sarsma olayı olarak tanımlanır (İşçi, 2008). Türkiye, aktif bir deprem kuşağı olan (Yıldırım, 2024) ‘Alp-Himalaya orojenik sistemi’ üzerinde bulunur (Göver, 2023). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (2026) verileri incelendiğinde; 1995-2025 yılları arasında Türkiye’de $M_w \geq 4.0$ büyüklüğünde toplam 3847 adet deprem meydana gelmiştir ve bu depremlerin 10’u $M_w \geq 6.5$

büyükluğündedir. Afet raporları ile ölüm istatistiklerine göre son 20 yılda Türkiye’ deprem kaynaklı can kaybının on binler düzeyinde olduğu aynı zamanda bu ölümlerin çoğunun 1999 ve 2023 yıllarında yaşandığı tespit edilmiştir (AFAD, 2023; TÜİK, 2024).

Depremlerin önlenemeyen ve sonucunda can ve mal kayıplarına yol açan bir afet olduğu ele alındığında ortaya çıkabilecek zararın azaltılabilmesi için afetler ve afet yönetimi döngüsü ilişkisi doğru kurulmalıdır (Turna ve Yavuzçehre, 2024). Afet yönetimi konusunda Türkiye bugünkü uluslararası afet yönetimi döngüsünü kullanmakta ve görev alacak mekânsal aşamaları sırasıyla; afet öncesi dönemde; risk ve zarar azaltma, hazırlık, afet esnasında; acil durum müdahalesi, afet sonrası dönemde ise müdahale, iyileştirme ve yeniden yapılanmadır. (Kahraman vd., 2021). Müdahale, iyileştirme ve yeniden yapılanma safhası; arama kurtarma faaliyetleri yürütülerek insanların hayatlarının kurtarıldığı, acil durum müdahale planının devreye girdiği, çeşitli yardımların yapıldığı çok kapsamlı bir süreci barındırır (Aydiner, 2014).

Depremden sonraki hayati öneme sahip olan ilk 72 saat arama kurtarma ve ilk yardım müdahalesi, acil ihtiyaçların karşılanabilmesi, iletişim ağının sağlanması, koordinasyon merkezi oluşturulması, hasar tespit çalışmaları ve toplum güvenliğinin sağlanması süreçlerini içerir ve bu faaliyetlerin önem sırasıyla doğru şekilde yapılması gereklidir (Yurtlu vd., 2024). İyileştirme süreci kısa ve uzun vadeli olarak ikiye ayrılır ve uzun vadeli iyileştirme ele alındığında temel yenileme faaliyetlerinden afetzedelerin yaşam standartlarının normal seviyesine gelene kadarki geniş süreci kapsar (Aydiner, 2014). Bu çalışmada, afet yönetimi döngüsü kapsamında Türkiye’de deprem sonrası süreci müdahale ve iyileştirme aşamaları açısından değerlendirmek amaçlanmıştır.

2.AFET YÖNETİM DÖNGÜSÜ

Geçmişten günümüze afetlerin geride bıraktığı yıkımı önlemek amacıyla birçok afet yönetimi döngüsü/modeli geliştirilmiştir (Turna ve Yavuzçehre, 2024). Afet yönetimi konusundaki temel model uluslararası literatürde ve uygulamada geçerli olan afet yönetim döngüsüdür ve bu döngünün safhalarını risklerin azaltılması, hazırlık, müdahale ve iyileştirme oluşturur (Altıntaş, 2025). Turna ve Yavuzçehre’ ye (2024) göre Afet yönetim döngüsü iki ana evreden oluşur; birincisi afet öncesindeki çalışmaları kapsayan ve kendi içinde hazırlık, zarar azaltma ve önleme sürecini barındıran risk yönetimi, ikincisi ise afet anı ve sonrasını kapsayan, kendi içinde müdahale, iyileştirme ve yeniden inşa sürecini barındıran kriz yönetimidir.

Risk yönetimi, ülke, coğrafi bölge, kent kapsamında ve yerel kapsamda risk çeşitleri ve düzeylerinin tespiti, azaltma çalışmaları ile o alandaki planlamalar olarak tanımlanır (Işık vd., 20212). Afet yönetimi döngüsü kapsamında risk yönetimi ise, afet türünün belirlenmesi,

etkilerinin önceden tahmin edilmesi, azaltılması ve erken uyarı sürecidir (Karaman, 2017). Risk yönetiminin en sağlıklı yolu olan riski en aza indirmek afetleri daha kolay yönetmeyi sağlar ayrıca risk yönetiminde risklerin belirlenmesi, azaltılması, krize müdahale gibi unsurlar oldukça önem arz eder (Dölek,2021). Kriz yönetimi, kriz anı ve kriz devam edip bitene kadarki geçen süreçte uygulanan ve amacı durumu normale çevirmek olan yönetim çeşididir (Tapan, 2022). Kriz yönetiminde, beklenmeyen ve ani ortaya çıkan olayları yönetmek ve olumsuz etkilerini tersine çevirebilmek için stratejik planlamaya ihtiyaç duyulmakta ve önemli olan en kötü senaryoya göre hazırlık planlarının belirlenmesidir (Ata, 2023). Afet yönetimi döngüsü içinde kriz yönetimi aşaması, afet sonrasında canlıları ve maddi yapıları korumak amacıyla tahliye ve arama kurtarma stratejisi gerçekleşmesi gerektiğini, afetten zarar gören canlı ve maddi yapıları normale çevirmek için yeniden iyileştirme ve yapı inşası sürecine girilmesi gerektiğini ifade etmektedir (Kahraman vd., 2021). Depremlerin yıkıcı etkilerinden en az zararla kurtulabilmek, normal hayat seyrine hızlı ve etkin şekilde döndürebilmek ve tüm bunların sonucunda sürdürülebilir kalkınma sağlayabilmek için afet yönetim döngüsünün aşamalarını titizlikle uygulamak gerekir (Akgül, 2023).

3.DEPREM SONRASI MÜDAHALE AŞAMASI

Müdahale aşaması afet yönetimi döngüsünün afet sonrası ilk aşaması olup canlı yaşamı açısından en kritik ve hızlı hareket edilmesi gereken aşamasıdır (Alkın, 2021). Afet gerçekleştikten sonra müdahale aşamasına geçilir ancak bu aşamada etki ve ihtiyaç analizi yapıldıktan sonra müdahale yapılır (Kozyel ve Köymen, 2025). Büyük bir deprem sonrası asıl müdahale sorumluluğunda olan devlet; kurumları, kuruluş ve personelleri ile müdahaleyi gerçekleştirir (Türk, 2023). Deprem esnasında, arama-kurtarma ekipleri, itfaiyeler, sağlık hizmetleri ve yardım kuruluşları hızlı ve etkin müdahale yaparak enkaz altındaki canlıları kurtarıp afetzedelere tıbbi yardım ve temel ihtiyaçları konusunda acil müdahalede bulunurlar (Duruel, 2023). Afet sonrası müdahale aşamasında yetkililerden ilk etapta depreme maruz kalanları kurtararak sağlık hizmetleri vermeleri, oluşabilecek yeni depremlerden insanların canlarını ve mallarını korumalarını, sonraki etapta ise depremi yaşamış olanların hayati ihtiyaçlarını en kısa sürede karşılamaları beklenmektedir (Ağır, 2024). Afetlerde başarılı bir müdahale için ulusal ve uluslararası müdahale ekiplerinin birlikte koordinasyonu oldukça önemli olup deprem sonrası müdahale aşamasının en temel sorunu koordinasyonsuzluktur (Genç, 2008). Doğan ve Bayram' a (2025) göre depreme müdahale sırasında yetersiz ekipman, eğitimsiz ve bilinçsiz insanların müdahale etmek istemesi, yetersiz iletişim ve elektrik alt yapısı olmaması yaşanan diğer sorunlardandır.

4. DEPREM SONRASI İYİLEŞTİRME AŞAMASI

Afet yönetim döngüsünün bir parçası olan iyileştirme aşaması, müdahale sürecinin bitmesi ile başlayıp ve tamamlanması yıllarca devam eden bir süreçtir (Çoban, 2019). Depremden sonra bu süreç depreme maruz kalan insanların temel ihtiyaçlarını geçici çözümlerle karşılamakla başlayıp kalıcı konutların yapılmasından, afetzedelerin tüm yaşamsal faaliyetlerini normale döndürülmesine kadarki süreci kapsar (Ceylan vd., 2023). Bu sürecin uzunluğu afetin büyüklüğüne göre değişmektedir (Karadağ, 2023). İyileştirme, afetin yaşandığı yerlerde temel insani ihtiyaçları karşılama, iletişim, ulaşım, geçici barınma alanları, eğitim, ekonomi, elektrik ve su gibi alt yapı hizmetlerini onarma, insanların sosyal yaşam aktivitelerini sağlama konularında çalışmaların yapıldığı aşamadır (Karçin, 2024). Bu aşama da yapılan tüm çalışmaların temel amacı normale dönüşü hızlandırmakla birlikte yerel ekonomik canlılığı yeniden kazandırmak, alt yapıyı güçlendirmek, sanayi ve ticareti desteklemek, sosyal ve psikolojik destek sağlayarak toplumu daha dirençli hale getirmektir (Özel, 2015). Bu hedef sayesinde iyileştirmeni kısa ve uzun vadede gerçekleştiği somutlaşmaktadır (Alkın, 2021). İyileştirme aşamasında çeşitli sorunlar yaşanmaktadır bunlar; barınma sorunu (Giyik, 2024), beslenme yetersizliği, olumsuz hava koşulları, toplu yaşam sebebiyle bulaşıcı hastalıklar başta olmak üzere fiziki ve ruhsal tüm hastalıklar, güvenlik ve asayiş sorunu, alt yapı yetersizliği, yeniden inşa sürecinde mühendislik alanında yaşanan sorunlardır (Yılmaz, 2012; Basnyat, 2015).

5. TÜRKİYE ÖRNEĞİNDE DEĞERLENDİRME

Türkiye’de afet yönetimini 1999 Marmara Depremi ile yeniden sorgulamaya başlamış bu süreçte yeni yasal düzenlemeler yaparak çok sayıda kanun, yönetmelik, kararname, tebliğ ve genelgeler yayınlamış; günümüzde ise afet yönetimi hususunda uluslararası afet yönetim döngüsü ile paralel ilerlemektedir (Kahraman vd., 2021). Afet öncesi ve sonrasında yaşanan süreçler düzenlenerek 2009 yılında “Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı” (AFAD) kurulmuştur (Altıntaş, 2025).

Türkiye, tarihi boyunca yaşadığı afetlerden edindiği tecrübeler ve 2011 Van Depremi sonrası çalışmaları ile birlikte, afetlere karşı etkin müdahaleyi gerçekleştirebilmek için 2014’de “Türkiye Afet Müdahale Planı” (TAMP)’ı geliştirmiştir (Küçüktığı, 2025). TAMP’nın amacı; Türkiye’de meydana gelebilecek her tür ile büyüklükteki afetlerde müdahale çalışmalarını, görev alacak grupları ve diğer birimlerin görev ve sorumluluklarını tanımlamak, afet öncesi, afet anı ve sonrasındaki müdahale planlamasının ana prensiplerini belirlemek bu sayede de afetlerdeki operasyon risklerini minimuma indirmek olmuştur (TAMP, 2022). AFAD tarafından yayınlanan diğer bir plan olan Ulusal Deprem Stratejisi ve Eylem Planı (UDSEP-

2023) deprem öncesinde korunma, depremin olumsuz etkilerini minimize etmek, deprem sonrasında gerçekleşecek faaliyetleri planlamak ve deprem sonrası yapılacak araştırmaların politikalarını ve önceliklerini belirlemek amaçlanmıştır (AFAD, 2026). Depremin etki alanının genişlemesi müdahale girişimlerini çeşitli sebeplerle zorlaştırabilir (Yıldırım, 2023). TAMP’da görev alacak gruplar ve sorumlulukları belirlidir fakat özellikle il düzeyini aşan büyüklükteki depremlerde bölgedeki görevliler de depremden etkilenebilir, genel müdahale planı o ilin coğrafi demografik yapısına uymayabilir, beklenilenin aksine yerel kaynaklar yeterli olmayabilir ya da görevli kurum ve kişiler kendine yüklenen sorumluluğu yerine getiremeyebilir (Yavuz, 2020). 10 tane ilin etkilendiği 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinde depremin şiddeti, gerçekleştiği mevsim, gerçekleşme saati ve süresi, ardışık olmaları felaketin boyutunu oldukça arttırmış bu da mevzuatta eksiklikler olmasa da sahada müdahale açısından aksaklıklara yol açmıştır (Şipal, 2023).

Türkiye, afet sonrası yaşamın normal akışına dönmesinin ardından yapısal, sosyal ve ekonomik iyileştirmenin en kısa sürede ve minimum kaynak kullanımıyla gerçekleşmesi için Türkiye Afet Sonrası İyileştirme Planı (TASİP) ile süreci etkili şekilde yürütmektedir (AFAD, 2025). TASİP, afet sonrası iyileştirme çalışmalarının planlı, sistemli ve hızlı şekilde gerçekleştirilmesi, kurumlar arasındaki koordinasyonun sağlanması, işlerin önem sırasına göre listeleterek kaynakların etkin kullanılması, iyileştirme çalışmalarının etkin biçimde takip edilmesi ve değerlendirilmesi, tüm süreçte rapor tutularak gelecek afetlerde afet yönetimine ışık tutarak, iyileştirme faaliyetlerinin güçlendirilmesini amaçlamaktadır (Yıldırım ve Saygın, 2024). Deprem sonrası iyileştirme çalışmaları kısa vadede geçici barınma alanlarının kurulması, ana hizmetlerin yeniden işlenmesi, sağlık ve psikososyal ihtiyaçların giderilmesi; uzun vadede ise kalıcı konutların yapılması, yeterli alt yapının kurulması, ekonominin kalkındırılması, çevresel zararın giderilmesi gibi adımları kapsar (Ünür, 2021). Daha iyi yeniden inşa ilkesiyle yapılan tüm çalışmalar eski düzeni geri getirmekten çok yeni, daha dayanıklı, sürdürülebilir ve ilerde ortaya çıkabilecek afete karşı hazırlıklı bir toplumu hedefler (İrdem ve Mert, 2023). Türkiye’de afet yönetimi döngüsünün bütün süreçlerini elektronik sistemde kaydedilip takibinin yapılması, yöneticilerin afet süreci boyunca doğru verileri en hızlı şekilde elde etmek için AFAD’ın TAMP’a göre hazırlayıp geliştirdiği Afet Yönetim ve Karar Destek Sistemi (AYDES) programını kullanır (AFAD, 2018).

6.YÖNTEM

Bu çalışma Türkiye’de deprem sonrası süreci ve bu süreçteki müdahale ve iyileştirme aşamalarını afet döngüsü çerçevesinde değerlendirmek amacıyla yürütülmüş derleme türünde bir çalışmadır. Çalışma kapsamında herhangi bir deneysel uygulama, saha araştırması ya da

gözlemsel veri toplama süreci yürütülmemiş; mevcut bilimsel literatür ve ulusal/uluslararası kılavuzlar üzerinden ikincil veriler değerlendirilmiştir. Literatür taraması sırasında öncelikle afet yönetimi alanında yaygın kullanılan ‘PubMed’, ‘Scopus’, ‘Web of Science’ ‘Google scholar’ ve ulusal düzeyde ‘TR dizin’ ve ‘YÖKTEZ’ veri tabanlarından yararlanılmıştır. Tarama sürecinde ‘disaster management cyle’, ‘phases of disaster managament’, ‘rocovery phase disaster managament’, ‘disaster governance,’ ‘afet yönetim döngüsü’, ‘afetlerde müdahale aşaması’ ve ‘afetlerde iyileştirme aşaması’ gibi İngilizce ve Türkçe anahtar kelimeler tek tek ve birbiriyle kombinasyonlar halinde kullanılmıştır. Çalışmaya afet yönetimi döngüsü ile doğrudan ilişkili olan erişilebilir tam metne sahip hakemli dergilerde yayınlanmış makaleler resmi kurum ve meslek örgütleri tarafından yayımlanan kılavuzlar ile AFAD’ın ilgili mevzuat yönerge ve rehber dokümanları dâhil edilmiştir. Literatür seçimi yapılırken özellikle Türkiye’de afet yönetimi döngüsünde müdahale ve iyileştirme aşamaları geliştirilmesi geçerlilik ve güvenilirlik çalışmaları bu aşamaların deprem sonrası sürece etkisi gibi temalara odaklanan çalışmalar tercih edilmiştir. Sadece deprem harici diğer afetleri ele alan ya da deprem öncesi süreci ele alan deprem sonrası süreçten kopuk metinler ile konu dışı olduğu düşünülen yayınlar kapsam dışı bırakılmıştır.

Afet yönetimi döngüsü aşamaları ele alınarak risk yönetimi ve kriz yönetimi süreçleri açıklanmıştır. Deprem sonrası süreci kapsayan afet yönetimi döngüsünde kriz yönetiminin aşamaları olan müdahale ve iyileştirme süreçleri incelenmiştir. Elde edilen bilgiler doğrultusunda ‘*Afet Yönetimi Döngüsü Çerçevesinde Türkiye’de Deprem Sonrası Süreç*’ başlığı altında Türkiye’de deprem sonrasındaki müdahale ve iyileştirme süreçleri ele alınarak mevcut planların güçlü ve geliştirilmesi gereken yönleri literatür temelli bir bakışla tartışılmıştır.

7.BULGULAR

Türkiye’de afet yönetim döngüsünün diğer aşamalarında olduğu gibi deprem sonrası süreçte de müdahale ve iyileştirme aşamalarının koordinesi ve yönetiminden AFAD sorumludur (Kocalar, 2026). Yapılan literatür taramasında AFAD’ın geçmişten günümüze deprem sonrası müdahale ile uzun ve kısa vadede iyileştirme aşamaları için planlar geliştirdiği, yaşanan her felaket sonrası eksikleri göz önünde bulundurarak yeniden planlamalar yaptığı görülmüştür (Aydiner, 2014). Yapılan araştırmalara göre 6 Şubat Depremleri sonrasında çıkarılan AFAD 2024 - 2028 Strateji Planı bunların sonucudur (AFAD, 2024).

7.1.Deprem Sonrası Müdahale Sürecine İlişkin Bulgular

Deprem sonrası müdahale aşamasına literatürde afet yönetim döngüsünün en kritik ve önemli aşamalarından birisi olduğu vurgulanmıştır. Müdahale aşaması arama kurtarma faaliyetlerinin

yapıldığı, yaralıların tedavilerinin yapıldığı ve afetzedelerin beslenme, barınma, giyinme ısınma, güvenlik gibi temel ihtiyaçlarının en kısa sürede karşılandığı süreçleri kapsar (Ergünay ve Özmen, 2013). Depremden sonraki temel ihtiyaçların karşılandığı ve hayatta kalma şansın yüksek olduğu ilk 72 saatte, etkili çalışmaların ve doğru koordinasyonun sağlanması müdahale aşamasının başarısını getirir (Yıldırım, 2025).

Çeşitli çalışmalara bakıldığında afet sonrası müdahale aşamasında kurumlar arası iletişim, doğru bilgi akışı ve lojistik yönetimi gibi konuların oldukça önemli bir yeri vardır (Karahisar, 2016; Koruklu ve Özay, 2021). Literatür taramasına göre müdahale sürecinde arama kurtarma faaliyetlerinin hızlı ve etkin organize edilerek bölgeye zamanında ulaştırılmaları hayati önem taşımaktadır. Türkiye’ de yaşanan büyük depremler incelendiğinde zamanla müdahale konusundaki deneyimlerin arttığı ve iyileştirmeler yapıldığı görülmektedir. Özellikle 1999 Marmara Depremi sonrası afet yönetim sistemindeki değişiklikler ile müdahale kapasitesi artırılmıştır (Yazıcıoğlu ve Aktel, 2024). Yakın geçmişte yaşanan 6 Şubat Depremlerinde ise depremin büyüklüğü sebebiyle müdahale süreci uzun ve karmaşık olmuş bu da afet yönetim sisteminin farklı açılardan yeniden gözden geçirilip değerlendirilmesine katkı sağlamıştır (Yılmaz ve Gülüm, 2024). Yine 6 Şubat depremlerinde müdahalenin büyüklüğü sebebiyle ülkenin kapasitesine ilave uluslararası yardım ile müdahale edilmesine rağmen bazı bölgelere depremlerin ilk günlerinde ulaşım sıkıntısı çekilmiş ve arama-kurtarma çalışmalarına geç kalınmış, acil yardım malzemeleri vaktinde temin edilememiş bu da TAMP’ da olan eksikliği göstermiştir (Yıldırım ve Saygın, 2024).

7.2. Deprem Sonrası İyileştirme Sürecine İlişkin Bulgular

Afet yönetim döngüsünün diğer bir önemli aşaması olan iyileştirme aşaması, afet sonrası toplumun her açıdan yeniden toparlanması kapsayan uzun bir süreç olarak tanımlanmıştır (Çoban, 2019). Literatürde iyileştirmenin sadece fiziksel iyileşme değil, beraberinde toplumsal yaşantının normale hatta daha iyiye dönmesine yarayacak sosyal ve ekonomik iyileştirmeleri de içinde barındırdığı görülmektedir (Ünür, 2021; İrdem ve Mert, 2023). İyileştirme sürecinde geçici barınma alanlarının sağlanması, kalıcı konutların inşası ve altyapının yeniden onarımı temel faaliyetler arasındadır (Karçin, 2024). Özellikle büyük ölçekli depremler sonrasında kalıcı konutların inşası, alt yapının onarımı, ekonomik faaliyetlerin yeniden canlanması uzun bir süreci kapsamaktadır (Karadağ, 2023; Görgülü ve Türel, 2024). Türkiye örneğinde, büyük ölçekli depremler sonrası geçici barınma alanlarının oluşturulması ve kalıcı konut inşası iyileştirme aşamasının önemli bileşenleri arasında yer almaktadır. Özellikle 1999 Marmara ve 6 Şubat Kahramanmaraş depremlerinden elde edilen tecrübelerden, deprem sonrası iyileştirme politikalarının geliştirilmesinde etkili olduğu ifade

edilmiştir (Çoban, 2019; Tapan, 2023). AFAD 2024-2028 Strateji Planı'na göre; 6 Şubat depremleri sonrası iyileştirme uygulamalarında koordinasyon yetkisinin yetersizliği, geçici barınma alanları ve altyapı sorunları, bölgedeki lojistik depolarının hasarı sebepli sorunlarının yaşandığı, yeterli sayıda bilgili ve tecrübeli personelin olmaması gibi olumsuzluklar tespit edilmiş ve bu doğrultuda yeniden planlanmıştır (AFAD, 2024).

8.TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışmada afet yönetim döngüsü perspektifinde, deprem sonrası müdahale ve iyileştirme süreçleri literatür çerçevesinde değerlendirilmiştir. Çalışmada ortaya konulan bulgular doğrultusunda deprem sonrası müdahale sürecinde hızlı ve etkili koordinasyon büyük öneme sahiptir (Erkal ve Değerliyurt, 2009; Şahin ve Üçgül, 2019; Parlak, 2023). Literatürde deprem sonrası ilk saatlerde hayatta kalma şansı yüksek olduğu için arama kurtarma çalışmalarının da önemli unsurlar arasında olduğu vurgulanmıştır (Şahin, 2024). Çalışmanın bulgularından yola çıkarak büyük şiddetli depremler sonucu Türkiye'de müdahale süreciyle ilgili olumsuzluklar tespit edilerek planların revize edildiği görülmüştür (Yazıcıoğlu ve Aktel, 2024; Yılmaz ve Gülüm, 2024). Elde edilen bulgulardan deprem sonrasını iyileştirme sürecinin, yalnız fiziksel bir süreç değil aynı zamanda sosyal, psikolojik, ekonomik iyileştirmeyi de kapsayan uzun bir süreç olduğu görülmüştür (Doker ve Yiğit, 2023; Özudoğru, 2023). Literatür taraması sonucu iyileşme süreci afet yönetim döngüsünün en karışık ve uzun olan aşamalarından birisidir. Türkiye'de yaşanan büyük ölçekli depremler incelendiğinde geçici ve kalıcı konut inşası ve alt yapı çalışmalarının tamamı, iyileştirme sürecinde büyük önem taşıdığı görülmektedir (Karçin, 2024). 1999 Marmara ve 6 Şubat Kahramanmaraş Depremleri sonrasında ortaya çıkan büyük hasarlar iyileştirme sürecinin uzun vadeli planlama yapılması gereken bir süreç olduğunu ortaya çıkartmıştır (Çoban, 2019; AFAD, 2024).

Çalışmanın genelinde Türkiye' de deprem sonrası müdahale ve iyileştirme süreçlerinin etkinliğinin kurumsal kapasitenin yeterliliği ve koordinasyonun iyi sağlanması ile gerçekleştiği görülmüştür. Yapılan literatür taraması sonucunda kurumlar arası iletişimin artırılması, lojistik yönetimin iyileştirilmesi ve afet sürecindeki rol sahibi kurum ve kuruluşların doğru yönlendirilmesi gerektiği ifade edilmektedir. Sonuç olarak bu çalışma kapsamında elde edilen bulgular, afet yönetim döngüsünün aşamalarının daha bütüncül, etkin ve sürdürülebilir bir şekilde planlanması gerektiğini ortaya koymaktadır.

KAYNAKÇA

- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD). (2018). Afet yönetimi ve karar destek sistemi (AYDES). Erişim Tarihi:23.02.2026. T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı - Afet Yönetim ve Karar Destek Sistemi Projesi (AYDES)
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD). (2023). *6 Şubat 2023 Kahramanmaraş merkezli depremler: Basın açıklaması*. Erişim Tarihi:23.02.2026. <https://www.afad.gov.tr/kahramanmarasta-meydana-gelen-depremler-hk-36>
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD). (2024). *AFAD 2024–2028 stratejik planı*. Erişim Tarihi:23.02.2026. https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/e_Kutuphane/Planlar/AFAD-2024_2028-Stratejik-Plani_Kasim2024.pdf
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD). (2025). *Türkiye afet sonrası iyileştirme planı (TASİP)*. Erişim Tarihi:23.02.2026. https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/e_Kutuphane/Planlar/TASIP/23052025-TASIP.pdf
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı . (2026). Deprem Kataloğu. Erişim Tarihi:23.02.2026. <https://deprem.afad.gov.tr/event-catalog>
- AFAD (2026). Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü. Erişim Tarihi: 03.03.2026 <https://www.afad.gov.tr/aciklamali-afet-yonetimi-terimleri-sozlugu>
- Ağır, Ö. (2024). 1939 Büyük Erzincan depreminde devletin afete müdahalesi ve eleştiriler. Akademik Yaklaşımlar Dergisi, 15(1) -Deprem Özel Sayısı-, 48-74. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/3587992>
- Akgül, F. (2023). Bütünleşik afet yönetimi kapsamında afet lojistiğinin sürdürülebilir kalkınmaya etkisi. M. Turan (Ed.), *Sürdürülebilir kalkınma ve afet yönetimi* (ss. 173–185). Gazi Kitabevi.
- Alkın, R. C. (2021). “Afet Yönetiminde Sivil Toplum: İzmir Depremi Sonrası Müdahale ve İyileştirme Aşamaları Üzerine Bir İnceleme”. Karadeniz Araştırmaları. XVIII/70: 313-334. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/2274047>
- Altıntaş, M. (2025). Sosyal Bilimlerde Kuramsal Çerçevesel ve Metodolojik Tartışmalar. Özgür Publications. <https://doi.org/10.58830/ozgur.pub881>
- Ata, N. S. (2023). Kahramanmaraş merkezli 6 Şubat depremlerinin kriz yönetimi bağlamında değerlendirilmesi. *Meric Uluslararası Sosyal ve Stratejik Araştırmalar Dergisi*, 7(Özel Sayı), 59-77. <https://doi.org/10.54707/meric.1327520>
- Aydiner, T. (2014). *Doğal afet yönetişimi: Türkiye’de doğal afet yönetimi uygulamalarının tarihsel bağlamda değerlendirilmesi* (Yüksek lisans tezi). Pamukkale Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü. Erişim Tarihi: 03.03.2026. <https://www.ceeol.com/search/chapter-detail?id=1172133>
- Basnyat, B., Tabin, C., Nutt, C., (2015). Deprem sonrası Nepal: İleriye yönelik yol haritası. *The Lancet Global Health*, 3, e731–e732. Erişim Tarihi:15.02.2026. [https://www.thelancet.com/journals/langlo/article/PIIS2214-109X\(15\)00279-X/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/langlo/article/PIIS2214-109X(15)00279-X/fulltext)
- Ceylan, B., Demir, F., Ceyran, A., Kanıbir, N., Sezen, H. C., Gökcan, R., Ördek, A. A., Çılgın, S. B., Çılgın, E. ve Konca, Y. (2023). Afetlerin Toplumsal Boyutu ve Deprem Çıkmazı Üzerine Bir Derleme. *Uluslararası Sosyal Bilimlerde Mükemmellik Arayışı Dergisi (USMAD)*, 3 (1), ss. 20-35 <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/3559094>
- Çoban, H. (2019). Afet sonrası iyileştirme planı hazırlanması. *Dirençlilik Dergisi (Resilience Journal)*, 3(2), 239–246. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/892065>
- Doğan, M. M., ve Bayram, C. S. İlk Müdahale Ekibi Olmak; 2023 Kahramanmaraş Depremi Örneği. *Bingöl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (30), 1-17. <https://dergipark.org.tr/en/pub/busbed/article/1580353>
- Doker, A. C., ve Yiğit, A. G. (2023). Deprem sonrasında sürdürülebilir kalkınma çerçevesinde öneriler. M. Öztürk ve M. Kırca, *Kahramanmaraş merkezli depremler sonrası için akademik öneriler*.195–208. Özgür Yayınları. Erişim Tarihi: 03.03.2026. <https://www.ceeol.com/search/chapter-detail?id=1172137>
- Dölek, İ. (2021). Afetler ve afet yönetimi. *Pegem Akademi*, 3. Erişim Tarihi: 13.03.2026. https://www.researchgate.net/profile/Iskender-Doelek/publication/389847557_Afetler_ve_Afet_Yonetimi/links/67d41bab478c5a3feda15b37/Afetler-ve-Afet-Yoenetimi.pdf

- Duruel, M. (2023). Sivil toplum kuruluşlarının afet yönetimindeki rolü: 6 Şubat depremi Hatay örneği. *Uluslararası Politik Araştırmalar Dergisi*, 9(2), 1–17. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/icps/article/1332511>
- Ergünay, O., ve Özmen, B. (2013). Afet yönetimi açısından Van depreminden elde edilen dersler. 2. *Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Hatay, Türkiye. <https://tdmd.org.tr/pdf/TDMSK014.pdf>
- Erkal, T., ve Değerliyurt, M. (2009). Türkiye’de afet yönetimi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 14(22), 147-164. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/26918>
- Giyik, C. (2024). 6 Şubat 2023 depremi sonrası geçici barınma uygulamaları: Gaziantep Nurdağı örneği. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 10(1), 113–124. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/3393633>
- Görgülü, B., ve Türel, A. (2024). Deprem sonrası yeniden yapılanma sürecinde Türkiye’deki yasal düzenlemeler ve uygulama olanakları: 30.10.2020 İzmir depremi örneği. *İdealkent: Kent Araştırmaları Dergisi*, 16(46), 2124–2158. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/3983616>
- Göver, İ. H. (2023). Türkiye’nin Deprem Gerçeğine Sosyolojik Bir Bakış. Erişim Tarihi: 16.03.2026. https://www.researchgate.net/profile/Ibrahim-Hakan-Goever/publication/373197040_TURKIYE'NIN_DEPREM_GERCEGINE_SOSYOLOJIK_BIR_BAKIS/links/64df8b05177c590413031aa3/TUeRKIYENIN-DEPREM-GERCEGINE-SOSYOLOJIK-BIR-BAKIS.pdf
- İrdem, İ., ve Mert, E. (2023). Deprem, dirençli kent ve acil afet yönetimi: Türkiye örneği. *Kamu Yönetimi ve Politikaları Dergisi*, 4(2), 241–276. <https://dergipark.org.tr/tr/pub/kaypod/article/1319821>
- İşçi, C. (2008). Deprem Nedir Ve Nasıl Korunuruz. *Yaşar Üniversitesi E-Dergisi*, 3(9), 959. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/179169>
- Kahraman, S., Polat, E., ve Korkmazyürek, B. (2021). Afet yönetim döngüsündeki ana terimler. *Avrasya Terim Dergisi*, 9(3), 7-14. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1847608>
- Karaman, Z. T. (2017). Afet yönetimine giriş ve Türkiye’de örgütlenme. *Bütünleşik Afet Yönetimi (Ed. Zerrin Toprak Karaman, Asuman Altay), Birleşik Matbaacılık, İzmir*, 1-39. Erişim Tarihi: 16.03.2026. https://www.researchgate.net/profile/Soner-Esmer/publication/312172946_Afet_Lojistigi/links/5874946d08aebf17d3b22d23/Afet-Lojistigi.pdf#page=8
- Kalkan, M., Kaçar, A. D., & Alptekin, O. (2020). Ülkelerin Deprem Sonrası Yeniden Yapılaşma Süreçlerinin Karşılaştırılması: Çin, Şili ve Türkiye Örnekleri: Deprem Sonrası Yeniden Yapılaşma Stratejileri. *Tasarım+ Kuram*, 16(31), 152-169. Erişim Tarihi: 16.03.2026. <https://tasarimkuram.com/index.php/dtj/article/view/261/247>
- Karadağ, M. (2023). Okul Yönetiminin Afet (Deprem) Sonrası İyileştirme Faaliyetlerindeki Rolü. *Eğitim Bilimleri Alanında Uluslararası Araştırmalar XVII*, 119.
- Karahisar, T. (2016). Olası bir depremde koordinasyonun sağlanması ve sosyal medyanın rolü. *Beykoz Akademi Dergisi*, 4(2), 43–64. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/948334>
- Karçin, M. Ş. (2024). Türkiye’nin afet yönetiminde UMKE’nin rolü. *Bitlis Eren Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2(2), 73-94. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/4030591>
- Kocalar, A. C. (2026). Kriz yönetiminden önce risk yönetiminin önemi. Ö. Demirbilek (Ed.), *Kahramanmaraş merkezli depremler sonrası için akademik öneriler içinde*. Erişim Tarihi: 03.03.2026. <https://www.ceeol.com/search/chapter-detail?id=1172133>
- Koruklu, M. S., ve Özay, M. E. (2021). Bir alışveriş merkezinin deprem sonrası müdahale aşamasının fonksiyonel rezonans analiz metodu ile analizi. *International Journal of Pure and Applied Sciences*, 7(1), 63-77. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1636693>
- Kozyel, M., ve Köymen, İ., (2025). 6 Şubat 2023 Depreminde Hatay İline Müdahale Eden İtfaiye Personelinin Karşılaştığı Zorluklar Üzerine Nitel Bir İnceleme. *Afet ve Risk Dergisi*, 8(1), 340-355. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/4114695>
- Küçüktüğü, A. T. (2025). *Türkiye’de afet politikalarının gelişimi ve afet yönetişimi: Vatandaş algısı* (Doktora tezi). Necmettin Erbakan Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü.

- Işık, Ö., Aydınlioğlu, H. M., Koç, S., Gündoğdu, O., Korkmaz, G., ve Ay, A. (2012). Afet yönetimi ve afet odaklı sağlık hizmetleri. *Okmeydanı Tıp Dergisi*, 28(2), 82-123. Erişim Tarihi: 16.03.2026. <https://pdf.journalagent.com/eamr/pdfs/OTD-97268-REVIEW-ISIK.pdf>
- Özudoğru, B. A. (2023). 2023 Yılında Gerçekleşen Kahramanmaraş Merkezli Deprem Etkileri Ve Politika Önerileri. Erişim Tarihi: 16.03.2026. <https://aydinburcu.com/wp-content/uploads/2023/04/2023-YILINDA-GERCEKLESEN-KAHRAMANMARAS-MERKEZLI-DEPREMININ-ETKILERI-VE-POLITIKA-ONERILERI-v2.pdf>
- Özel, M. (2015). Afet Yönetiminin İyileştirme Aşaması Ve 2011 Van Depremi Sonrası “Konteyner Kent” Uygulaması.
- Parlak, B. (2023). Bütünleşik afet yönetişimi: Hibrid model önerisi. *TESAM Strateji Dergisi*, 3, 21-24. <https://tesam.org.tr/wp-content/uploads/2023/03/Bekir-Parlak.pdf>
- Şahin, M. (2024). Afetlerde krize müdahale: Kahramanmaraş Depremi’nde Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığının çalışmaları. *Sosyal Sağlık Dergisi*, 4(2), 17-50. <https://dergipark.org.tr/en/pub/sosyalsaglik/article/1474413>
- Şahin, Ş., ve Üçgöl, İ. (2019). Türkiye’de afet yönetimi ve iş sağlığı güvenliği. *Afet ve Risk Dergisi*, 2(1), 43–63. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/700144>
- Şipal, Y. Z. (6). 6 Şubat 2023 Depreminin Afet Yönetim ve Deprem Lojistiği Açısından Değerlendirilmesi. *İzmir Katip Çelebi Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi Dergisi*, 8(2), 821-825. https://dergipark.org.tr/en/pub/ikcusbfd/article/1267773?issue_id=78150
- TAMP.(2022). Türkiye Afet Müdahale Planı. Erişim Tarihi: 03.03.2026. <https://www.afad.gov.tr/turkiye-afet-mudahale-planı>
- Tapan, B. (2022). Afetlerde risk ve kriz yönetimi yaklaşımı. *Türkiye Klinikleri Public Health-Special Topic*, 8(2), 1-4. [halksagligiozel8-2-1.pdf](https://dergipark.org.tr/en/pub/halksagligiozel8-2-1.pdf)
- Tapan, M. G. (2023). Kahramanmaraş depremleri sonrası afet yönetiminde sosyal hizmet uygulamaları. *Yedi Aralık Sosyal Araştırmalar Dergisi*, 2(1), 18–30. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/3042101>
- Turna, B., ve Yavuzçehre, P. S. (2024). Afet Yönetim Döngüsü Çerçevesinde Kamusal Alanların Önemi: 6 Şubat Kahramanmaraş Depremi Deneyimi. *Pamukkale Üniversitesi İşletme Araştırmaları Dergisi*, 11(1), 1-25. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/3521823>
- Türk, E. M. (2023). 6 Şubat 2023 Depremlerine Müdahale Mevzuatının Ve Silahlı Kuvvetlerin Müdahalesinin Değerlendirilmesi. *Ankara Barosu Dergisi*, 81(Özel Sayı), 301-323. <https://dergipark.org.tr/en/pub/abd/article/1410364>
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2024). *Ölüm ve Ölüm Nedeni İstatistikleri*, 2023. TÜİK Veri Portalı. Erişim Tarihi: 23.02.2026. <https://veriportali.tuik.gov.tr/tr/press/53709>
- Ünür, E. (2021). Afet yönetiminde toplumsal cinsiyet eşitsizliği: Doğal afetler de cinsiyete dayalı zarar görebilirlik farkı. *İstanbul Aydın Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 13(2), 351–381. Erişim Tarihi: 16.03.2026. https://openurl.ebsco.com/EPDB%3Aagcd%3A6%3A29837478/detailv2?sid=ebsco%3Aplink%3Ascholar&id=ebsco%3Aagcd%3A149661269&cr=c&link_origin=scholar.google.com
- Yavuz, Ö. (2020). *Afet yönetiminde işbirliği ağlarının önemi: Kocaeli örneği* (Doktora tezi). Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü. Erişim Tarihi: 03.03.2026. <https://www.ceeol.com/search/chapter-detail?id=1172133>
- Yazıcıoğlu, M. N., ve Aktel, M. (2024). 1999 Marmara depremi’nin Türk kriz yönetimine etkileri. *Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi*, 15(44), 1476–1492. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/3782483>
- Yıldırım, G., ve Saygın, E. (2024). Türkiye’de afet yönetimi paradigması: AFAD’ın ürettiği politika belgelerinin içerik analizi. *Siyasal Bilgiler Fakültesi Dergisi (İSMUS)*, 9(1), 15–35. <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/3913334>
- Yılmaz, H., ve Gülüm, E. (2024). Afet acil durum yönetimi ve afet müdahale planı çerçevesinde uygulamalar: Pazarcık–Elbistan depremi. *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, 15(1). <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/3630429>
- Yıldırım, M. S. (2024). Türkiye’de deprem riski azaltma eğitiminin okullardaki uygulamalarına yönelik öğretmen görüşleri ve öğretmenlerin afet bilinç düzeylerinin incelenmesi. *Marmara Üniversitesi Atatürk Eğitim Fakültesi Eğitim Bilimleri Dergisi*, 60(60), 1-24. <https://dergipark.org.tr/en/pub/maruaeabd/article/1343118>

- Yıldırım, S. (2023). 6 Şubat Kahramanmaraş Depreminin Psikososyal Etkisi Ve Depremzedelere Yönelik Sürdürülebilir Müdahalenin Önemi Üzerine Bir Gözlem Araştırması. *Anasay*, (24), 133-153. <https://dergipark.org.tr/en/pub/anasay/article/1286368>
- Yıldırım, S. D. (2025). Kadınların depremlerin ilk 72 saatinde hayata tutunma çabası: Kahramanmaraş 2023. *Afet ve Risk Dergisi*, 8(3), 945–965. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/4907985>
- Yurtlu, F. B., Öztürk, B., Güven, E., ve Eren, T. (2024). Afet sonrası ilk 72 saatte yapılacak faaliyetlere ilişkin stratejiler: Türkiye. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 10(2), 504-522. <https://doi.org/10.21324/dacd.1429668>

TÜRKİYE’DE SEL AFETLERİ ÜZERİNE 2000–2025 DÖNEMİNDE YAPILAN AKADEMİK ÇALIŞMALARA YÖNELİK LİTERATÜR İNCELEMESİ

Gülpembe ÇANKAYA

Yüksek Lisans Öğrencisi, Aksaray Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Acil Yardım ve Afet Yönetimi ABD, Aksaray, Türkiye.

ORCID ID: 0009-0000-9806-4261

Şefik ÖZDEMİR

Prof. Dr., Aksaray Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Acil Yardım ve Afet Yönetimi, Aksaray, Türkiye

ORCID ID: 0000-0003-3005-0570

ÖZET

Doğal, insan kaynaklı veya teknolojik olayların oluşturduğu afetler ülkemizde olduğu gibi dünya gündeminde de sıklıkla karşılaştığımız durumlardır. Afetlerin yıkıcı etkileri sebebiyle insanlar ekonomik, sosyal , çevresel birçok kayıp yaşamakta ve yaşamaya devam etmektedir. Bu bağlamda afetler insanlık tarihinde önemli bir sorun olmuştur. Doğal kaynaklı afetler olarak deprem, sel, aşırı sıcaklar, fırtınalar, kasırgalar, orman yangınları ve volkanik patlamalar sayılabilir. Seller ise dünyadaki tüm bu doğal afetlerin yarısından fazlasını oluşturmakta ve can kayıplarında da üst sıralarda yer almaktadır. Ülkemizin farklı coğrafi bölgelerinde meydana gelen ani ve şiddetli yağışlar yüzey akışını arttırarak sel ve taşkın riski oluşturmaktadır. Düzensiz kentleşme ve iklim değişikliği nedeniyle sel afetleri daha sık meydana gelmekte ve yıkıcı etkisi artmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Türkiye’de sel afetleri hakkında yapılmış akademik yayınları sistematik bir şekilde derleyerek mevcut literatürün genel durumunu ortaya koymaktır. Bu kapsamda Web of Science, Scopus, Google Scholar ve TR Dizin/ULAKBİM veri tabanlarında Türkçe ve İngilizce anahtar kelimelerle literatür taraması yapılmış ve sel afeti ile ilgili çalışmalar incelenmiştir. Tarama sürecinde “sel”, “afet yönetimi ve sel” ve “doğal afetler” gibi anahtar kelimeler kullanılmıştır. Elde edilen bulgularla sel afetinin oluşmasında iklim değişikliği, topografya ve meteorolojik koşulların rol oynadığı ayrıca plansız kentleşme ve altyapı yetersizliğinin afetin boyutunu önemli derecede etkilediği görülmüştür. Sel afetinin etkilerinin azaltılması için şehir planlamasının ve erken uyarı sisteminin geliştirilmesinin yanı sıra afet yönetimi planlamalarının ve kurumlar arası koordinasyon da büyük önem taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Sel, Afet yönetimi ve Sel, Doğal Afetler

A LITERATURE REVIEW OF ACADEMIC STUDIES ON FLOOD DISASTERS IN TURKEY DURING THE 2000–2025 PERIOD

ABSTRACT

Disasters caused by natural, human-induced, or technological events are situations we frequently encounter both in our country and on the global agenda. Due to the devastating effects of disasters, people experience and continue to experience numerous economic, social, and environmental losses. In this context, disasters have been a significant problem throughout human history. Natural disasters include earthquakes, floods, extreme heat waves, storms and hurricanes, forest fires, and volcanic eruptions. Floods, on the other hand, constitute more than half of all natural disasters worldwide and rank high in terms of loss of life. Sudden and heavy rainfall occurring in different geographical regions of the our country increases surface runoff, posing a risk of floods and landslides. Due to unplanned urbanization and climate change, flood disasters occur more frequently and their destructive impact is increasing. The aim of this study is to systematically compile academic publications on flood disasters in Turkey and present the general state of the existing literature. In this context, a literature review was conducted using Turkish and English keywords in the Web of Science, Scopus, Google Scholar, and TR Dizin/ULAKBIM databases, and studies related to flood disasters were examined. During the scanning process, keywords such as "flood", "disaster management and floods", and "natural disasters" were used. Based on the findings, it has been observed that climate change, topography, and meteorological conditions play a role in the occurrence of flood disasters, while unplanned urbanization and infrastructure inadequacy significantly affect the magnitude of the disaster. In order to mitigate the effects of flood disasters, the development of urban planning and an early warning system, as well as disaster management plans and inter-agency coordination, are of great importance.

Keywords: Floods, Disaster Management and Floods, Natural Disasters

1.GİRİŞ

“Toplumun tamamını veya belli bir kesimi için fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplar ortaya çıkaran, normal hayatı ve insan faaliyetlerini durduran veya kesintiye uğratan, etkilenen toplumun başa çıkma seviyesinin yeterli olmadığı doğa, teknoloji veya insan kaynaklı olay. Afet olayın kendisi değildir, olayın doğurduğu sonuçtur” (AFAD, 2014). Afetler ani gelişen olaylardır ve jeolojik kökenli ve meteoroloji kökenli olarak iki grupta sınıflandırılır (Tümer, 2024). Hasara sebep olan deprem, heyelan, çığ, kaya düşmesi, volkan patlaması, tayfun, sel gibi olaylar ani geliştiği için afet olarak tanımlanmaktadır (Şahin, 2019). Afetleri meydana

gelme durumuna göre doğal afetler ve insan kaynaklı afetler şeklinde ikiye ayırmak mümkündür (AFAD, 2018). Ülkemiz iklim koşulları ve coğrafi konumu sebebiyle doğal afetlerle oldukça sık karşılaşmaktadır. Türkiye’de can ve mal kaybının olduğu afetler deprem, heyelan ve sel olarak bilinmektedir (Bektaş Akpınar ve Ceran, 2020). Geçmişten günümüze kadar yaşanan depremler, seller, savaşlar ve diğer afetler toplumların olağan yaşamı üzerinde olumsuz etkiler yaratmış ve yerleşim alanlarından başka yerlere göç etmelerine dahi sebep olmuştur (Akşit, 2018). Dünya genelinde son 20 yıla kıyasla sel afetlerinin sayısı iki katından daha fazla artış yaşamıştır (URL1). Türkiye’de, doğal faktörlerin etkisi ve aynı zamanda insanların çevreye doğru olmayan müdahaleleri sonucunda sel olayları sıklıkla yaşanmaktadır (Canpolat, Usun ve Geçen, 2020). Örneğin; 1930 İzmir sel afeti (Karataş, 2024), 1940 Tokat sel felaketi (Üzen, 2010), 1995 Bitlis sel afeti (Arınç, 2013), 1998 Samsun Havza sel ve taşkın felaketi (Zeybek, 2014) ve 2021 Kastamonu Bozkurt sel felaketi (Bilgen, Balcı ve Kalça, 2022), ülkemizde her dönemde sel felaketlerinin yaşandığını ve bilimsel çalışmalara konu olduğunu ortaya koymaktadır (Canpolat, Usun ve Geçen, 2020). Özellikle nüfus yoğunluğu fazla olan şehirler meydana gelen sel ve taşkın olaylarından ciddi boyutlarda etkilenmektedir (Öztürk ve Uzuntaş, 2019). Bu çalışma kapsamında 2000-2025 yılları arasında Türkiye’de sel afetlerini konu alarak yapılmış akademik yayınların incelenerek literatürün genel durumunu ortaya koymak amaçlanmıştır.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE

2.1. Afet

Toplumun yerel imkanlarıyla baş edemediği (AFAD, 2014) insanlar üzerinde fiziksel , sosyal ve ekonomik kayıplara sebep olan ve normal yaşamı etkileyen insan kaynaklı, doğal ve teknolojik olayların oluşturduğu sonuçlara afet adı verilmektedir (Ergünay, 2009). Afet, *“Ekolojik dengeyi bozan, can ve mal kaybına neden olan, toplumun olağan yaşamını ortadan kaldıran, uyum sağlama ve yanıt verme kapasitesini aşarak, dış yardıma ihtiyaç duyar duruma getiren olaydır”*(Akdur, 2000). Akdur bu tanımında, insanların afetlerin etkisinin altından tek başına kalkamayacağını süreçte mutlaka dışardan bir yardıma gerek olduğu vurgusunu yapmıştır. Bir olay eğer insanların yaşamlarında bir olumsuzluk yaratmadıysa afet olarak ele alınamaz. Diğer bir deyişle bir toplum için afet olarak nitelendirilen bir durum başka toplumlar için afet sayılmayabilir (Uluğ, 2014).

İklim değişikliği, küresel ısınma, nüfusun artması ve aşırı kentleşme gibi faktörler yaşanan afetlerin sıklığını ve etkisini arttırmaktadır (Tetik Biçer, 2025). Doğal veya teknolojik tehlikeler risk ile bir araya geldiğinde zarar boyutu yüksek afetler oluşturabilir. Bu nedenle tehlike ve risk gibi kavramlar afet ve afet yönetiminde temel kavramlar olarak karşımıza çıkar

(Varol ve Gültekin, 2016). Kahraman vd. (2021), afet yönetimi döngüsünde yer alan terimlerin doğru anlaşılması için yaptığı incelemede bu döngüdeki terimlerin hepsinin önemli olduğunu fakat risk ve risk değerlendirmesi teriminin kritik olduğunu vurgulamıştır.

2.1. Tehlike

Riski meydana getiren unsurlardan biri (Kahraman, Polat ve Korkmazyürek, 2021) olan tehlike sözcüğü Arapça kökenlidir (Nişanyan Sözlük, 2026). Tehlike belirli bir yerde ve zaman diliminde meydana gelerek yaşamı tehdit eden, toplumun ekonomik ve sosyal durumunu sekteye uğratan fiziksel, ekonomik ve sosyal kayıplara neden olabilecek tüm olayları ifade eder (AFAD, 2026).

2.1.2. Zarar Görebilirlik

Afetlerin meydana gelişindeki ana faktörlerden biridir. Afetlerin yaşam alanlarını ve çevreyi olumsuz etkileyerek bireylerin fiziksel, sosyal ve ekonomik olarak olumsuz etkilemesi (Gocuklu ve Seki, 2019) zarar görebilirlik kavramının temelini oluşturmaktadır (URL2). Bu bağlamda zarar görebilirlik maruz kalınan afetler karşısındaki savunmasızlıktan kaynaklanan çok yönlü olumsuzluklar şeklinde ifade edilebilir (Kadıoğlu, 2011; Taştan ve Aydınoglu, 2022).

2.1.3. Risk

Türkçe ve İngilizcede “risk” şeklinde yazılan sözcüğün anlamı Fransızca kökenli *risque* kelimesinden gelmektedir (Online Etymology Dictionary, 2026). Risk, bir olayın belirli koşul ve durumlarda ortaya çıkarabileceği maddi ve manevi kayıpların meydana gelme ihtimalidir (AFAD,2026). Kısaca risk sözcüğü kayıp veya zarar verme ihtimali şeklinde tanımlanabilir. Doğal ya da insan kaynaklı tehlikelerin var olması risk anlamına gelmez, risk kavramından söz edebilmek için insan ve insanlara ait değerlerin bulunması gereklidir. Bu nedenle tehlike ve risk kavramlarını birbirine eşit tutmamak gerekir (Taştan, 2015). Riskin boyutu, tehlikenin büyüklüğüne, maruziyet düzeyine ve savunma kapasitesinin durumuna göre değişiklik gösterir. Riskin iyi yönetilmesi afetlerin meydana getireceği hasarların en aza indirilmesine katkı sağlar (Şahin, 2019). Sel riskini ve seli tetikleyen unsurların doğru biçimde anlaşılması etkili risk yönetimi için oldukça önemlidir (Muis, Guneralp, Jongman, Aerts ve Ward, 2015).

2.2 Sel

İnsanları tarih boyunca en çok etkileyen doğal afetlerden birisi sel ve su baskınlarıdır (Gönüllü, 2010). Birçok farklı biçimde tanımlanan sel’in en yaygın tanımlarından biri, “*çeşitli nedenlerle beliren büyük su kütlelerinin akarsu yataklarında, vadi yamaç ve tabanlarında, çukur alanlarda ve kıyılarda kontrolsüz bir şekilde akması ve yayılmasıdır*” (Özcan, 2006). Bir başka deyişle sel, suyun doğal veya yapay yatağından taşması sonucunda çevrede ve

tarımsal faaliyet yapılan yerlerde tehlike yaratması şeklinde tanımlanabilir (Kömüşçü, Çelik ve Ceylan, 2011). Açıklamalı Afet Terimleri Sözlüğüne göre ise sel, suların bulunduğu kısımda yükselmesi ya da kuru yüzeylerin aniden yağmur suyuyla kaplanması olayına verilen isimdir. Sellerin oluşmasında belirleyici faktör hızdır. Seller bir hafta veya bir haftadan daha uzun sürede geliyorsa yavaş, bir veya iki gün içinde oluşuyorsa hızlı, saatlik bir süre zarfında meydana geliyorsa ise ani sel olarak adlandırılmaktadır (Açıklamalı Afet Terimleri Sözlüğü, 2026). Bunlar içinde en çok görülen ve etkili olan taşkınlar yani bir diğer adıyla akarsu selleridir (Özcan, 2006). Kurak ve eğimi yüksek kesimlerde uzun süre yağışın olmadığı dönemlerden sonra ani sağanaklar sel olayına sebep olabilmektedir (Acar, Gönençgil ve Öztürk, 2021).

3.YÖNTEM

Bu çalışma Türkiye’de 2000 ile 2025 yılları arasında sel afeti çerçevesinde gerçekleştirilen çalışmaların incelenmesi kapsamında hazırlanmış bir literatür incelemesidir. Çalışmada Web of Science, Scopus, Google Scholar ve TR Dizin/ULAKBİM veri tabanlarında Türkçe ve İngilizce anahtar kelimelerle literatür taraması yapılmış ve sel afeti ile ilgili çalışmalar incelenmiştir. Tarama sürecinde “Sel”, “Afet yönetimi ve Sel”, “Doğal Afetler” gibi anahtar kelimeler kullanılmıştır. Çalışmada herhangi bir saha araştırılması yürütülmemiş ve yalnızca mevcut literatür değerlendirilmiştir. Yapılan tarama sonucunda ulaşılan çalışmalar öncelikle özet ve başlıkları çerçevesinde incelenmiş konu ile doğrudan veya dolaylı ilişkisi olmayan çalışmalar kapsam dışında değerlendirilmiştir. Çalışmada kullanılan kaynakların seçiminde sel olgusunu çalışma alanına dahil etmesi ve çalışmaların güncel olması dikkate alınmıştır. Tam metnine ulaşılamayan akademik çalışmalar ve tekrar eden yayınlar araştırma çerçevesine alınmamıştır. Çalışma kapsamında belirtilen yıllar arasında yayımlanmış 50 çalışmadan yararlanılmıştır. Belirlenen kriterlere uygun olan çalışmalar detaylı olarak incelenmiştir. Bu aşamada çalışmalar araştırma alanı ve konu kapsamında sınıflandırılmış ve bu doğrultuda sel ve afet yönetimi, coğrafi ve beşeri boyut, meteorolojik parametreler ve iklim değişikliği başlıkları altında değerlendirme yapılmıştır.

4. BULGULAR

4.1 Sel ve Afet Yönetimine İlişkin Bulgular

İnsanlar su ve su kaynaklarına yakın olma, tarımsal faaliyetler için uygun ortam ve düz alana sahip olması sebepleriyle dere ve taşkın yataklarına yerleşim yerleri kurmuşlardır (Korkanç, 2005). Sel ve taşkınlar depremlerden sonra en fazla ekonomik kayıplara sebebiyet veren doğal bir afettir (Korkanç ve Korkanç, 2006). Gülbaz vd. (2019) 32 kişinin yaşamını yitirdiği Ayamama Deresi sel felaketi üzerine yapmış oldukları çalışmada havzadaki düzensiz

kentleşmenin ve aşırı yağışların sel riskini arttırdığını ortaya koymuştur. Benzer şekilde Özcan (2017) Ayamama Deresi sel felaketi bağlamında sel risklerinin belirlenmesi açısından farklı karar verme ve modelleme yöntemlerini incelemiştir (Özcan, 2017). Ülkemizde sel afetinin sıkça görüldüğü Karadeniz Bölgesinde yaşanan önemli sel felaketlerinin birçoğu hatalı dere ıslah projeleri sonucunda meydana gelmiştir ve bu kapsamda 2021 Ayancık (Sinop) ve Bozkurt (Kastamonu) sel felaketleri son dönemlerde yaşanan ve afet boyutuna dönüşen felaketler olmuştur (Turoğlu, 2024). Yine 2021 yılında yaşanan Ayancık (Sinop) seli sonrası yapılan çalışmalarda selin oluşumunda kentsel yapılar, iklim değişikliğinin etkisiyle meydana gelen yoğun yağış ve havza jeolojisinin önemli faktörler olduğu ortaya konulmaktadır (Bilgen, Balcı ve Kalça, 2022; Özdemir ve Özkaynak Yolcu, 2024).

Meteorolojik ve hidrolojik modelleme çerçevesinde yapılan çalışmalar da son yıllarda ağırlık göstermektedir. Örneğin Kadıoğlu ve Ak (2025) 2023 yılında yaşanan Ladik selini inceledikleri araştırmada sel afetini tetikleyen atmosferik koşulları değerlendirmek için Schreiber yöntemini kullanmış ve yağış değerlerini haritalandırmıştır. Benzer şekillerde Şen ve Kahya (2017) Rize’de oluşabilecek sel felaketleri için tarihsel veriler ve iklim değişikliği göz önünde bulundurularak bir su havzası modellemesi oluşturmuş, Koyuncu ve Ekmekcioğlu (2024) da İstanbul ili için sel duyarlılık haritaları geliştirmiştir.

Literatürün önemli bir kısmı sel afetini toplumsal boyutu, teknolojik boyutu ve toplumun risk algısı gibi farklı boyutları da içermektedir. Söz konusu çalışmalarda sel risk algısının cinsiyet, eğitim ve farkındalık düzeyi ile ilişkili olduğu görülmektedir (Taştan, 2015; Doğan vd., 2025). Doğan vd. (2025) yaptığı kesitsel çalışma ile risk algısının birçok faktörle ilişkisini ortaya koyarak Gümüşhane ilindeki insanların sel risk algı düzeylerini incelemiştir. Benzer şekilde Anılan vd. (2024) Doğu Karadeniz Bölgesi’ndeki sel risk algı düzeyini Anılan ve Yüksek (2017)’in çalışması ile karşılaştırma yaparak istatistiksel olarak incelemiştir.

Sel afetinde etkili bir zarar azaltma ile müdahale ve iyileştirme faaliyetleri iyi tasarlanmış ve doğru hazırlanmış bir sel yönetim planına bağlıdır. Bu plan oluşabilecek sel zararlarının azaltılmasına yönelik planlamaların ve çalışmaların hangi kurumlar ve kimler tarafından yapılacağı çerçevesini ortaya koyar (URL4). Yılmaz (2025) 2024 yılında Trabzon ilinde meydana gelen sel afetini sadece bir doğal afet olmadığını karmaşık bir yönetsel süreç olduğunu ortaya koyarken benzer şekilde Tümer (2024) afetlerin oluşturduğu olumsuzluklar tamamen önlenemese bile en aza indirilmesi kapsamında afet yönetimi ve risk azaltmada yerel yönetimlerin rollerinin öneminden bahsetmiştir. Sel konusunda uzman kişilerin görüşleri doğrultusunda resmi kurumlar diğer kuruluşlarla iş birliği içerisinde olarak risk odaklı yönetim stratejileri benimsemelidir (Duman, 2024). Afet süreçleri olağan olmayan şekilde

ilerleyebilmekte ve meteorolojik koşullar, altyapı sorunları ve yönetsel sorunlar afet sonuçlarına etki edebilmektedir (Savaş ve Genç, 2024). Bu nedenle Savaş ve Genç (2024) afet yönetiminde yönetim temelli, çok aktörlü tasarımların gerekliliğini vurgulamıştır. Sel yönetimi anlayışı risk temelli yaklaşımlar içerisinde incelenmektedir (Çiftçi, 2025). Modern anlamda sel yönetimi, sel felaketlerinde kentsel sosyokolojik sistemlerin yapı ve işlevlerini kesintisiz bir şekilde sürdürmesini amaçlayan bir yönetim yaklaşımıdır bu yaklaşım, selden kaçmak yerine onunla yaşamayı öğrenmeye ve sonuçlarında oluşacak olumsuz etkilerini en aza indirmeyi hedeflemektedir (Zevenbergen, Gersonius ve Radhakrishan, 2020).

4.2 Coğrafi ve Beşeri Boyut Kapsamında Bulgular

Doğal ve beşeri faktörlere bağlı meydana gelen meteorolojik kökenli afetler büyük çaplı maddi hasara ve can kayıplarına sebebiyet verebilmektedir. Türkiye’deki kentsel gelişme yapısı da bu olayların meydana gelmesinde belirleyici rol oynamaktadır (Akman, 2021).

Bölgesel bağlamda vaka analizi şeklinde yani belirli bir sel olayını inceleyen çalışmalarda daha çok o bölgenin coğrafi ve rejim özellikleri (Kopar, Polat, Hadimli ve Özdemir, 2011), sel ve taşkınların meydana gelmesinde etkili olan jeomorfolojik özellikler bağlamında akarsu havzaları ve havza analizleri (Avcı ve Sunkar, 2015; Acar, Gönençgil ve Öztürk, 2021; Uysal ve Sunkar, 2022) yapılmıştır. Sel ve taşkın olaylarının oluşmasında etkili olan bir diğer jeomorfolojik faktör eğimdir. Eğimin az olduğu akarsu yataklarında taşkın riski fazladır (Işık, Bahadır, Zeybek ve Çağlak, 2020). Türkiye’de büyük kentler sel afetinden ciddi boyutlarda etkilenmektedir özellikle yeşil alanlar bakımından yetersiz olan büyük şehirlerde yağışın toprağa sızması oldukça zordur (Öztürk ve Uzuntaş, 2019).

Şahinalp (2006) doğal faktörlerin yanında beşeri faktörlerin de sel afetinde rol oynadığını belirtmektedir. Son yıllarda meydana gelmiş 2021 Kastamonu sel afetinin yaşanmasında insani faktörlerin doğal faktörlerden daha fazla etkili olduğu çıkarımı yapılmıştır (Bilgen, Balcı ve Kalça, 2022). 2023 yılında Şanlıurfa ilinde meydana gelen sel afetinde de bölgenin coğrafi özellikleri ve toprağın kış mevsiminde suya doymasının yanında kentleşmenin artması ile betonarme binaların çoğalması ve bitki örtüsünün seyrekleşmesi de sel olayının afete dönüşmesine neden olan etkenlerdir (İrcan ve Duman, 2024). Son yıllarda hızla gelişen kentleşme ve sanayileşme bu alanda yaşayan yoğun nüfus için tehlikeler taşımakta, kentlerin taşkın riski yüksek bir alanda bulunması oluşabilecek muhtemel riski yükseltmektedir (Kadıoğlu, 2019). Uygun planlamalar ve önleyici tedbirler neticesinde beşeri unsurların sel ve taşkınlara olan etkisini azaltmak mümkün görülmektedir (Kadıoğlu ve Ak, 2025).

4.3 Meteorolojik Parametreler ve İklim Değişikliği Kapsamında Bulgular

Türkiye’de sel afetinin sıklıkla yaşandığı Doğu Karadeniz bölgesinde sonbahar ve yaz dönemlerinde kısa zaman diliminde meydana gelen aşırı yağışlar aynı zamanda pürüzlü topografik yapının da etkisiyle olumsuz etkileri arttırır (Baltacı, 2018). 2023 yılında Samsun ilinin Ladik ilçesinde de meydana gelen sel afetinde yağış miktarının yanında jeolojik yapı, eğim, kanallar ve bölgenin bitki örtüsü de etkili olmuştur (Kadioğlu ve Ak, 2025). Mersin ilinde görülen sel olayları da sinoptik olarak incelendiğinde görülen sinoptik ve meteorolojik durumlar sel olayının oluşması için uygun atmosferik koşulları sağlamaktadır (Bilici ve Everest, 2017). Sel afetinde olağan risklerin saptanması, lojistik ve arama kurtarma alanlarında kapasitenin arttırılması için yaşanan sellerin doğru analizini yapmak en önemli faktördür (Uyan ve Çakır, 2025). Türkiye’de genel olarak her mevsimde sel olayı yaşanmaktadır özellikle kısa süreli etkili yağışlarda Doğu Karadeniz ve Batı Akdeniz’in yanında tüm kıyı bölgeleri sel riski taşımaktadır (Özcan, 2006). Türkiye iklim değişikliği konusunda kırılganlığı yüksek bölgeler arasındadır (İçel, 2014). Özellikle en çok etkilenecek bölge olarak Akdeniz Bölgesi gösterilmektedir (Türkeş, 2012).

İklim değişikliği ile son dönemlerde artış yaşayan afetlerden biri de sel afetidir. Son dönemlerde bu nedenle özellikle Akdeniz Bölgesinde sel afetinde artış yaşanmaktadır (Aydın ve Çelik, 2019). Aynı zamanda sıcaklık da yağışları etkileyen iklim unsurlarındandır ve bölgelerdeki yükselti ve karasallık sıcaklığı etkileyen faktörlerdir (Kadioğlu ve Ak, 2025). Sıcaklıklarda artış ve beklenmeyen ani yağışların ve bunun sonucunda meydana gelen sel afetindeki artışları Sönmez ve Kesici (2013) küresel iklim değişikliği kapsamında ele almıştır. Söz konusu çalışmada Sönmez ve Kesici (2013) Kilis şehrinde meydana gelen sel olaylarını iklim değişikliği ile ilişkilendirerek yağışların gittikçe düzensizleşmesine dikkat çekilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Türkiye’de afet konusunda akla ilk gelen depremler olsa da son dönemlerde sel, orman yangınları ve sığınmacı akınları gibi afet çeşitleri de ülkemizde sıklıkla meydana gelmektedir (Akduman, 2024). Sel, etkileri bakımından can ve mal kaybına yol açan tahrip gücü yüksek doğal afetler kapsamında yer almaktadır (İrcan ve Duman, 2024). Ülkemizde hemen hemen her bölgede meydana gelebilen sel olayları gelişen teknolojiye rağmen hala can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. Bunun en büyük etkenlerinden birisi insan faaliyetleri olarak karşımıza çıkmaktadır (Bayraktar ve Sahtiyancı, 2020).

Mevcut literatür incelendiğinde sel olaylarının oluşumunda meteorolojik faktörlerin yanı sıra beşeri faktörlerin de sel oluşumunda ve etkilerinde rol oynadığı görülmektedir. İnsanın doğa üzerinde oluşturduğu bu etki antropojenik faktörler olarak açıklanmaktadır (Canpolat, Dinç,

Usun ve Geçen, 2020). Antropojenik faktörler genel olarak plansız kentleşme, arazi kullanımındaki değişimler (Sunkar ve Tombul, 2011) sonucunda meydana gelmektedir. Özellikle bölgesel anlamda vaka çalışmaları ağırlık gösterirken bu çalışmalar da meteoroloji, coğrafya, yönetim, kentsel ve beşeri faktörleri incelenmiştir. Bunlarla birlikte sel oluşumunda etkili olan faktörlerden eğimli arazilerdeki yağışların aniden yüzey akışına dönmesi, kısa süreli ani yağışlar ve bölgenin topografik özellikleri sel oluşumunu tetiklemektedir. Özellikle kısa sürelerde görülen şiddetli yağışlar eğimli yüzeylerin ve yetersiz drenaj sistemlerinin etkisiyle sel olayına dönüşmektedir.

Türkiye’de seller, vaka incelemeleri ve risk analizi çalışmalarını içermekte; coğrafi çeşitlilik, meteorolojik özellikler ve insan etkisini bütün olarak incelemektedir. Sel olaylarıyla ilgili yapılan çalışmalarda meteorolojik ve coğrafi verilerle beşeri faktörler bir bütün olarak ele alınarak daha kapsamlı çalışmalar ve planlamalar yapılması önerilmektedir. Elde edilen bulgular doğrultusunda sel afetinin etkilerini en aza indirmek amacıyla çeşitli önlemler alınması gerekmektedir. Yerleşim bölgelerinin akarsu yataklarına veya yakın bölgelere kurulması önlenmeli bu bölgelerde doğru arazi planlamaları yapılmalı, erken uyarı sistemleri geliştirilmeli ve akarsu yatakları düzenli aralıklarla temizlenmesi ve halkın bilinçlendirilmesi bu önlemler arasında sayılabilir. Uygun önlemler alınmadığı takdirde sel ve taşkınların etkileri sadece iklim değişikliği nedeniyle değil kentlerdeki nüfusun hızla artmasıyla artış göstermesi beklenmektedir (Şenol Balaban, 2016). Günümüzde artan teknolojik gelişmelere rağmen afetler karşısında yapılabilecek en uygun hareket araştırmalar yapmak, planlar üretmek ve harekete geçirmek olacaktır. Afet yönetimi olarak tanımlanan bu kavramla aslında insanlar yaşadıkları çevreyi tanımalı meydana gelebilecek afetlerin etkilerini en hafif şekilde atlatmak için çevrede oluşmuş afetlerden haberdar olmalıdırlar (Erkal ve Değerliyurt, 2009). Afet yönetimi çerçevesinde sel afetinde hazırlık, müdahale ve iyileştirme kapsamında yerel yönetimlerle ve ilgili diğer kurum ve kuruluşlarla koordinasyonun geliştirilmelidir. Sel öncesi yapılan risk değerlendirmesi ve risk senaryoları ile sel afeti sonrasında oluşabilecek olumsuzlukları büyük ölçüde azaltılabileceği öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

- Acar, Z., Gönençgil, B., & Öztürk, B. (2021). Gökçeada’da sel afeti: 2014. *Türk Coğrafya Dergisi*, 77, 183-194. <https://doi.org/10.17211/tcd.943015>
- Açıklamalı Afet Terimleri Sözlüğü, (2026). T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı - Açıklamalı Afet Yönetimi Terimleri Sözlüğü (Erişim Tarihi 26.02.2026)
- Akduman, Ö. (2024). Türk Afet Mevzuatının Bütünleşik Afet Yönetimi Açısından İncelenmesi. *İdealkent*, 16(45), 1753-1784. <https://doi.org/10.31198/idealkent.1492081>
- Akşit, A. (2018). Yerleşimleri Yeniden Düşünmek Bağlamında Yeni Bir Kentsel Gelişim ve Yönetim Stratejisi. *GSI Journals Serie B: Advancements in Business and Economics*, 1(1), 56-67. <https://izlik.org/JA39SY89WU>

- Anılan, T. & Yüksek, Ö. (2017) Perception of Flood Risk and Mitigation: Survey Results from the Eastern Black Sea Basin, Turkey. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000232](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000232)
- Anılan, T., Bayram, S., Sayıl, M. C. vd. (2024). Statistical analysis of flood risk perception: a case study for Eastern Black Sea Basin, Turkey. *Natural Hazards*, 120, 8743-8760.
- Arınç, K. (2013). Bitlis'te Taşkın ve Sel Felaketi (01-02 Mayıs 1995). Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 25. <https://izlik.org/JA65MT28UJ>
- Aydın, T., & Çelik, M. A. (2019). 6-7 Ağustos 2018'de Elmalı İlçesinde Meydana Gelen Sel Afetinin Tarım Alanları Üzerine Etkisi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 24(42), 91-102. <https://doi.org/10.17295/ataunided.620526>
- Baltacı, H. (2018). 18 Temmuz 2017 Tarihinde İstanbul'da Meydana Gelen Sel Olayının Meteorolojik Analizi. *Marmara Fen Bilimleri Dergisi*, 30(1), 55-60. <https://doi.org/10.7240/marufbd.397544>
- Bayraktar, H., & Sahtiyancı, E. (2020). 17-18 Temmuz 2019 Akçakoca ve Cumayeri (Düzce) Sel Afeti Sonuçları ve Müdahale Çalışmaları. *Resilience*, 4(2), 239-255. <https://doi.org/10.32569/resilience.755777>
- Bektaş Akpınar, N., & Ceran, M. (2020). Afetlerle İlgili Güncel Yaklaşımlar ve Afet Hemşiresinin Rol ve Sorumlulukları. *Paramedik ve Acil Sağlık Hizmetleri Dergisi*, 1(1), 28-40.
- Bilgen, G., Balcı, E., & Kalça, M. Y. (2022). Kastamonu Bozkurt İlçesinde 11.08.2021 Tarihinde Meydana Gelen Sel Felaketinin Yerinde İncelenmesi. *Tasarım Mimarlık ve Mühendislik Dergisi*, 2(1), 20-35. <https://izlik.org/JA36EX57DJ>
- Bilici, Ö. E., & Everest, A. (2017). 29 Aralık 2016 Mersin Selinin Meteorolojik Analizi Ve İklim Değişikliği Bağlantısı. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 22(38), 227-250. <https://doi.org/10.17295/ataunided.294027>
- Canpolat, E., Dinç, Y., Usun, Ç. F., & Geçen, R. (2020). 25.09.2014 Tarihinde Erzin Ilıcalarda (Hatay) Meydana Gelen Sel ve Taşkın Oluşumunda Coğrafi Faktörlerin Değerlendirilmesi. *Journal of Geography*, 41, 129-146. <https://doi.org/10.26650/JGEOG2020-0048>
- Doğan, A., Doğru, S., Şimşek, N., & Mızrak, S. (2025). Gümüşhane'de Yaşayan İnsanların Sel Risk Algısı. *Afet ve Risk Dergisi*, 8(1), 115-126. <https://doi.org/10.35341/afet.1422437>
- Ergünay, O., Derneği, D. M., & Sekreteri, G. (2009). Doğal Afetler ve Sürdürülebilir Kalkınma. *Deprem sempozyumu*, 11, 12.
- Erkal, T., & Değerliyurt, M. (2009). Türkiye'de afet yönetimi. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 14(22), 147-164.
- Gocuklu, E., & Seki, İ. (2019). Sosyal ve Ekonomik Zarar Görebilirlik Çerçevesinde Göç Olgusunun Afet Yönünden İncelenmesi: Çanakkale İli Örneği. *Sosyal ve Beşeri Bilimler Dergisi*, 11(2), 16-31. <https://izlik.org/JA68XN82AY>
- Gülbaz, S., Kazezyılmaz Alhan, C. M., Bahceci, A., & Boyraz, U. (2019). Flood Modeling of Ayamama River Watershed in Istanbul, Turkey. *Journal of Hydrologic Engineering*. (https://www.researchgate.net/publication/329687406_Flood_Modeling_of_Ayamama_River_Watershed_in_Istanbul_Turkey (Erişim Tarihi, 10.03.2026))
- Gönüllü, A. R. (2010). Osmanlı Devleti'nin Son Döneminde Meydana Gelen Sel Baskınları (1857-1913). *Selçuk Üniversitesi Türkiyat Araştırmaları Dergisi*(28), 351-373.
- Işık, F., Bahadır, M., Zeybek, H. İ., & Çağlak, S. (2020). Karadere Çayı Taşkını (Araklı -Trabzon). *Mavi Atlas*, 8(2), 526-547. <https://doi.org/10.18795/gumusmaviatlas.788991>
- İçel, G. (2014). *Mersin'de Meteorolojik ve Hidrometeorolojik Afetler*. *Journal of Turkish Studies* <http://dx.doi.org/10.7827/TurkishStudies.7454>
- İrcan, M. R., ve Duman, N. (2024). 15 Mart 2023'te Şanlıurfa'da Meydana Gelen Sel ve Taşkın Oluşumunda Etkili Olan Coğrafi Faktörlerin Değerlendirilmesi. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 10(2), 450-464. <https://doi.org/10.21324/dacd.1458127>
- Kadioğlu M., "Afet Yönetimi Beklenilmeyeni Beklemek En Kötüsünü Yönetmek", T.C. Marmara Belediyeler Birliği Yayını, 2011.
- Kadioğlu M. Kent Selleri Yönetim ve Kontrol Rehberi. Birinci. Marmara Belediyeler Birliği Kültür Yayınları; 2019. <https://www.marmara.gov.tr/uploads/old-si-te/2020/10/KENT-SELLERIKUCUK.pdf>
- Kahraman, S., Polat, E., ve Korkmazıyürek, B. (2021). Afet Yönetim Döngüsündeki Ana Terimler. *Avrasya Terim Dergisi*, 9(3), 7-14. <https://izlik.org/JA53WJ67WJ>

- Kadıoğlu, Y., & Ak, M. M. (2025). Samsun'da Meteorolojik Kökenli Doğal Afetlere Bir Örnek: 5 Haziran 2023 Tarihli Lâdik Seli ve Taşkınları. *Uluslararası Yönetim Akademisi Dergisi*, 7(3), 753-763. <https://doi.org/10.33712/mana.1557732>
- Karataş, İ. (2024). 1930 İzmir Sel Afeti. *Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 26(3), 1006-1036. <https://doi.org/10.16953/deusosbil.1484781>
- Kara Elmas Korkanç, S.Y. ve Korkanç, M. (2006). Sel ve taşkınların insan hayatı üzerindeki etkileri. *Zonguldak Üniversitesi Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 8(9), 42-50.
- Kopar, İ., Polat, S., Hadimli, H., & Özdemir, M. (2011). 4-6 MART 2004 Pulur Çayı (Ilıca-Erzurum) Sel-Taşkın Afeti. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 10(13), 187-218. <https://izlik.org/JA27ZW52SM>
- Koyuncu, Z., & Ekmekcioğlu, Ö. (2024). İstanbul İçin CBS Tabanlı Makine Öğrenmesi İle Sel Duyarlılık Haritasının Oluşturulması. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 10(1), 1-15. <https://doi.org/10.21324/dacd.1254778>
- Kömüşçü, Ü. A., Çelik, S., & Ceylan, A. (2011). 8-12 Eylül 2009 Tarihlerinde Marmara Bölgesi'nde Meydana Gelen Sel Olayının Yağış Analizi. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 9(2), 209-220. https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000125
- S. Muis, B. Guneralp, B. Jongman, J. Aerts, P.J. Ward , 2015 Sanne Muis, Burak Güneralp, Brenden Jongman, Jeroen C.J.H. Aerts, Philip J. Ward, Flood risk and adaptation strategies under climate change and urban expansion: A probabilistic analysis using global data, *Science of The Total Environment*, Pages 445-457 <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.08.068>
- Savaş, N., ve Genç, F. N. (2024). Afet Yönetiminde İtfaiyenin Rolü: Kumluca (Antalya) Seli Örneği. *Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi*, 26(47), 1403-1434. <https://doi.org/10.18493/kmusekad.1499981>
- Sunkar, M., & Tonbul, S. (2011). Effect Of Changes In Geomorphological Units On Flood And Torrent Events Due To Rapid Urbanization In Batman. *Nature Sciences*, 6(1), 1-29. <https://izlik.org/JA43LS69RC>
- Sönmez, M. E., & Kesici, Ö. (2013). İklim Değişikliği ve Plansız Şehirleşmenin Kilis Şehrinde Yol Açtığı Sel Felaketleri. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 17(28), 57-77. <https://izlik.org/JA46EB39DM>
- Şen, O., & Kahya, E. (2017). Determination of flood risk: A case study in the rainiest city of Turkey. *Environ. Model. Softw.*, 93, 296-309.
- Şahin, Ş. (2019). Türkiye'de Afet Yönetimi ve 2023 Hedefleri. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 1(2), 180-196. <https://doi.org/10.46464/tdad.600455>
- Şahinalp, M. (2014). Neden ve sonuçlarıyla Şanlıurfa İlinde yaşanan sel felaketleri (28-29 Ekim, 01 Kasım 2006). *Türk Coğrafya Dergisi*, 49, 89-122. <https://doi.org/10.17211/tcd.42002>
- Şahin, Ş. (2019). Türkiye'de Afet Yönetimi ve 2023 Hedefleri. *Türk Deprem Araştırma Dergisi*, 1(2), 180-196. <https://doi.org/10.46464/tdad.600455>
- Şenol Balaban, M. (2016) An Assessment Of Flood Risk Factors In Riverine Cities Of Turkey: Lessons For Resilience And Urban Planning *METU Journal of the Faculty of Architecture* 33(2) doi:10.4305/metu.jfa.2016.2.3
- Üzen, İ. (2010). Cumhuriyet Döneminde Tokat'ın Maruz Kaldığı Seller (1934-1949). *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 11(2), 299-318.
- Online Etymology Dictionary, 2026. Online Etymology Dictionary (Erişim Tarihi, 28.02.2026)
- Özdemir, Z., & Özkaynak Yolcu, M. (2024). İklim Değişikliğinin ve Kentleşmenin Etkilerini Akarsu Kıyısı Yerleşim Alanlarında Sel Felaketi Üzerinden Tartışmak. *Doğal Afetler ve Çevre Dergisi*, 10(2), 314-333. <https://doi.org/10.21324/dacd.1383055>
- Öztürk, S., ve Uzuntaş, Ö. (2019). Türkiye'deki Sel ve Taşkın Yönetmelikleri Üzerine Bir Değerlendirme: Farklı Ülkeler ile Karşılaştırma ve Yasal Boşluk Analizi. *The Journal of International Scientific Researches*, 4(2), 146-161. <https://doi.org/10.23834/isrjournal.520732>
- Özcan, E. (2006). Sel Olayı ve Türkiye. *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 26(1), 35-50. <https://izlik.org/JA76HA33WF>
- Taştan, B., ve Aydınoglu, A. Ç. (2022). Afetlerde tetikleyen tehlikeler ve zarar görabilirlik. *International Journal of Geography and Geography Education*, 47, 280-299. <https://doi.org/10.32003/igge.1124921>
- Taştan, B. (2015). Çoklu Afet Risk Yönetiminde Tehlike ve Zarar Görebilirlik Belirlenmesi İçin Gereklerin Analizi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 31, 366-397. <https://doi.org/10.14781/mcd.83405>

- Tetik Biçer, Ç. (2025). Afet Gönüllülük Sistemlerinin Kurumsal Yapılanma ve Gelişmeye Açık Yönleriyle İncelenmesi. *Afet ve Risk Dergisi*, 8(2), 582-597.
<https://doi.org/10.35341/afet.1663032>
- Turoglu, H. (2024). Akarsu Kıyı Kenar Çizgisinin Sel ve Taşkın İçin Önemi. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi*, 13, 94-110. <https://doi.org/10.46453/jader.1545943>
- Tümer, Ö. (2024). Doğal Afetlerde Afet Yönetimi ve Risk Azaltmada Yerel Yönetimlerin Rolü. *Fiscaoeconomia*, 8(3), 1495-1515. <https://doi.org/10.25295/fsecon.1491393>
- Uluğ, A. (2014). *Nasıl bir afet yönetimi*. TMMOB İzmir Kent Sempozyumu.
- URL1. UNDRR. The Human Cost of Disasters: An Overview of the Last 20 Years (2000-2019). United Nations Office for Disaster Risk Reduction; 2021:30. The human cost of disasters: an overview of the last 20 years (2000-2019) | UNDRR (Erişim Tarihi 24.02.2026)
- URL2. Understanding disaster risk | PreventionWeb (Erişim Tarihi, 28.02.2026)
- URL3. Nişanyan Sözlük, 2026. tehlike - Nişanyan Sözlük (Erişim Tarihi, 01.03.2026)
- URL4.<https://www.marmara.gov.tr/uploads/old-site/2020/10/KENT-SELLERI-kucuk.pdf> (Erişim Tarihi 07.03.2026)
- Uysal, A., ve Sunkar, M. (2022). Erzincan Ovası Kuzeyindeki Yerleşmelerin Yer Değiştirmesine Neden Olan Afetler: Sel, Taşkın ve Çamur Akmaları. *Afet ve Risk Dergisi*, 5(2), 693-714.
<https://doi.org/10.35341/afet.1127645>
- Uyan Y, Çakır Ö. Statistical Analysis of Flood Disasters in the world. *J Emerg Aid Disaster Science*. 2025;5(1):12-19.
- Varol, N., & Gültekin, T. (2016). Afet Antropolojisi. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi*, 15(59).
<https://doi.org/10.17755/esosder.263244>
- Yaşar Korkanç, S. (2005). Sel ve Taşkınlardan Korunmada Erken Uyarı ve Önemi. *Journal of the Faculty of Forestry Istanbul University*, 55(1), 123-134. <https://doi.org/10.17099/jffiu.32003>
- Yılmaz, A. (2025). Karmaşık Bir Kamu Yönetimi Sorunu Olarak Kriz ve Afet Yönetimi: 2024 Trabzon Sel Afeti. *Ekonomi İşletme Siyaset ve Uluslararası İlişkiler Dergisi*, 11(2), 187-208.
<https://izlik.org/JA86UW77ED>
- Zeybek, İ. (2014). 22 Mayıs 1998 Havza Sel-Taşkın Felaketi. *Ondokuz Mayıs University Journal of Education Faculty*, 11(1), 160-167. <https://izlik.org/JA96BD26XD>
- Zevenbergen, C., Gersonius, B. & Radhakrishnan, M. (2020). Flood Resilience. *Philosophical Transactions. R. Soc. A 378*: 20190212. 1-17. <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2019.0212>.

NATURAL MODULATION OF THE GUT MICROBIOTA IN PATIENTS WITH FOOD ALLERGIES. IMPACT OF ALERGIPLANT

Major Gheorghe GIURGIU

Deniplant-Aide Sante Medical Center, Biomedicine, Bucharest, Romania

ORCID ID: 0000-0002-5449-2712

Prof. Dr. Med. Manole COJOCARU

Academy of Romanian Scientists

Titu Maiorescu University, Faculty of Medicine, Bucharest, Romania

ORCID ID: 0000-0002-7192-7490

Background: Dysbiosis or microbial imbalance, can predispose individuals to allergies, while a balanced gut microbiome, fosters immune tolerance. The immune mechanisms involved in food allergies are complex and little is known about the possible role of the gut microbiota in the aetiopathogenesis of food allergies.

Objective: Alergiplant could modulate the immune system through gut microbiota in food allergies. Advancing knowledge of the gut microbiome and its function in modulating the course of food allergies, might result in novel therapeutic strategies.

Materials and methods: The evaluation of the patients was based on history and physical examination. We investigated the effect Alergiplant in patients with food allergies.

Results: Environmental factors such as urbanisation, pollution, and dietary habits also significantly contribute to food allergies risk. It is not clear whether microbial change in food allergies is an outcome of barrier defect or the cause of barrier dysfunction and inflammation. Manipulation of the gut microbiota as a method for modifying atopy, may be attempted in many ways including avoidance of certain foods, supplementation with probiotics and prebiotics, optimising nutrient intake, minimising stress, antimicrobial therapy, correction and prevention of low stomach acid, and faecal microbiota transplantation.

Conclusion: The resident microbiota is important in maintaining structural and functional integrity of the gut and in immune system regulation. There was an increase of the intestinal permeability reported in patients with food allergies and a reduction of the gut microbiome diversity. Modifying gut microbiome by applying Alergiplant during early years may be a preventive and therapeutic option in high risk groups.

Keywords: food allergies, host-microbiome interaction; immune regulation; Alergiplant

TÜRKİYE'DE HEYELAN RİSKİNİN BÖLGESEL FARKLILIKLARI ÜZERİNE BİR LİTERATÜR İNCELEMESİ

Merve Nur YEŞİL

Yüksek Lisans Öğrencisi, Aksaray Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Acil Yardım ve Afet Yönetimi ABD, Aksaray, Türkiye.

ORCID ID: 0009-0007-4582-6024

Şefik ÖZDEMİR

Prof. Dr., Aksaray Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Acil Yardım ve Afet Yönetimi, Aksaray, Türkiye

ORCID ID: 0000-0003-3005-0570

ÖZET

Heyelanlar, doğal sebepler ile beşerî faaliyetlerinin gerçekleşmesi sonucunda ortaya çıkan, ciddi can ve mal kayıplarına sebep olabilen doğal afetler arasında yer almaktadır. Bu çalışmanın amacı, heyelanların oluşum riski açısından bölgesel farklılıklarla ilgili literatürün incelenmesidir. Bu kapsamda 1979 ve 2025 senelerin arasındaki yayınlanmış ve Google Scholar, Web of Science, Scopus, Dergipark ve TR Dizin veri tabanlarında yer alan ilgili çalışmalardan faydalanılmıştır. Araştırma çerçevesinde “heyelan riski”, “heyelan duyarlılık analizi”, “bölgesel farklılıklar” gibi anahtar kelimeler temel alınmıştır. Elde edilen bulgular Türkiye’de heyelan riskinin bölgesel olarak farklılıklar olduğunu göstermektedir. Söz konusu farklılıkların zemin özellikleri, eğim, fay hatları, tektonik aktivite, madencilik, yeraltı su doygunluğu, plansız kentleşme, yol yapımı ve yanlış arazi kullanımı gibi nedenlerden olduğu tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Heyelan, Heyelan Riski, Heyelan Duyarlılık Analizi, Bölgesel Dağılım

LITERATURE REVIEW ON REGIONAL DIFFERENCES IN LANDSLIDE RISK IN TURKEY

ABSTRACT

Landslides are among the natural disasters that can cause serious loss of life and property, resulting from both natural causes and human activities. The aim of this study is to examine the literature on regional differences in landslide risk. In this context, relevant studies published between 1979 and 2025 and included in the Google Scholar, Web of Science, Scopus, Dergipark, and TR Dizin databases were utilized. The research was based on keywords such as "landslide risk," "landslide susceptibility analysis," and "regional differences." The findings show that landslide risk in Turkey varies regionally. These differences were found to be due to factors such as soil characteristics, slope, fault lines, tectonic activity, mining, groundwater saturation, unplanned urbanization, road construction, and improper land use.

Keywords: Landslide, Landslide Risk, Landslide Susceptibility Analysis, Regional Distribution

1.GİRİŞ

Heyelan bir yamaç 'ta bulunan toprak, kaya ve molozların mevcut yükseklikten su ve yağmur etkisi başta olmak üzere yerçekiminin etkisi ile aşağı doğru hareket eden kütlelerdir (Aydın ve Özer,2023). Heyelanların oluşumunda birçok etkenin rol oynadığı ifade edilebilir. Söz konusu faktörler hazırlayıcı ve tetikleyici faktörler olarak iki ana başlıkta toplanabilir. Hazırlayıcı faktörler içerisinde litoloji, eğim, zemin yapısının yanı sıra arazi kullanım şekli bulunmaktadır. Tetikleyici faktörlerin ise yoğun ve uzun süreli yağışlar, toprak hareketleri, sıcaklığın artmasıyla birlikte ani kar erimeleri ve beşerî faaliyetler olduğu söylenebilir (Varnes, 1978).

Heyelanların çeşitli olması ve mekânsal olarak değişkenlik göstermesinin belli başlı nedenleri vardır. Söz konusu nedenler topografik eğim seviyeleri, yer yapısı özellikleri, bölgenin iklimsel koşulları ve antropojenik etkinliklerin farkları ya da bir araya gelmesiyle oluşmaktadır (Okalp ve Akgün, 2016). Türkiye'de depremlerden sonra en fazla can ve mal kaybına neden olması nedeniyle kritik bir öneme sahip olan heyelanlara literatürde yoğun bir ilgi gösterilmiştir. Ülkemizde heyelanlarla ilgili yapılan çalışmalar birbirinden farklı birçok disiplinin yer aldığı geniş bir yelpazeden oluşmaktadır. Söz konusu çalışmalardan bir kısmı heyelanların genel özellikleri ile analitik ve modelleme ile ilgili olurken bir kısmı da mühendislik ve teknolojik yaklaşımları içermektedir. Heyelanların genel özellikleri üzerine yapılan çalışmalar nedenler, sonuçlar ve duyarlılık haritalarının oluşturulmasını içerirken teknolojik çalışmalar genellikle mühendislik tasarımları, heyelan duyarlılık analizleri, uzaktan algılama ve heyelan izleme odaklı incelemelerden oluşmaktadır (Aydın, Birincioğlu ve Büyüksaraç, 2022; Aydoğan ve Dağ, 2023). Bu çalışma daha spesifik bir parametre olarak Türkiye’de heyelan riski açısından bölgesel farklılıklar üzerine yapılan çalışmalar üzerine odaklanmaktadır.

2.Yöntem

Bu çalışma, heyelan oluşma riski açısından bölgesel farklılıkları ortaya çıkarmayı amaçlayan sistematik bir literatür incelemesi olarak tasarlanmıştır. Araştırma heyelan riski, heyelan duyarlılık analizi ve bölgesel farklılıklar gibi anahtar kavramlar kullanılarak Google Scholar, Web of Science, Scopus, Dergipark ve TR Dizin veri tabanları üzerinden gerçekleştirilmiştir. Seçilen araştırmaların tercih edilme kriterleri; çalışmaların 1979-2025 yılları arasında olması, Türkiye sınırları içerisinde gerçekleştirilmiş olması veya heyelan riskiyle ilgili doğrudan bilgi

içermesi, ve ülke genelinde bölgesel karşılaştırma yapmaya imkân sağlaması şeklinde belirlenmiştir.

3. Bulgular ve Sonuç

Bu çalışmanın amacı, heyelanların oluşum riski açısından bölgesel farklılıklarla ilgili literatürün incelenmesidir. Çalışma kapsamında incelenen literatür Türkiye’de Karadeniz, Marmara ve Doğu Anadolu bölgesini ön plana çıkarmaktadır. En fazla heyelan görülen bölgemiz olarak Karadeniz bölgesi öne çıkmaktadır (Nemli,2017). Özellikle Doğu Karadeniz bölümü eğim açısı, yükseklik, eğim yönü, arazi kullanımı, ayrışma derinliği, şiddetli yağış (Ercanoğlu vd., 2004; Akgün ve Bulut, 2007) ve volkanik ayrışmaya yatkın kayalar nedeniyle yüksek heyelan oluşma potansiyeli taşıdığı (Demir, 2018) görülmektedir.

Marmara Bölgesi’nde eğim değerleri Karadeniz Bölgesi kadar yüksek olmamasına rağmen, heyelan afetinin gerçekleşme ihtimali diğer bölgelere kıyasla oldukça yüksektir. Bölgedeki heyelan olaylarının, nüfus yoğunluğunun ve yerleşim alanlarının fazla olduğu noktalarda yoğunlaşması dikkat çekicidir. Bu durumun temelinde farklı zemin litolojileri yatsa da yerleşim birimlerinin zayıf zemin özellikleri taşıyan alanlarda kurulması, plansız kentleşme ve yol yapım çalışmaları heyelan duyarlılığını ciddi oranda artırdığını göstermektedir (Duman, Can ve Gökçeoğlu, 2005; Nefeslioglu vd., 2010). Doğu Anadolu Bölgesinde ise heyelanların sebepleri arasında fay hatları oldukça dikkat çekmektedir. Tektonik hareketliliğin doğu Anadolu bölgesinde fazla olması heyelan riskini arttıran önemli bir faktör olarak ileri sürülmektedir (Duman vd., 2005; Özdemir ve Altural, 2013).

İncelenen literatür değerlendirildiğinde Türkiye’de gerçekleşen heyelanların gerçekleşme riskinin homojen bir dağılım göstermediği; aksine bölgelerin özelliklerine bağlı olarak farklılıklar olduğunu ortaya koymaktadır. Diğer bir deyişle Türkiye’de heyelan oluşum riski; jeolojik yapı çeşitliliği, topografik farklılıklar, iklim özellikleri ve arazi kullanım biçimleri gibi etmenlere bağlı olarak bölgesel ölçekte önemli farklılıklar göstermektedir. Literatürde yer alan araştırmalar, özellikle yoğun ve sürekli olmayan yağış koşulları ile eğim değeri yüksek arazilerin heyelan riskini artırdığını ortaya koymaktadır. Ayrıca insan kaynaklı arazi kullanım müdahalelerinin de heyelan oluşumunda önemli bir etken olarak ön plana çıkmaktadır (Akgün ve Bulut, 2007; Ercanoğlu ve Gökçeoğlu, 2002).

KAYNAKÇA

Akgün, A., ve Bulut, F. (2007). *GIS-based landslide susceptibility for Arsin-Yomra (Trabzon, North Turkey) region. Environmental Geology, 51(8), 1377–1387.*

Aydın, M. C., Birincioğlu, E. S., & Büyüksaraç, A. (2022). Landslide susceptibility mapping in bitlis province using GIS-based AHP method. *Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi, 3(2), 160-171.*

- Aydın, S., & Özer, M. (2023). Heyelan Meydana Gelmiş Bir Parkta Göçme Mekanizmasının Araştırılması ve Heyelan Önleme Tedbirleri. *Duzce University Journal of Science and Technology*, 11(1), 319-341.
- Aydoğan, E., ve Dağ, S. (2023). İstatistiksel yöntemlerle Yukarı Karasu Havzası'nın kuzeydoğu bölümünün (Erzurum) heyelan duyarlılık analizi. *Türk Uzaktan Algılama ve CBS Dergisi*, 4(1), 64–82.
- Demir, V. (2018). Karadeniz Bölgesi Yağışlarının Trend Analizi. Yüksek Lisans Tezi. Ondokuzmayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Samsun.
- Duman, T. Y., Çan, T., Emre, Ö., Keçer, M., Doğan, A., Ateş, Ş., & Durmaz, S. (2005). Landslide inventory of northwestern Anatolia, Turkey. *Engineering geology*, 77(1-2), 99-114.
- Duman, T. Y., Can, T., Gokceoglu, C., & Nefeslioglu, H. A. (2005). Landslide susceptibility mapping of Cekmece area (Istanbul, Turkey) by conditional probability. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2(1), 155-208.
- Ercanoğlu, M., Gokceoglu, C., Van Asch, T.W.J., 2004. Landslide susceptibility zoning north of Yenice (NW Turkey) by multivariate statistical techniques. *Nat. Hazards* 32 (1), 1–23
- Ercanoğlu, M., ve Gökçeoğlu, C. (2002). *Assessment of landslide susceptibility for a landslide-prone area (north of Yenice, NW Turkey) by fuzzy approach. Environmental Geology*, 41(6), 720–730. <https://doi.org/10.1007/s00254-001-0454-2>
- Nefeslioglu, H. A., Sezer, E. , Gokceoglu, C., Bozkir, A. S., & Duman, T. Y. (2010). Assessment of landslide susceptibility by decision trees in the metropolitan area of Istanbul, Turkey. *Mathematical Problems in Engineering*, 2010(1), 901095.
- Nemli D., “Doğu Karadeniz Bölgesi’nde Yıllık Maksimum Yağışların Trend Analizi”, Yüksek Lisans Tezi (MSc), Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, (2017).
- Okalp, K., ve Akgün, A. (2016). Türkiye’de heyelanların mekânsal dağılımı ve risk faktörleri. *Jeoloji Mühendisliği Dergisi*, 40(2), 101–118.
- Özdemir, A., & Altural, T. (2013). A comparative study of frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods for landslide susceptibility mapping: Sultan Mountains, SW Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 64, 180–197.
- Varnes, D. J. (1978). Slope movement types and processes. Special report, 176, 11–33

GÖRME ENGELLİ BİREYLER İÇİN DİJİTAL ERİŞİLEBİLİRLİK: TASARIM SORUNLARI VE BÜTÜNCÜL ÇÖZÜM YAKLAŞIMLARI

Aynur AKAR

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
Maltepe, İSTANBUL

ORCID: 0000-0002-3271-6666

Buket DOĞAN

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi Bilgisayar Mühendisliği Bölümü Maltepe, İSTANBUL

ORCID: 0000-0003-1062-2439

ÖZET

Dijital teknolojiler, bilgiye erişim, iletişim ve kamu hizmetlerinden yararlanma açısından önemli fırsatlar sunmasına rağmen, bu olanaklar tüm kullanıcılar için eşit düzeyde erişilebilir değildir. Özellikle az gören ve görme engelli bireyler, dijital ortamlarda büyük ölçüde ekran okuyucu teknolojilerine bağımlı olup bu teknolojilerin etkinliği, arayüzlerin semantik, tutarlı ve erişilebilir biçimde tasarlanmasına doğrudan bağlıdır. Bu çalışma, web ve mobil uygulamalarda görme engelli kullanıcıların karşılaştığı temel erişilebilirlik sorunlarını analiz ederek uygulanabilir ve bütüncül bir tasarım çerçevesi sunmayı amaçlamaktadır. Erişilebilirlik problemlerinin çoğunlukla alternatif metin eksikliği, yetersiz ve anlamsız etiketleme, karmaşık ve doğrusal olmayan navigasyon yapıları, kullanıcıya yeterli geri bildirim sağlamayan dinamik içerikler ve mobil ortamlarda yaşanan etkileşim zorluklarından kaynaklandığı görülmektedir. Bu tür eksiklikler, kullanıcıların dijital sistemlerde bağımsız hareket edebilmesini zorlaştırmakta, görev tamamlama süreçlerini uzatmakta ve genel kullanıcı deneyimini olumsuz yönde etkilemektedir. Ayrıca görsel ağırlıklı tasarım anlayışı ve içerik yoğunluğu, ekran okuyucu kullanan bireyler için bilişsel yükü artırarak bilgiye erişimi daha da güçleştirmektedir.

Çalışmada, bu problemlerin temelinde teknik yetersizliklerden ziyade erişilebilirliğin tasarım sürecine yeterince entegre edilmemesinin yer aldığı vurgulanmaktadır. Bu doğrultuda, dijital erişilebilirliğin alternatif içerik sunumu, semantik yapılandırma ve erişilebilir etkileşim özellikleri ile ele alınması önerilmektedir. Bu bileşenler, içeriğin anlamlı biçimde sunulmasını, ekran okuyucu teknolojileriyle uyumlu hale getirilmesini ve kullanıcı etkileşimlerinin kesintisiz şekilde gerçekleştirilebilmesini sağlamaktadır. Sonuç olarak, erişilebilirlik yalnızca teknik bir uyum gerekliliği değil, aynı zamanda kapsayıcı, sürdürülebilir ve kullanıcı merkezli dijital sistemlerin geliştirilmesi için temel bir tasarım yaklaşımıdır. Bu yaklaşımın benimsenmesi, yalnızca görme engelli bireylerin değil, tüm kullanıcıların daha etkin ve eşit bir dijital deneyim yaşamasına katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Dijital Erişilebilirlik, Görme Engelliler, Erişilebilir Arayüz Tasarımı

DIGITAL ACCESSIBILITY FOR VISUALLY IMPAIRED INDIVIDUALS: DESIGN CHALLENGES AND HOLISTIC SOLUTION APPROACHES

ABSTRACT

Although digital technologies provide significant opportunities in terms of access to information, communication, and the use of public services, these opportunities are not equally accessible to all users. In particular, individuals with low vision or blindness rely heavily on screen reader technologies in digital environments, and the effectiveness of these technologies depends directly on interfaces being designed in a semantic, consistent, and accessible manner. This study aims to analyze the main accessibility challenges faced by visually impaired users in web and mobile applications and to propose an applicable and holistic design framework. The findings indicate that accessibility problems primarily stem from the lack of alternative text, insufficient and ambiguous labeling, complex and non-linear navigation structures, dynamic content that does not provide adequate user feedback, and interaction difficulties in mobile environments. Such deficiencies hinder users' ability to navigate digital systems independently, prolong task completion processes, and negatively affect overall user experience. Furthermore, visually dominant design approaches and high content density increase cognitive load for screen reader users, making access to information even more difficult. The study emphasizes that these problems arise not so much from technological limitations, but from the insufficient integration of accessibility into the design process. Accordingly, it is proposed that digital accessibility should be addressed through three core components: alternative content provision, semantic structuring, and accessible interaction design. These components ensure that content is meaningfully presented, compatible with screen reader technologies, and that user interactions can be performed seamlessly. In conclusion, accessibility is not merely a technical compliance requirement but a fundamental design approach for developing inclusive, sustainable, and user-centered digital systems. Adopting this approach will contribute to a more effective and equitable digital experience not only for visually impaired individuals but for all users.

Keywords: Digital Accessibility, Visually Impaired Individuals, Accessible Interface

1. GİRİŞ

Dijital teknolojilerin son yıllarda hızla gelişmesi, bilgiye erişim, iletişim ve hizmet sunum süreçlerinde köklü dönüşümler yaratmış ve bireylerin günlük yaşamlarını önemli ölçüde yeniden şekillendirmiştir. Ancak bu dönüşüm, tüm kullanıcı grupları için eşit düzeyde gerçekleşmemektedir. Özellikle görme engelli bireyler açısından dijitalleşme süreci hem

önemli fırsatlar hem de ciddi erişim sorunlarını beraberinde getirmektedir (Kerdar ve ark., 2024). Dijital ortamların giderek daha fazla görsel içerik odaklı hale gelmesi, bu bireylerin bilgiye erişimini zorlaştırmakta ve dijital eşitsizlikleri derinleştirmektedir.

Dünya Sağlık Örgütü verilerine göre dünya genelinde milyarlarca insan farklı seviyelerde görme bozukluğu yaşamaktadır ve bu bireylerin önemli bir kısmı dijital içeriklere erişimde zorluklarla karşılaşmaktadır (Bakır, 2024). Bu durum, dijital erişilebilirliğin yalnızca teknik bir konu olmadığını, aynı zamanda sosyal adalet, eşitlik ve insan hakları bağlamında değerlendirilmesi gereken kritik bir alan olduğunu ortaya koymaktadır. Nitekim dijital erişim, günümüzde eğitim, sağlık, istihdam ve sosyal katılım gibi temel yaşam alanlarının ayrılmaz bir parçası haline gelmiştir (Khasawneh, 2024).

Görme engelli bireyler için dijital erişilebilirlik, yalnızca içeriklere ulaşabilme değil, aynı zamanda bu içerikleri anlamlandırabilme, etkileşim kurabilme ve bağımsız şekilde kullanabilme anlamına gelmektedir. Ancak mevcut dijital sistemlerin büyük çoğunluğu görsel odaklı tasarım anlayışıyla geliştirildiği için bu bireylerin ihtiyaçları çoğu zaman göz ardı edilmektedir (Henni ve ark., 2022). Bu durum, erişilebilirlik standartlarının varlığına rağmen uygulamada ciddi eksikliklerin olduğunu göstermektedir.

Özellikle sosyal medya platformları, e-ticaret siteleri ve eğitim sistemleri gibi yoğun kullanılan dijital ortamlarda erişilebilirlik sorunları daha belirgin hale gelmektedir. Yapılan çalışmalar, sosyal medya içeriklerinin önemli bir kısmının görme engelli kullanıcılar için erişim engelleri oluşturduğunu ortaya koymaktadır (Sharma ve ark., 2024). Bu bulgular, dijital içerik üretiminde erişilebilirliğin sistematik bir şekilde göz ardı edildiğini göstermektedir.

Bununla birlikte dijital erişilebilirlik, yalnızca teknik standartların uygulanmasıyla sınırlı değildir. Botelho (2021), erişilebilirliği “donanım, yazılım, içerik ve kullanıcı eğitiminin birlikte çalıştığı dinamik bir süreç” olarak tanımlamakta ve bu sürecin süreklilik gerektirdiğini vurgulamaktadır. Bu yaklaşım, erişilebilirliğin yalnızca bir özellik değil, tasarım sürecinin temel bir bileşeni olması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Bu çalışmanın amacı, görme engelli bireyler için dijital erişilebilirlik alanında karşılaşılan temel sorunları literatür ışığında analiz etmek ve bu sorunlara yönelik bütüncül çözüm yaklaşımları geliştirmektir. Bu kapsamda çalışma, erişilebilirlik problemlerini yalnızca teknik boyutta değil, aynı zamanda kullanıcı deneyimi, tasarım süreçleri ve sistem yaklaşımı açısından ele alarak literatüre katkı sağlamayı hedeflemektedir.

2. İLGİLİ ÇALIŞMALAR

Dijital erişilebilirlik alanındaki literatür incelendiğinde, bu kavramın çok boyutlu bir yapı içerdiği ve yalnızca teknik standartlarla sınırlı olmadığı görülmektedir. Dijital erişilebilirlik, bireylerin dijital teknolojileri herhangi bir engelle karşılaşmadan kullanabilmesini ifade ederken, aynı zamanda kullanılabilirlik, kullanıcı deneyimi ve etkileşim kalitesi gibi unsurları da kapsamaktadır (Bakır, 2024). Bu bağlamda erişilebilirlik, yalnızca erişim değil, etkili kullanım ve anlamlandırma süreçlerini de içeren geniş bir kavramdır.

Literatürde en yaygın kabul gören erişilebilirlik çerçevesi, WCAG (Web Content Accessibility Guidelines) olarak bilinmektedir. WCAG, erişilebilirliği algılanabilirlik, işletilebilirlik, anlaşılabilirlik ve sağlamlık (POUR) ilkeleri üzerinden tanımlamaktadır (Kerdar ve ark., 2024). Bu prensipler (POUR), modern erişilebilirlik çalışmalarının teorik temelini oluşturmaktadır (W3C, 2023; 2025).

Bu ilkeler, dijital içeriklerin farklı kullanıcı grupları tarafından erişilebilir ve kullanılabilir olmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Ancak yapılan çalışmalar, bu standartların uygulamada yeterince dikkate alınmadığını göstermektedir.

Özellikle görme engelli kullanıcıların deneyimleri üzerine yapılan çalışmalar, erişilebilirlik sorunlarının büyük ölçüde tasarım süreçlerinden kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Kerdar ve arkadaşlarının (2024) gerçekleştirdiği kapsamlı incelemede, birçok dijital sistemin görsel kullanıcılar için tasarlandığı ve alternatif erişim yöntemlerinin yeterince sunulmadığı belirtilmiştir. Bu durum, erişilebilirlik problemlerinin teknik eksikliklerden ziyade tasarım yaklaşımındaki eksikliklerden kaynaklandığını göstermektedir.

Kullanıcı deneyimi perspektifinden bakıldığında, erişilebilirlik ile kullanılabilirlik arasında güçlü bir ilişki olduğu görülmektedir. Khasawneh (2024), erişilebilirlik özelliklerinin kullanıcı deneyimini doğrudan etkilediğini ve erişilebilir sistemlerin daha yüksek kullanıcı memnuniyeti sağladığını ortaya koymaktadır. Bu bulgu, erişilebilirliğin yalnızca özel kullanıcı grupları için değil, tüm kullanıcılar için önemli olduğunu göstermektedir.

Yardımcı teknolojiler alanında yapılan çalışmalar, akıllı telefonların görme engelli bireyler için önemli bir fırsat sunduğunu ortaya koymaktadır. Senjam ve arkadaşları (2021), akıllı telefonların ekran okuyucu, sesli komut ve dokunsal geri bildirim gibi özellikleri sayesinde bağımsız yaşamı desteklediğini belirtmektedir. Ancak aynı çalışmada, bu teknolojilerin etkin kullanımının kullanıcı eğitimi ve farkındalık düzeyi ile doğrudan ilişkili olduğu vurgulanmaktadır.

Öte yandan literatür, erişilebilirlik sorunlarının yalnızca bireysel deneyimlerle sınırlı olmadığını, aynı zamanda sistematik ve yapısal bir problem olduğunu göstermektedir. Botelho (2021), erişilebilirliğin sürekli değişen teknolojik süreçlerle birlikte ele alınması gerektiğini ve bu sürecin dinamik bir yapı içerdiğini ifade etmektedir. Bu yaklaşım, erişilebilirliğin statik bir hedef değil, sürekli geliştirilmesi gereken bir süreç olduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, dijital erişilebilirlik alanında önemli ilerlemeler kaydedilmiş olmasına rağmen, uygulamada ciddi eksikliklerin devam ettiği görülmektedir. Bu durum, erişilebilirliğin yalnızca teknik bir gereklilik değil, aynı zamanda tasarım, politika ve kullanıcı katılımı gerektiren bütüncül bir alan olduğunu ortaya koymaktadır.

3. STANDARTLAR VE GÜNCEL YAKLAŞIMLAR

Dijital erişilebilirlik alanında standartlar, farklı engel gruplarına sahip bireylerin dijital sistemlere eşit, bağımsız ve etkin erişimini sağlamak amacıyla geliştirilmiş temel çerçeveleri ifade etmektedir. Bu standartlar, yazılım geliştiriciler, arayüz tasarımcıları ve kurumlar için yalnızca teknik bir rehber sunmakla kalmayıp, aynı zamanda kullanıcı deneyimini sistematik olarak iyileştirmeye yönelik bir yaklaşım ortaya koymaktadır. Ancak günümüzde erişilebilirlik, yalnızca standartlara uyum sağlama meselesi olmaktan çıkmış; kullanıcı merkezli, bağlamsal ve teknoloji destekli yaklaşımlarla birlikte ele alınması gereken çok boyutlu bir alan haline gelmiştir (Vollenwyder ve diğerleri, 2023).

Dijital erişilebilirlik alanında en yaygın kabul gören standart, W3C (World Wide Web Consortium) tarafından geliştirilen WCAG (Web Content Accessibility) dir. W3C (2023,2025), web standartlarını belirleyen uluslararası bir organizasyon olup, WCAG ise web içeriklerinin engelli bireyler tarafından erişilebilir olmasını sağlamak amacıyla geliştirilmiş rehber niteliğinde bir standartlar bütünüdür. WCAG 2.1 standartları, erişilebilirliği dört temel ilke üzerine inşa etmektedir: algılanabilirlik (perceivable), işletilebilirlik (operable), anlaşılabilirlik (understandable) ve sağlamlık (robust). Bu ilkeler, görme engelli bireylerin dijital içerikleri algılayabilmesini, sistem içerisinde etkin şekilde gezinmesini, içerikleri anlayabilmesini ve farklı yardımcı teknolojilerle uyumlu bir deneyim yaşayabilmesini hedeflemektedir (Alajarmeh, 2022).

Algılanabilirlik (Perceivable) ilkesi, kullanıcıların içerikleri farklı duyuşsal kanallar aracılığıyla algılayabilmesini gerektirir. Özellikle görme engelli bireyler için metin alternatifleri (alt-text), sesli betimleme ve ekran okuyucu uyumluluğu temel gereklilikler arasında yer almaktadır (W3C, 2023).

Örneğin bir e-ticaret sitesinde ürün görsellerinin yalnızca görsel olarak sunulması yerine açıklayıcı alternatif metinlerle desteklenmesi, ekran okuyucu kullanan bireylerin içeriği

anlamasını sağlar. Benzer şekilde video içeriklerde sesli betimleme kullanılması, görsel bilginin işitsel olarak aktarılmasını mümkün kılar. Ancak yapılan çalışmalar, birçok web sitesinde bu tür açıklamaların eksik olduğunu ve bunun kullanıcı deneyimini olumsuz etkilediğini göstermektedir (Vollenwyder ve diğerleri, 2023).

Bu ilke kapsamında içerik yalnızca görsel formatta sunulmamalı, alternatif duyuşsal kanallar aracılığıyla da erişilebilir hale getirilmelidir. Metin alternatifleri görsel içeriklerin anlamını kullanıcıya aktararak bilgi kaybını önler. Kalbag (2017), alternatif metinlerin yalnızca nesneyi tanımlamakla kalmayıp bağlamsal anlamı da iletmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Benzer şekilde, zaman tabanlı medya içerikleri için altyazı ve sesli betimleme sağlanması, erişilebilirliğin çok modlu (multimodal) bir yapıya kavuşturulmasını sağlamaktadır (Lazar ve ark., 2015).

Ayrıca kontrast oranı, renk kullanımı ve içerik hiyerarşisi gibi unsurlar, düşük görme yeteneğine sahip kullanıcılar için kritik öneme sahiptir. WCAG 2.2, bu unsurları genişleterek metin dışı bileşenlerin de erişilebilirliğini zorunlu hale getirmiştir (W3C, 2023).

İşletilebilirlik (Operable) ilkesi, kullanıcıların sistemle etkileşim kurabilmesini garanti altına alır. Bu kapsamda tüm işlevlerin klavye ile erişilebilir olması, odak (focus) kontrolünün kaybedilmemesi ve zaman kısıtlarının kullanıcıya göre ayarlanabilmesi önemlidir. Özellikle web formlarında bu ilkenin ihlal edilmesi, kullanıcıların işlem süreçlerini tamamlayamamasına neden olmaktadır. Hakami ve Al-Aama (2023), erişilebilir form tasarımlarının kullanıcı performansını önemli ölçüde artırdığını ortaya koymuştur.

Anlaşılabilirlik (Understandable) ilkesi, içeriklerin ve arayüzlerin kullanıcı tarafından kolayca kavranabilir olmasını ifade eder. Tutarlı navigasyon yapıları, açık dil kullanımı ve doğru hata mesajları bu kapsamda değerlendirilmektedir. Karmaşık arayüzler, görme engelli bireylerde bilişsel yükü artırarak kullanıcı performansını düşürmektedir (Kim ve diğerleri, 2016).

Sağlamlık (Robust) ilkesi ise içeriklerin farklı cihazlar ve yardımcı teknolojilerle uyumlu çalışmasını ifade eder. Bu bağlamda ARIA (Accessible Rich Internet Applications Erişilebilir) etiketleri önemli bir rol oynamaktadır. ARIA, özellikle dinamik web içeriklerinin ekran okuyucular tarafından doğru şekilde yorumlanmasını sağlayan teknik bir belirtimdir. Örneğin bir açılır menünün ARIA etiketleri ile tanımlanması, ekran okuyucu kullanıcılarının bu yapıyı doğru şekilde algılamasını sağlar. Ancak birçok sistemde bu tür teknik gerekliliklerin yeterince uygulanmadığı görülmektedir.

Lazar ve ark. (2015), yardımcı teknolojileri yalnızca araçlar değil, bireylerin bağımsızlığını sağlayan stratejik sistemler olarak tanımlamaktadır. Bu nedenle sağlamlık ilkesi,

erişilebilirliğin sürdürülebilirliğini belirleyen en kritik faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir

Bununla birlikte, WCAG standartlarının tüm erişilebilirlik problemlerini çözmede yeterli olmadığı literatürde vurgulanmaktadır. Özellikle mobil platformlarda farklı etkileşim biçimleri (dokunma, kaydırma, sesli komutlar) nedeniyle erişilebilirlik gereksinimleri çeşitlenmektedir. Alajarmeh (2022), WCAG 2.1 standartlarının mobil erişilebilirlik açısından önemli bir temel sunduğunu, ancak tüm kullanıcı ihtiyaçlarını kapsamada sınırlı kaldığını belirtmektedir.

Son yıllarda erişilebilirlik alanında ortaya çıkan önemli yaklaşımlardan biri Kullanıcı Merkezli Tasarım (User-Centered Design) yaklaşımıdır. Bu yaklaşım, sistemlerin gerçek kullanıcı ihtiyaçlarına göre tasarlanmasını ve kullanıcıların tasarım sürecine aktif olarak dâhil edilmesini öngörmektedir. Örneğin bir mobil uygulamanın geliştirilmesi sürecinde görme engelli bireylerin erken aşamada testlere dâhil edilmesi, erişilebilirlik sorunlarının erken tespit edilmesini sağlar. Araştırmalar, kullanıcı katılımı olmadan geliştirilen sistemlerin erişilebilirlik açısından yetersiz kaldığını göstermektedir (Vollenwyder ve diğerleri, 2023).

4. DİJİTAL ERİŞİLEBİLİRLİK İÇİN BÜTÜNSEL TASARIM ÖNERİLERİ

Bu çalışma kapsamında dijital erişilebilirlik, W3C tarafından tanımlanan WCAG ilkeleri doğrultusunda üç temel bileşen üzerinden bütüncül olarak değerlendirilmektedir. Bu ilkelerin kapsadığı (i) alternatif içerik sunumu, (ii) semantik yapılandırma ve (iii) erişilebilir etkileşim tasarımı bileşenlerinin tamamı birlikte alınmalıdır. Bu üç bileşen, POUR modeli ile doğrudan ilişkilidir ve birlikte ele alındığında erişilebilirliğin sürdürülebilir şekilde sağlanmasına olanak tanımaktadır (W3C, 2023).

4.1. Alternatif İçerik Sunumu: Bilgiye Eşit Erişim

Görme engelli bireyler açısından en kritik gereksinim, içeriğin algılanabilir olmasıdır. Ancak günümüzde dijital içeriklerin büyük bölümü görsel ağırlıklı olarak tasarlanmakta ve alternatif erişim yolları yeterince sağlanmamaktadır. Bu durum, bilgiye erişimde doğrudan kayıplara yol açmakta ve kullanıcıların sistemle etkileşim kurmasını engellemektedir (Sharma ve ark., 2024).

Bu probleme yönelik en etkili yaklaşım, içeriğin çok modlu (multimodal) olarak sunulmasıdır. Bu kapsamda uygulanabilir çözümler şunlardır:

- Görseller için anlam odaklı alternatif metinler (alt-text),
- Grafikler için detaylı açıklamalar veya veri tabloları ,
- Videolar için altyazı ve sesli betimleme ,
- İkon ve butonlar için anlamlı metinsel karşılıklar

Örneğin ; `` şeklinde bir kullanım, görsel içeriğin yalnızca varlığını değil, aynı zamanda **işlevini ve bağlamsal anlamını** da kullanıcıya aktarır. Bu sayede ekran okuyucu kullanan bir birey, görselde ne olduğunu yalnızca yüzeysel olarak değil, kullanım amacıyla birlikte anlayabilir. Örneğin e-ticaret bağlamında verilen bu açıklama, kullanıcının ürün hakkında karar vermesine doğrudan katkı sağlamaktadır. Buna karşılık yalnızca “ayakkabı” gibi genel bir ifade kullanılması, bilginin eksik aktarılmasına ve kullanıcı deneyiminin zayıflamasına neden olacaktır.

Son yıllarda yapay zekâ destekli otomatik açıklama sistemleri (AI captioning) önemli bir çözüm olarak öne çıkmaktadır; ancak literatürde bu sistemlerin tek başına yeterli olmadığı ve insan denetimi ile desteklenmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Kerdar ve ark., 2024).

4. 2. Semantik Yapılandırma: İçeriğin Anlaşılabilirliği

Semantik yapılandırma, dijital içeriğin yalnızca görsel sunumuna değil, aynı zamanda içerdiği bilginin anlamlı ve yapılandırılmış bir biçimde ifade edilmesine odaklanan temel bir erişilebilirlik ilkesidir. Görme engelli bireyler, dijital içerikleri çoğunlukla ekran okuyucu teknolojileri aracılığıyla lineer (doğrusal) olarak deneyimledikleri için, içerik yapısının semantik olarak doğru tanımlanması erişilebilirlik açısından kritik bir rol oynamaktadır (Lazar ve ark., 2015). Bu bağlamda semantik yapılandırma, kullanıcıların içerikte gezinmesini, anlamlandırmasını ve bilişsel olarak organize etmesini sağlayan temel bir mekanizma olarak değerlendirilmektedir.

Literatürde semantik yapılandırma ile ilgili en yaygın sorunlar, genellikle geliştiricilerin görsel tasarım odaklı yaklaşım benimsemelerinden kaynaklanmaktadır. Bu sorunların en önemlileri şunlardır:

Yanlış başlık hiyerarşisi: Başlıkların mantıksal sıraya göre kullanılmaması (örneğin h1’den doğrudan h4’e geçiş) kullanıcıların içerik yapısını anlamasını zorlaştırır.

Anlamsız etiketleme: “Tıkla”, “buraya bas” gibi bağlamdan bağımsız ifadeler, ekran okuyucu kullanıcıları için anlamsızdır.

Eksik form etiketleri: Form alanlarının `<label>` ile ilişkilendirilmemesi, kullanıcıların hangi bilgiyi girmesi gerektiğini anlamasını engeller.

Semantik olmayan yapı: İçeriğin `<div>` ve `<span>` gibi genel etiketlerle yapılandırılması, ekran okuyucuların içeriği doğru yorumlayamamasına neden olur.

Bu problemlerin temel nedeni, semantik yapılandırmanın çoğu zaman tasarım sürecinde ikinci planda kalmasıdır. Oysa semantik yapı, erişilebilirliğin “anlaşılabilirlik (Understandable)” ve “sağlamlık (Robust)” ilkeleri ile doğrudan ilişkilidir (W3C, 2023).

Semantik HTML Kullanımı: HTML5 ile gelen semantik etiketler, içeriğin anlamını açıkça tanımlar. Bu yapı sayesinde ekran okuyucu kullanıcıları doğrudan “ana içerik”, “navigasyon” veya “bölüm başlıkları” arasında geçiş yapabilir. Bu da navigasyonu hızlandırır ve bilişsel yükü azaltır. Şekil 1’de bu yapıya uygun başlık yapılandırılması görülmektedir.

```
</> HTML

<header>
  <h1>E-Ticaret Sitesi</h1>
</header>

<main>
  <section>
    <h2>Ürünler</h2>
  </section>
</main>
```

Şekil 1 Örnek Başlık yapısı

Form Alanlarının Etiketlenmesi: Ekran okuyucu kullanıcıları, input alanına geldiğinde “E-posta, düzenlenebilir alan” şeklinde bilgi alır. Etiket olmaması durumunda kullanıcı alanın ne amaçla kullanıldığını anlayamaz. Şekil 2’de doğru form kullanımı görülmektedir.

Görsel ikonlar tek başına anlam taşımaz. aria-label kullanımı ile bu bileşenin işlevi kullanıcıya açık şekilde iletilir.

```
<label for="email">E-posta</label>
<input id="email" type="email">
```

```
<button aria-label="Sepete ekle">🛒</button>
```

Şekil 2. Örnek Form Kullanımı

Doğru başlık yapısı, kullanıcıların sayfa içeriğini zihinsel olarak haritalamasını sağlar.

4.3. Erişilebilir Etkileşim Tasarımı: Bağımsız Kullanım

Erişilebilir etkileşim tasarımı, kullanıcıların dijital sistemlerle bağımsız, kesintisiz ve etkin bir şekilde etkileşim kurabilmesini sağlayan tasarım yaklaşımlarını ifade eder. Görme engelli

bireyler çoğunlukla ekran okuyucu ve klavye kombinasyonu kullandıkları için, etkileşim tasarımının bu kullanım biçimine uygun olması gerekmektedir (Kerdar ve ark., 2024).

Literatürde bu alandaki en yaygın sorunlar şunlardır:

- Klavye ile erişilemeyen bileşenler,
- Odak (focus) sırasının bozuk olması
- Dinamik içeriklerin kullanıcıya bildirilmemesi,
- Yetersiz veya belirsiz geri bildirimler

Tüm etkileşimler yalnızca fare kullanımı ile değil, klavye ile de yapılabilmelidir. Görme engelli kullanıcılar için bu temel gerekliliktir. Tab tuşu ile gezinirken odak sırası karmaşık olabilir. Mantıklı tab sırası ve görünür odak göstergesi olmalı ve kullanıcı sayfanın hangi kısmında olduğunu her zaman bilmelidir.

4.4. Kullanıcı Arayüzü Tasarımında Erişilebilirlik

Renk ve Kontrast Temelli Tasarım : Az gören kullanıcılar için en kritik faktörlerden biri, metin ile arka plan arasındaki kontrastın yeterli düzeyde olmasıdır. Düşük kontrastlı tasarımlar, içeriğin okunabilirliğini ciddi ölçüde azaltmakta ve kullanıcıların bilgiye erişimini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle kullanıcı arayüzlerinde yüksek kontrastlı renk kombinasyonlarının tercih edilmesi gerekmektedir. Ayrıca bilgi aktarımında yalnızca renge dayalı tasarım kararlarından kaçınılmalı, renk ile birlikte metinsel veya simgesel destekleyici unsurlar kullanılmalıdır (Alajarmeh, 2022).

Uygulanabilir yaklaşım:

- Siyah-beyaz veya koyu-açık kontrastı güçlü kombinasyonlar,
- Karanlık mod ve yüksek kontrast mod seçenekleri,
- Hata mesajlarında ikon + metin + renk öğelerinin birlikte kullanımı

Tipografi ve Metin Boyutu Yönetimi: Metin boyutu ve tipografi, az gören bireylerin içerik algısını doğrudan etkileyen temel unsurlardır. Sabit piksel tabanlı metin boyutları, kullanıcıların içeriği ihtiyaçlarına göre uyarlamasını engellemektedir. Bu nedenle metinler ölçeklenebilir birimlerle tanımlanmalı ve kullanıcıların metin boyutunu artırmasına olanak tanınmalıdır.

4.5. Kamusal Alanda Dijital Erişilebilirlik

Özellikle kamusal hizmet sunan dijital platformlarda (bankacılık sistemleri, e-devlet uygulamaları, sağlık bilgi sistemleri ve vergi dairelerine ait çevrimiçi hizmetler gibi) erişilebilirlik eksiklikleri, bireylerin temel hizmetlere erişimini doğrudan etkileyen kritik bir sorun alanı olarak ortaya çıkmaktadır. Dijital teknolojilerin günlük yaşamın ayrılmaz bir

parçası haline gelmesiyle birlikte, bu sistemlere erişememek yalnızca teknik bir problem değil, aynı zamanda sosyal katılımın sınırlanmasına yol açan yapısal bir eşitsizlik olarak değerlendirilmektedir. Nitekim güncel çalışmalar, dijital erişilebilirliğin sosyal katılım, ekonomik fırsatlar ve temel hizmetlere erişim açısından kritik bir rol oynadığını ortaya koymaktadır (Ha & Kim, 2026)

Kamusal sistemler üzerinde yapılan değerlendirmeler, erişilebilirlik sorunlarının yalnızca teknik eksikliklerden değil, aynı zamanda kurumsal farkındalık eksikliği, standartların yetersiz uygulanması ve erişilebilirlik süreçlerinin sistematik olarak yönetilmemesinden kaynaklandığını ortaya koymaktadır. Özellikle form tabanlı işlemlerin yoğun olduğu vergi, sağlık ve bankacılık sistemlerinde; hatalı etiketleme, karmaşık navigasyon yapıları, düşük kontrast ve dinamik içeriklerin kullanıcıya yeterince bildirilmemesi gibi problemler, görme engelli bireylerin bu hizmetleri bağımsız şekilde kullanmasını zorlaştırmaktadır. Kamuya ait web sitelerinde yapılan geniş ölçekli analizler, erişilebilirlik hatalarının büyük çoğunluğunun temel kullanıcı arayüzü ve etkileşim tasarımı hatalarından kaynaklandığını göstermektedir (Government Digital Service [GDS], 2024).

Önemli bir diğer problem ise kamusal sistemlerde kişiselleştirilebilir erişilebilirlik altyapılarının yetersizliğidir. Kullanıcıların kontrast, metin boyutu, ekran okuyucu uyumu veya navigasyon tercihlerini sistem genelinde saklayamaması, her platformda yeniden uyum sağlama gerekliliği doğurarak kullanıcı deneyimini olumsuz etkilemektedir. Oysa literatürde erişilebilirliğin yalnızca erişim değil, aynı zamanda etkili kullanım ve kullanıcı memnuniyeti ile ilişkili olduğu vurgulanmaktadır (Giraud ve ark., 2018; Ha & Kim, 2026)

Bu kapsamda, kamusal dijital sistemlerde standart semantik yapı ve doğru etiketleme zorunluluğu olması, klavye erişimi ve odak yönetiminin eksiksiz sağlanması, kullanıcı tercihlerini saklayan kişiselleştirilebilir erişilebilirlik profilleri, yüksek kontrast ve ölçeklenebilir metin desteği gibi teknik olarak düşük maliyetli erişilebilirlik özellikleri buna ihtiyaç duyan kullanıcılar üzerinde yüksek etki yaratmaktadır. Ayrıca bu çözümler, erişilebilirliği yalnızca engelli bireyler için değil, tüm kullanıcılar için daha iyi bir kullanıcı deneyimi sağlayan bir tasarım ilkesi haline getirmektedir.

Sonuç olarak, kamusal dijital hizmetlerde erişilebilirliğin geliştirilmesi, yalnızca teknik bir iyileştirme süreci değil; aynı zamanda dijital kapsayıcılık, sosyal adalet ve eşit hizmet sunumu açısından kritik bir gerekliliktir (Ha & Kim, 2026).

5. BÜTÜNCÜL MODEL YAKLAŞIMI KATMANLARI

Bu çalışma kapsamında Tablo 1’de önerilen katmanlı bütüncül model, dijital erişilebilirliği yalnızca teknik bir uygunluk meselesi olarak değil, kullanıcı deneyimi ve sistem tasarımı ile

entegre bir mühendislik problemi olarak ele almaktadır. Modelin ilk katmanı olan **algı (perception)** düzeyi, kullanıcıların dijital içeriği algılayabilmesini hedeflemekte olup, özellikle görme engelli bireyler için alternatif içerik sunumunu temel almaktadır. Bu bağlamda alt metinler (alt-text), açıklayıcı başlıklar (captions) ve sesli betimlemeler, bilginin farklı duyuşsal kanallar aracılığıyla erişilebilir hale getirilmesini sağlamaktadır. Bu yaklaşım, WCAG’in “algılanabilirlik (Perceivable)” ilkesi ile doğrudan örtüşmektedir (W3C, 2023).

Tablo 1. Önerilen Erişilebilirlik Katmanları

Katman	Bileşen	Açıklama	Teknik Karşılık	Yaygın Sorun	Önerilen Çözüm
Algı	Alternatif içerik	İçeriğin farklı duyularla algılanması	alt (alternatif metin), longdesc (uzun açıklama), <figure>/<figcaption> (görsel açıklama), aria-label, , sesli betimleme (audio description), metin dökümü (transcript),	Görseller açıklamasız	Bağlamsal alt-text, AI + insan doğrulama
Anlam	Semantik yapı	İçeriğin anlamlı organizasyonu	HTML5 semantik etiketler (header, nav, main, section, article), başlık yapısı (h1-h6), <label>, <fieldset>, <legend>, ARIA roller (role="navigation"), landmark bölgeler	yanlış başlık, etiketsiz form	hiyerarşik başlık, label, ARIA
Etkileşim	Kullanıcı deneyimi	Sistemin bağımsız kullanılabilirliği	klavye navigasyonu (tabindex, accesskey), odak yönetimi (:focus, JavaScript ile odak kontrolü), ARIA canlı bölgeler (aria-live, aria-atomic)	klavye yok, odak hatalı	klavye erişimi, focus yönetimi
Görsel Erişim	Renk & tipografi	Az gören kullanıcılar için okunabilirlik	CSS kontrast ayarları (color, background), ölçeklenebilir yazı (rem, em), satır aralığı (line-height), harf aralığı (letter-spacing), duyarlı tipografi (responsive typography)	düşük kontrast, küçük yazı	yüksek kontrast, ölçeklenebilir metin

Modelin ikinci katmanı olan anlam (semantic comprehension) düzeyi, içeriğin yalnızca erişilebilir değil, aynı zamanda anlamlandırılabilir olmasını hedeflemektedir. Semantik HTML kullanımı, başlık hiyerarşisi ve doğru etiketleme gibi teknikler, ekran okuyucu teknolojilerinin içeriği doğru yorumlamasını mümkün kılmaktadır. Bu katman, WCAG’in “anlaşılabilirlik (Understandable)” ve “sağlamlık (Robust)” ilkeleriyle ilişkilidir ve kullanıcıların içerik üzerinde zihinsel bir model oluşturmalarını desteklemektedir.

Üçüncü katman olan **etkileşim (interaction)** düzeyi ise kullanıcıların sistemle bağımsız ve etkin bir şekilde etkileşim kurabilmesini amaçlamaktadır. Klavye erişimi, odak yönetimi ve ARIA tabanlı dinamik içerik bildirimleri, bu katmanın temel teknik bileşenlerini oluşturmaktadır. Bu yapı, WCAG’in “işletilebilirlik (Operable)” ilkesine karşılık gelmektedir. Bütüncül modele eklenen **görsel erişim (visual accessibility)** katmanı, özellikle az gören bireylerin dijital içeriklerle etkileşimini iyileştirmeyi hedeflemektedir. Bu katman, içeriğin

yalnızca teknik olarak erişilebilir olmasının ötesinde, görsel olarak okunabilir ve ayırt edilebilir olmasını temel almaktadır. Renk kontrastı, metin boyutu, tipografi seçimi ve görsel yoğunluk gibi unsurlar, bu düzeyin temel bileşenlerini oluşturmaktadır. Az gören kullanıcılar genellikle ekran büyütme, yüksek kontrast veya renk filtreleme gibi yöntemlerle dijital sistemleri kullandıkları için, arayüzlerin bu tür uyarlamalara izin verecek esneklikte tasarlanması gerekmektedir. Bu bağlamda yüksek kontrastlı renk paletleri, ölçeklenebilir metin yapıları ve sadeleştirilmiş arayüzler, görsel erişim katmanının temel teknik karşılıkları olarak öne çıkmaktadır. Bu katman, erişilebilirliği yalnızca ekran okuyucu kullanıcıları ile sınırlı tutmayarak, görme düzeyi farklılıklarını da kapsayan daha geniş bir kullanıcı kitlesine hitap etmektedir.

Bütüncül model yaklaşımının önemli bir diğer boyutu, erişilebilirliğin yalnızca teknik bileşenler üzerinden değil, aynı zamanda **tasarım süreci, kullanıcı katılımı ve sistem yaşam döngüsü** ile birlikte ele alınması gerekliliğidir. Bu bağlamda erişilebilirlik, yazılım geliştirme süreçlerinde analiz, tasarım, geliştirme ve test aşamalarının tamamına entegre edilmesi gereken bir kalite kriteri olarak değerlendirilmelidir. Özellikle kullanıcı merkezli tasarım yaklaşımları, görme engelli bireylerin gerçek kullanım senaryoları üzerinden sistemlerin değerlendirilmesini mümkün kılarak erişilebilirlik problemlerinin erken aşamada tespit edilmesini sağlamaktadır.

Bununla birlikte, önerilen modelin uygulanabilirliği açısından modüler ve ölçeklenebilir bir yapı sunması da önemlidir. Alternatif içerik, semantik yapı ve etkileşim tasarımı katmanları, bağımsız olarak geliştirilebilmekte ancak birlikte çalıştıklarında maksimum erişilebilirlik düzeyi sağlanmaktadır. Bu durum, özellikle büyük ölçekli sistemlerde erişilebilirlik iyileştirmelerinin kademeli olarak uygulanmasına olanak tanımaktadır.

Ayrıca yapay zekâ destekli içerik üretimi, otomatik erişilebilirlik test araçları ve kişiselleştirilebilir arayüzler, bu bütüncül yaklaşımın etkinliğini artıracak önemli unsurlar arasında yer almaktadır. Bu doğrultuda, erişilebilirlik yalnızca mevcut sorunların çözümü değil, aynı zamanda geleceğin kapsayıcı dijital ekosistemlerinin tasarlanmasında stratejik bir bileşen olarak değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak bu katmanlı model, erişilebilirliği parçalı bir kontrol listesi yaklaşımından çıkararak, bütüncül ve sürdürülebilir bir tasarım çerçevesine dönüştürmektedir. Literatürde de vurgulandığı üzere, erişilebilirliğin etkin biçimde sağlanabilmesi ancak bu tür çok katmanlı ve kullanıcı merkezli yaklaşımların benimsenmesi ile mümkündür (Kerdar ve ark., 2024).

6. SONUÇ

Dijital erişilebilirlik, günümüz dijital dünyasında yalnızca belirli kullanıcı gruplarına yönelik bir iyileştirme alanı değil, tüm bireylerin bilgiye eşit, bağımsız ve etkin şekilde erişebilmesini sağlayan temel bir tasarım yaklaşımıdır. Bu çalışmada, görme engelli bireylerin dijital ortamlarda karşılaştıkları başlıca sorunlar; içeriğin algılanamaması, yapısal olarak anlaşılmasının zor olması ve sistemlerle bağımsız etkileşim kurulamaması boyutlarında ele alınmıştır. Bu sorunların büyük ölçüde teknik eksikliklerden ziyade tasarım süreçlerinde erişilebilirliğin yeterince dikkate alınmamasından kaynaklandığı görülmektedir.

Çalışma kapsamında önerilen bütüncül yaklaşım; dijital erişilebilirliği içeriğin farklı yollarla sunulması, içeriğin anlamlı ve düzenli bir yapıya sahip olması ve kullanıcıların sistemle bağımsız şekilde etkileşim kurabilmesi olarak ele almaktadır. Bu bileşenler birlikte ele alındığında, erişilebilirliğin yalnızca bir kontrol listesi olarak değil, sistemin genel tasarımını şekillendiren bir yaklaşım olduğu ortaya çıkmaktadır.

Elde edilen araştırma sonuçları, küçük ancak doğru uygulamaların erişilebilirlik üzerinde büyük etkiler yaratabileceğini göstermektedir. Örneğin, görseller için açıklayıcı metinlerin eklenmesi, sayfa yapısının düzenli ve anlamlı biçimde oluşturulması, klavye ile erişimin sağlanması ve kullanıcıya açık geri bildirim verilmesi gibi uygulamalar, görme engelli bireylerin dijital sistemleri daha etkin ve bağımsız şekilde kullanmasına olanak tanımaktadır. Bu tür çözümler, çoğu zaman düşük maliyetli olmasına rağmen kullanıcı deneyimi açısından yüksek fayda sağlamaktadır.

Sonuç olarak, dijital erişilebilirlik yalnızca teknik bir zorunluluk değil, kullanıcı odaklı ve kapsayıcı tasarımın vazgeçilmez bir parçasıdır. Erişilebilirliğin tasarım sürecinin en başından itibaren ele alınması, daha adil, kullanılabilir ve sürdürülebilir dijital sistemlerin geliştirilmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- Abraham, C. H., Boadi-Kusi, B., Morny, E. K. A. ve Agyekum, P. (2022). Smartphone usage among people living with severe visual impairment and blindness. *Assistive Technology*, 34(5), 611–618.
- Acosta-Vargas, P., Salvador-Ullauri, L. A. ve Luján-Mora, S. (2019). A heuristic method to evaluate web accessibility for users with low vision. *IEEE Access*, 7, 125634–125648.
- Alajarmeh, N. (2022). The extent of mobile accessibility coverage in WCAG 2.1: Sufficiency of success criteria and appropriateness of relevant conformance levels pertaining to accessibility problems encountered by users who are visually impaired. *Universal Access in the Information Society*, 21(2), 507–532.
- Bakır, B. (2024). Digital accessibility for visually impaired users (Yüksek lisans tezi). Master's Thesis in Social Sciences, Tampere University Master's Degree Programme in Sustainable Digital Life .
- Botelho, F. H. F. (2021). Accessibility to digital technology: Virtual barriers, real opportunities. *Assistive Technology*, 33(sup1), 27–34.

- Giraud, S., Théroutane, P., & Steiner, D. D. (2018). Web accessibility: Filtering redundant and irrelevant information improves website usability for blind users. *International Journal of Human-Computer Studies*, 111, 23–35.
- Government Digital Service. (2024). Accessibility monitoring of public sector websites and mobile apps from 2022 to 2024.
- Ha, S., & Kim, S. (2026). Digital accessibility research from 1997 to 2024: A triangulated review and conceptual framework. *Telematics and Informatics*, 106, 102394.
- Hakami, W. A. S., & Al-Aama, A. Y. (2023). A framework to improve web form accessibility for the visually impaired. *IEEE Access*, 11, 123989-124003.
- Hamideh Kerdar, S., Bächler, L., & Kirchhoff, B. M. (2024). The accessibility of digital technologies for people with visual impairment and blindness: a scoping review. *Discover Computing*, 27(1), 24.
- Henni, S. H., Maurud, S., Fuglerud, K. S., & Moen, A. (2022). The experiences, needs and barriers of people with impairments related to usability and accessibility of digital health solutions, levels of involvement in the design process and strategies for participatory and universal design: a scoping review. *BMC public health*, 22(1), 35.
- Kalbag, L., & Pickering, H. (2017). Accessibility for everyone (pp. 8-117). New York: A Book Apart.
- Khasawneh, M. A. S. (2024). Digital inclusion: Analyzing social media accessibility features for students with visual impairments. *Studies in Media and Communication*, 12(1), 71-78.
- Kim, H. K., Han, S. H., Park, J., & Park, J. (2016). The interaction experiences of visually impaired people with assistive technology: A case study of smartphones. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 55, 22-33.
- Lazar, J., Goldstein, D. F., & Taylor, A. (2015). Ensuring digital accessibility through process and policy. Morgan Kaufmann.
- Senjam, S. S., Manna, S., & Bascaran, C. (2021). Smartphones-based assistive technology: accessibility features and apps for people with visual impairment, and its usage, challenges, and usability testing. *Clinical optometry*, 311-322.
- Sharma, M., Huertas, L., Shah, S., Gil, A., Bitrian, E., & Chang, T. C. (2024). Compliance with web content accessibility guidelines in ophthalmology social media posts. *Scientific reports*, 14(1), 9142.
- Vollenwyder, B., Iten, G. H., Brühlmann, F., Opwis, K., & Mekler, E. D. (2022). How compliance with web accessibility standards shapes the user experience of disabled and non-disabled users. *International Journal of Human-Computer Studies*. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs>.
- World Wide Web Consortium (W3C). (2023). Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.1.
- World Wide Web Consortium (W3C). (2025). Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) updates.

PV/T HİBRİT SİSTEMLERDE BÜYÜK VERİ ANALİTİĞİ(BVA) OPTİMİZASYONU VE FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELERİN ÖNEMİ

İlknur ŞAHİN

Middle East Technical University Faculty of Arts and Sciences Department of Chemistry, 06800
Ankara Turkey

ORCID: 0000-0002-4383-3817

Adnan SÖZEN

Alparslan Türkeş Science and Technology University, Sarıçam/Adana and Gazi University, Faculty of
Technology Energy Systems Engineering 06500 Beşevler/Ankara

ORCID: 0000-0002-8373-2674

Rezvan REZAIZADEH

Department of Engineering, Faculty of Basic Science, University of Applied Science, Ahwaz, Iran,

ORCID: 0000-0001-6219-6174

Aybaba HANÇERLİOĞULLARI

Kastamonu University, Faculty of Science, Department of Physics, 37150 Kastamonu

ORCID: 0000-0000-1700-8480

ÖZET

PV/T (Fotovoltaik Termal) hibrit sistemler, güneşten aynı anda hem elektrik hem de ısı enerjisi üreten sistemlerdir. Büyük veri analitiği ve faz değiştiren malzemeler (PCM), bu sistemlerin verimliliğini ve ömrünü artırmak için kullanılan iki temel unsurdur. Bu çalışmada, PV/T hibrit sistemlerde büyük veri analitiği(BVA) ile PCM sistemleri fiziksel optimum olarak serin tutup enerji depolayarak bu süreci en akıllı ve karlı şekilde verimli tutmak ve yönetmektir. Birinci temel unsur, faz değiştiren malzemelerin (PCM) önemidir. Güneş panelleri ısındıkça elektriksel verimleri düşer. PCM'ler bu noktada "termal batarya" görevi görür. Sıcaklık kontrolü yardımıyla güneş panelin arkasına yerleştirilen PCM, erirken ısıyı soğurur ve panel sıcaklığını ideal seviyelerde tutarak elektrik verimini artırır. Enerji depolama ile gündüz emilen ısı, PCM içinde depolanarak, güneş battıktan sonra bu ısı geri verilerek sıcak su üretimi veya ortam ısıtması için kullanılmaya devam edilebilir. Termal kararlılık için panelin ani sıcaklık değişimlerinden etkilenmesini engelleyerek malzemenin ömrünü uzatmaya yardımcı olur. İkinci temel unsur, büyük veri analitiğinin önemi olup, modern PV/T sistemleri sensörlerle donatılmıştır ve sürekli veri üretilir. Büyük veri analitiği(BVA) bu karmaşıklığı yöneterek, panellerdeki kirlenme, çatlak veya PCM sızıntısı gibi sorunlar henüz arıza oluşmadan verilerdeki anomaliler üzerinden tespit edilir. BVA optimizasyonu ile hava durumu tahminleri ve kullanım alışkanlıkları analiz edilerek, enerjinin ne zaman depolanacağı veya ne zaman şebekeye verileceği ve performans farklı coğrafi koşullarda PCM'in ve panelin nasıl tepki verdiği analiz edilerek sistem tasarımı iyileştirilir.

Anahtar kelimeler: PV/T Sistemler, Optimizasyon, Faz Değiştiren Malzemeler, Enerji Depolama

BIG DATA ANALYSIS (BVA) OPTIMIZATION IN PV/T HYBRID SYSTEMS AND THE IMPORTANCE OF PHASE CHANGE MATERIALS

ABSTRACT

PV/T (Photovoltaic Thermal) hybrid systems are systems that simultaneously produce both electrical and thermal energy from the sun. Big data analytics and phase-change materials (PCMs) are two fundamental elements used to increase the efficiency and lifespan of these systems. This study aims to manage and control this process in the smartest and most profitable way by keeping PCM systems cool and storing energy at a physically optimal level using big data analytics (BVA) in PV/T hybrid systems. The first fundamental element is the importance of phase-change materials (PCMs). As solar panels heat up, their electrical efficiency decreases. PCMs act as thermal batteries at this point. With the help of temperature control, the PCM placed behind the solar panel absorbs heat as it melts, keeping the panel temperature at ideal levels and increasing electrical efficiency. With energy storage, the heat absorbed during the day is stored in the PCM, and after sunset, this heat can be released and used for hot water production or space heating. Thermal stability helps extend the lifespan of the material by preventing the panel from being affected by sudden temperature changes. The second key element is the importance of big data analytics. Modern PV/T systems are equipped with sensors and continuously generate data. BVA manages this complexity, detecting problems such as contamination, cracks, or PCM leaks in panels before a failure occurs, through anomalies in the data, with BVA optimization, weather forecasts and usage habits are analyzed to determine when energy should be stored or released to the grid, and the system design is improved by analyzing how the PCM and panel perform under different geographical conditions.

Keywords: PV/T Systems, Optimization, Phase Change Materials, Energy Storage

1. INTRODUCTION

In recent years, while demand for energy production has increased globally, the consumption of fossil fuels for energy production has decreased (Su et al., 2018). Due to the depletion of fossil fuels, renewable energy sources are now widely researched and used for energy production. Most of the current market technologies for energy production involve photovoltaic (PV) technology, which converts solar energy into electricity. Initial applications of PCM in solar energy systems have primarily focused on the rate of increase in thermal storage capacity (Xiao et al., 2009, Košný et al., 2012, or PCM material properties (Regin et al., 2008, Zhu et al.,) Field measurements of PCM solar systems are mostly concerned with

thermal storage. Recently, increasing attention has been paid to the effects of PCM cooling on the electrical output power of photovoltaics. For example, Qiu et al. (2016) compared Current-Voltage (I-V) curves under standard conditions for PCM-cooled and uncooled photovoltaics. However, the analysis results are based on indoor experimental measurements obtained from solar simulators. It is clear that indoor experimental data cannot fully describe the stochastic behavior of solar data due to time-dependent variations in solar radiation and climatic conditions. Elarga et al. (2016) investigated the performance of a system integrating a PV layer and a PCM layer in a double-layer facade (DSF) based on a physical-mathematical model (Su et al., (2018)). Sardarabadi et al. (2017), on the other hand, experimentally investigated the performance of photovoltaic thermal systems using both ZnO/water nanofluid and PCM. Solar energy reaching a PV/T cell is converted into thermal energy, which, in addition to electricity, increases the cell temperature. Temperature increases in the system lead to instantaneous efficiency losses and can accelerate long-term degradation. Silicon PV/T modules operating at high temperatures show lower efficiency in converting solar energy into electrical energy. Therefore, when the rate of solar heat gained is higher than the rate of heat lost to the environment, a temperature increase is inevitable. To determine whether there is a statistically significant difference in energy efficiency between PCM materials using big data analytics (BVA), studies were conducted in both summer and winter seasons, and no statistically significant difference was found in energy efficiency between PCM types. Phase-change materials have significant potential for heat control in solar energy systems, significantly affecting energy output efficiency by exhibiting different distributions of ultraviolet light at different wavelengths. Depending on solar radiation, it is divided into three main wavelengths: UV-A (315–400 nm), UV-B (280–315 nm), and UV-C (100–280 nm). UV-A causes material aging with long-term exposure, while UV-B, being higher energy, accelerates photodegradation. UV-C is mostly filtered by the atmosphere. PV/T hybrid systems increase overall efficiency by generating both electrical and thermal energy. In recent years, certain minerals have gained importance in the system in terms of thermal efficiency, strength, longevity, and thermal storage. In particular, clay-based natural materials such as sepiolite are resistant to UV rays, and organic PCMs such as paraffin are beginning to be used and researched as hybrids in certain ratios. As shown in Figure 1, the UV radiation effect of the PV/T + PCM system is demonstrated. PV/T hybrid systems increase overall efficiency by generating both electrical and thermal energy. They have low thermal conductivity. When PV panels and PCM materials are exposed to UV radiation, photochemical reactions, surface oxidation, and microcracks can occur (Sardarabadi et al. (2017),

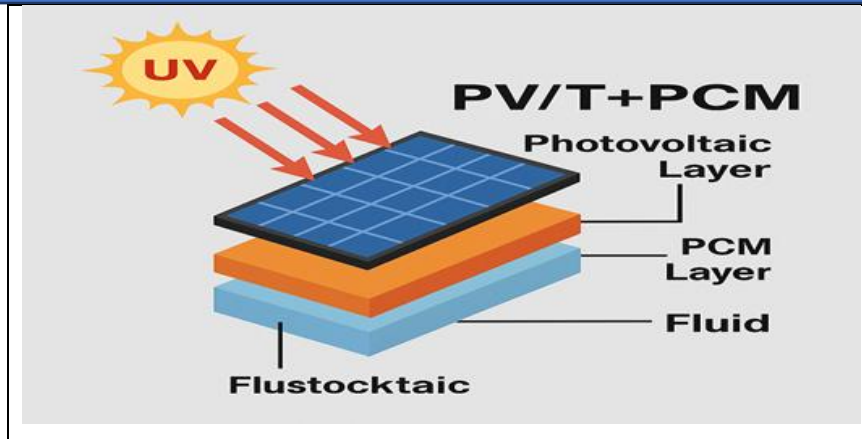


Fig 1. UV radiation effect of PV/T + PCM system

PCM leaks in panels can include leaks in building panels or thermal systems. There may be leaks/noise/outliers leaks in machine learning terms in the data. BVA optimization can mean boundary value analysis optimization technique or something domain-specific; these can point to two very different problems. Recently, big data analytics (BVA) technologies, which offer the ability to quickly obtain large amounts of data from a wide variety of sources, have provided businesses with new opportunities and perspectives. BVA capability is defined as a firm's ability to bring together, integrate, and distribute its big data-specific resources (Cemal, at al.,2022) As a knowledge-based dynamic capability, BVA capability is a crucial organizational capability that provides a sustainable competitive advantage in the big data environment (Cemal, at al.,2022).

2.MATERIAL AND METHOTHS

The performance of PV/T hybrid systems is complex due to the time-dependent variation of environmental conditions and the nonlinear behavior of system components. Therefore, traditional analysis methods are often insufficient to fully reflect the dynamic character of the system. In this study, a data-driven optimization framework is developed using the big data analytics (BVA) approach to overcome these limitations. In this study, an integrated sample dataset was prepared based on assumptions consistent with the literature, comparing reference PV/T, paraffin PCM, and sepiolite-reinforced PCM scenarios for a 1 MWe PV/T system in the time interval of 08:30–17:30.

2.1 Database Modeling Approach

The high-volume and multivariate datasets obtained from the system form the basis of performance prediction and optimization processes. In this context, parameters such as solar radiation, ambient temperature, panel surface temperature, PCM phase state, and electrical power output were analyzed simultaneously. In the data-driven modeling process, a statistical artificial intelligence approach was used to represent the input-output relationships of the

system behavior. This enabled highly accurate predictions even in situations where physical modeling challenging. The results presented in Table.1 clearly demonstrate the impact of system configuration on performance. Without PCM, panel temperatures reach high levels, limiting electrical efficiency, with PCM integration, it is understood that the thermal load is partially stored, thereby reducing cell temperature.

Table 1. Performance comparison of system configurations

system configuration	pv efficiency (%)	thermal efficiency (%)	overall efficiency (%)	average panel temperature (°c)
PV/T	14.8	42.5	57.3	62
PV/T + PCM	16.2	45.7	61.9	54
PV/T + PCM + BVA	17.5	48.3	65.8	49

Furthermore, with BVA implementation, the system is not only passively improved but also optimized to adapt to operating conditions. This shows that data-driven approaches can produce more effective results compared to classical design methods. Table -2 show that the optimum values, indicating that system performance varies precisely around specific parameters. In particular, compatibility of the PCM melting temperature with the system operating range is a decisive factor in terms of performance. Low fluid flow rates can lead to insufficient cooling, while high flow rates can cause energy losses. Therefore, determining the optimum point is critically important. The BVA approach stands out as an effective tool in determining the most suitable operating conditions in such multivariate problems.

2.2 Mathematical Model

The thermal behavior of the PV/T system was modeled using energy balance equations. The energy balance for the PV panel is expressed as follows; Incident solar energy portion converted to electrical energy Heat losses and energy transferred to the PCM were considered in the equation set. For the PCM, transient heat transfer equations including the phase change process were solved.

Table 2. Optimized parameters based on BVA approach

parameter	optimal value	effect on system performanc
PCM melting temperature	30–32°C	maximizes thermal energy storage
fluid mass flow rate	0.03 kg/s	ensures effective cooling balance
panel operating temperature	45–50°C	enhances pv efficiency

In this context, the solid-liquid transition region was modeled using an enthalpy-based approach. The model equations were discretized using the finite volume method. An appropriate time step was selected for the time-dependent solution, and stability criteria were considered. Simulations were performed under different solar irradiation and ambient temperature scenarios. Thus, the system's response to variable environmental conditions was analyzed. In crystalline silicon PV modules, power/efficiency decreases as temperature increases; therefore, the temperature-efficiency relationship in the model is established with a negative temperature coefficient. Adding PCM suppresses the module temperature, improving electrical performance. This approach is widely reported in the literature. Graph -1 show that the time-dependent change in module temperature. In the reference PV/T case, the module temperature rises to a higher level at noon, while paraffin PCM reduces this temperature; sepiolite+PCM provides stronger temperature control due to better thermal dissipation and shape stability. It has been previously reported that paraffin/sepiolite-based composite PCMs offer high latent heat storage capacity and improved thermal behavior. Graph -2 show that the time-dependent change in electrical power output. Although the irradiation curve is similar in all scenarios, the electrical power is higher compared to the reference case because the module temperature remains lower when PCM is used (Ali et al. (2023)). The best performance was obtained in the sepiolite+PCM scenario. This result is consistent with current reviews indicating that PV-PCM integration is particularly beneficial during high irradiation hours. The incorporation of sustainable building design has become a crucial aspect of architectural practice due to increasing energy consumption and environmental issues (Ali et al. (2023)).

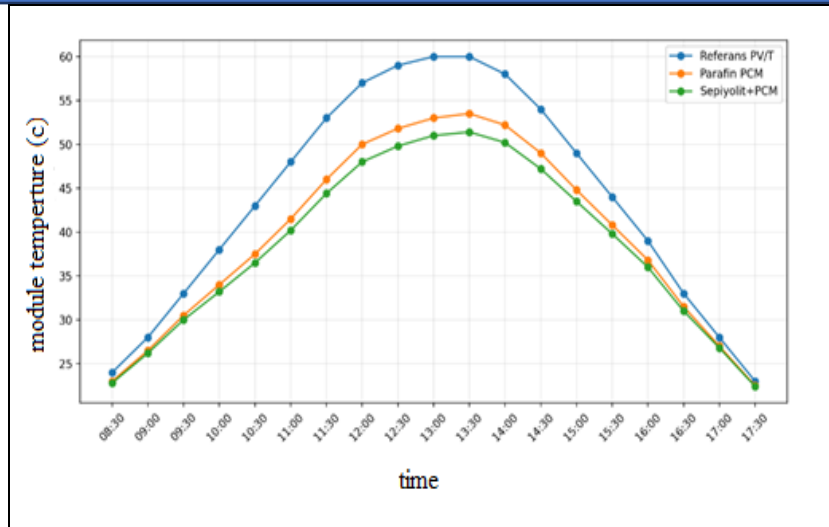


Fig.1 Module temperature distribution over time

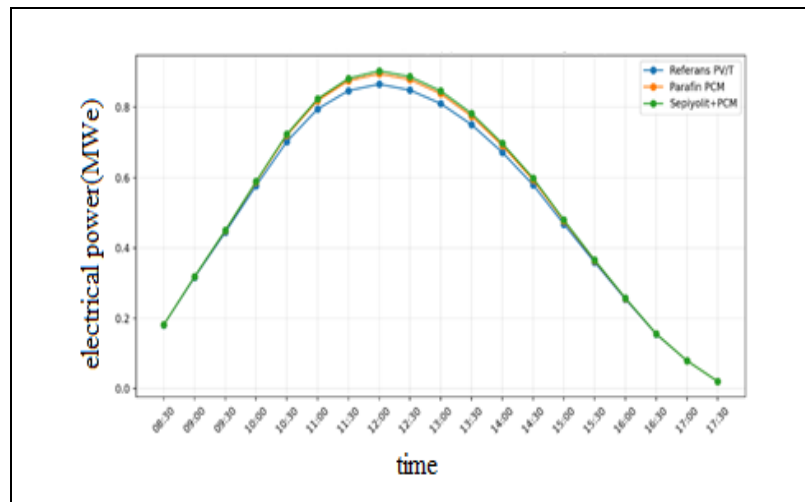


Fig.2 Module electrical power distribution over time

Table 3. Mathematical Modeling and Energy Relations

PV Electrical Efficiency $\eta_{PV} = \frac{P_{el}}{G \cdot A}$ $\eta_{PV}(T) = \eta_{ref}[1 - \beta(T_{cell} - T_{ref})]$	PV/T Hybrid Efficiency $\eta_{PV/T} = \eta_{el} + \eta_{th}$ $\eta_{th} = \frac{\dot{m}C_p(T_{out} - T_{in})}{G \cdot A}$
PV/T + PCM Thermal Storage Model $Q_{PCM} = m_{PCM}L + m_{PCM}C_p(T - T_m)$ $Q_{stored} = Q_{absorbed} - Q_{loss}$	BDA Multi-Objective Optimization Function $\max F = w_1\eta_{el} + w_2\eta_{th} - w_3C_{total}$ $T_{cell} \leq T_{max}$

The mathematical models show that system complexity increases from PV to PV/T and finally to PV/T + PCM. While PV systems are governed mainly by electrical efficiency, PV/T systems introduce coupled thermal-electrical behavior, and PV/T + PCM systems add nonlinear latent heat storage dynamics. Therefore, BDA-based optimization becomes essential for handling multi-variable interactions and achieving maximum energy efficiency under real-world operating conditions. In the Table .3 show that mathematical modeling with energy relations ;

a) For Photovoltaic (PV) Sytems,

electrical efficiency ,the electrical output of PV system is expressed as given

$$P_{el} = \eta_{PV} \cdot G \cdot A \quad (1)$$

where G is solar irradiance and A is the module area, the temperature-dependent efficiency is given by,

$$\eta_{PV} = \eta_{ref} [1 - \beta(T_{cell} - T_{ref})] \quad (2)$$

b) For Photovoltaic/Thermal (PV/T) System, In PV/T systems, both electrical and thermal energy are produced simultaneously,

$$\eta_{el} = G \cdot A \cdot \eta_{PV} \quad (3)$$

$$\eta_{th} = G \cdot A \cdot m \cdot C_p (T_{out} - T_{in}) \quad (4)$$

$$\text{Total efficiency} = \eta_{el} + \eta_{th} \quad (5)$$

Also, c) For PV/T + Phase change material (PCM) model, energy storage in PCM and energy balance, the PCM absorbs excess heat during phase transition, stabilizing PV temperature and enhancing system reliability and efficiency.

$$Q_{PCM} = m_{PCM} C_p (T - T_m) + m_{PCM} L \quad (6)$$

$$Q_{absorbed} = Q_{electric} + Q_{thermal} + Q_{stored} + Q_{loss} \quad (7)$$

c) Big data analytics (BDA) optimization model, BDA is used to optimize system performance under dynamic environmental conditions. Multi-objective optimization function and subject to constraints.

$$\max F = w_1 \eta_{el} + w_2 \eta_{th} - w_3 C_{total} + w_4 S_{stability} \quad (8)$$

$$T_{cell} \leq T_{max} \quad \text{and} \quad 0 \leq m' \leq m'_{max} \quad (9)$$

The PCM absorbs excess heat during phase transition, stabilizing PV temperature and enhancing system reliability and efficiency. In PV/T + PCM systems, thermal energy storage

is introduced using latent heat. The PV system efficiency is therefore strongly influenced by cell temperature, leading to performance degradation under high irradiance conditions. BDA optimization are important for PV, PV/T, and PV/T + PCM, Big Data Analytics (BDA) optimization is important for PV, PV/T, and PV/T + PCM systems because these systems operate under highly variable environmental conditions and involve complex energy conversion processes. In PV systems, BDA is mainly used to predict solar irradiation, improve energy forecasting, detect faults, and optimize maintenance, which helps increase electrical efficiency and system reliability. In PV/T systems, where both electricity and heat are produced, BDA becomes more critical by optimizing thermal and electrical performance simultaneously through parameters such as flow rate, heat transfer, and system design. In PV/T + PCM systems, the complexity is even higher due to phase change behavior, so BDA is used to optimize material selection, melting temperature, and thermal energy storage performance. Overall, BDA enables data-driven optimization, improves efficiency, reduces costs, and enhances the overall performance and stability of all PV-based energy systems.

Table4. Comparative performance of photovoltaic-based energy systems

Parameter	PV (%)	PV/T(%)	PV/T + PCM (%)
electrical efficiency	15–22	12–18	13–20
thermal efficiency	0	30–50	35–55
total efficiency	15–22	40–65	60–80
temperature stability	low	medium	high
optimization need	medium	high	very high
bda impact	medium	high	very high

In Table.4 show that The comparative results indicate that integrating thermal recovery (PV/T) and latent heat storage (PV/T + PCM) significantly enhances overall system performance. However, this improvement increases system complexity, thereby requiring more advanced optimization techniques such as Big Data Analytics (BDA) for effective real-time control and performance enhancement.

3.RESULT AND DISCUSSION

Big data analytics (BDA) optimization model, BDA is used to optimize system performance under dynamic environmental conditions. Multi-objective optimization function and subject to constraints. BDA role is integrates large-scale datasets (irradiance, temperature, wind speed,

load demand) to predict system behavior, optimize operating parameters in real time, reduce uncertainty in energy production ,enable multi-variable control of PV, PV/T, and PV/T + PCM systems. The primary function of Phase Change Materials (PCMs) in a system is to store heat by melting at a specific temperature and releasing heat when solidifying. They offer numerous advantages in PV/T systems. They stabilize panel temperature, preventing overheating, and increase electrical efficiency by providing thermal energy storage. Generally, they provide 5-15% increase in PV efficiency and stable system performance (Chow, et al., 2009). By optimizing the PV/T + PCM panel system with BVA (big data analytics), the system's temperature management, panel surface temperature, and PCM melting/freezing point have been determined. Furthermore, with the help of BVA, energy efficiency in electricity generation (PV) and thermal energy recovery has been achieved. In addition, we can optimize environmental parameters such as solar radiation intensity, ambient temperature, and wind speed. This integrated framework demonstrates that as system complexity increases from PV to PV/T and finally to PV/T + PCM, the role of Big Data Analytics becomes progressively more critical. The integration of thermal dynamics, fluid behavior, and phase change phenomena requires advanced multi-objective optimization techniques to ensure maximum energy efficiency, stability, and economic feasibility under real-time operating conditions.

REFERENCE

- [1] Su et al., (2018). Experimental study of using phase change material cooling in a solar tracking concentrated photovoltaic-thermal system, *Sol. Energy*, 159 ,777-785.
- [2] Xiao et al., (2009). Analytical optimization of interior PCM for energy storage in a lightweight passive solar room, *Appl. Energy*, 86, 2013-2018.
- [3] Kořny et al., (2012). Field thermal performance of naturally ventilated solar roof with PCM heat sink, *Sol. Energy*, 86 , 2504-2514.
- [4] Regin et al., (2008). Heat transfer characteristics of thermal energy storage system using PCM capsules: a review *Renew, Sustain. Energy Rev.*, 12 , 2438-2458.
- [5] Qiu et al., (2016). Experimental investigation of the energy performance of a novel Micro-encapsulated Phase Change Material (MPCM) slurry based PV/T system, *Appl. Energy*, 165 , 260-271.
- [6] Elarga et al., (2016). Thermal and electrical performance of an integrated PV-PCM system in double skin facades: a numerical study, *Sol. Energy*, 136 , 112-124.
- [7] Sardarabadi et al. (2017), Experimental study of using both ZnO/ water nanofluid and phase change material (PCM) in photovoltaic thermal systems, *Sol. Energy Mater. Sol. Cells*, 161 , 62-69
- [8] Chow, T. T., Pei, G., Fong, K. F., Lin, Z., Chan, A. L. S., & Ji, J. (2009). Energy and exergy analysis of photovoltaic-thermal collector with and without glass cover. *Applied Energy*
- [9] Cemal ,et al..(2022). The Relationship Between Big Data Analytics Capability and Firm Performance: The Moderating Role of Firm Size , *Yıldız Social Sciences Institute Journal (YSBED)*, 6 (2), 62 – 73.
- [10] Ali et al. (2023). Energy Efficiency In Dome Structures: An Examination Of Thermal Performance In Iranian Architecture, *Building journal*, 13(9), 2-21.

B₄C (BOR KARBÜR) MİNERALİNİN VE NÜKLEER ZİNCİR REAKSİYONUNDA KONTROL ÇUBUĞU OLARAK KULLANIMI

İlknur ŞAHİN

Kastamonu University, Central Research Laboratory Application and Research Center, Kastamonu

ORCID: 0000-0002-4383-3817

Rezvan REZAIZADEH

Department of Engineering, Faculty of Basic Science, University of Applied Science, Ahwaz, Iran,

ORCID: 0000-0001-6219-6174

Adnan SÖZEN

Alparslan Türkeş Science and Technology University, Sarıçam/Adana and Gazi University, Faculty of Technology Energy Systems Engineering 06500 Beşevler/ Ankara

ORCID: 0000-0002-8373-267

Aybaba HANÇERLIOĞULLARI

Kastamonu University, Faculty of Science, Department of Physics, 37150, Kastamonu

ORCID: 0000-0000-1700-8480

ÖZET

Nükleer zincir reaksiyonu ve kontrol mekanizması ile nükleer reaktörde enerji, uranyum atomlarının nötronlarla bombardıman edilip parçalanması (filyon) sonucu açığa çıkar. Her parçalanma yeni nötronlar salar ve bu nötronlar diğer atomları parçalayarak zincirleme reaksiyonu oluşturur. Reaktörün güvenli kritik çalışması için sürekli ortamdaki enerjik nötronların kontrol altında tutulması gerekir. Bu yönüyle borkarbür (B₄C) iyi bir nötron yutucu olarak filyon tipi reaktörlerde önemli rol oynar. Bor izotopu nötron soğurucu bir malzeme olarak nükleer yakıt çeviriminde reaktörü uygun bir kritik güçte çalıştırmak, kadmiyum kadar önemli bir reaktör kontrol malzemesidir, Bor Karbür (B₄C), hem endüstriyel sertliği hem de nükleer fizikteki kritik rolüyle modern mühendisliğin en stratejik malzemelerinden biridir. Özellikle nükleer reaktörlerde "fren mekanizması" görevini üstlenmesi, onun nötronlarla olan benzersiz ilişkisinden kaynaklanır. B₄C mineralinin yapısı ve özellikleri belmas ve kübik bor nitrürden sonra bilinen en sert üçüncü malzemedir. Ancak nükleer alandaki değerini sertliğinden ziyade atomik yapısına borçludur. Nötron yutma kapasitesi bakımından bor atomu, özellikle de ¹⁰B izotopu, serbest nötronları yakalama konusunda çok yüksek tesir kesiti sahiptir. Termal kararlılık bakımından, 2450C civarındaki sıcaklığı ile erime noktası sayesinde reaktör kalbindeki aşırı sıcaklıklara dayanabilir. Doğal bor, iki izotoptan oluşmaktadır. %19,8 oranında ¹⁰B ve absorpsiyon tesir kesiti 3900 barn ve %80,2 oranında ¹¹B ve absorpsiyon tesir kesiti 0,5 barn içerir. Bor izotoplarının ayrışması pahalı bir işlemdir. Ayrışma işlemi BF₄(CH₃)O nin adım adım damıtılmasıyla mümkündür. Kimyasal direnç açısından, yüksek radyasyon altında bile yapısal bütünlüğünü korur ve korozyona karşı oldukça dirençlidir.

Anahtar kelimeler: B₄C, Zincir Reaksiyonu, Nötron Kontrolü, Termal Isı, Filyon Reaktörü

B₄C (BORON CARBIDE) MINERAL AND ITS USE AS A CONTROL ROD IN NUCLEAR CHAIN REACTIONS

ABSTRACT

In a nuclear reactor, energy is released through the nuclear chain reaction and its control mechanism, resulting from the bombardment and fission of uranium atoms with neutrons. Each fission releases new neutrons, which then break apart other atoms, creating a chain reaction. For the safe critical operation of the reactor, the energetic neutrons in the environment must be kept under control. In this respect, boron carbide (B₄C) plays an important role in fission reactors as a good neutron absorber. As a neutron-absorbing material, the boron isotope is as important as cadmium in operating the reactor at a suitable critical power in the nuclear fuel cycle. Boron carbide (B₄C), with both its industrial hardness and its critical role in nuclear physics, is one of the most strategic materials in modern engineering. Its role as a "brake" Boron carbide, with its structure and properties, is the third hardest known material after diamond and cubic boron nitride. However, its value in the nuclear field is due more to its atomic structure than its hardness. In terms of neutron absorption capacity, the boron atom, especially the ¹⁰B isotope, has a very high cross-section for capturing free neutrons. In terms of thermal stability, it can withstand the extreme temperatures in the reactor core thanks to its melting point of around 2450°C. Natural boron consists of two isotopes: 19.8% ¹⁰B with an absorption cross-section of 3900 barn and 80.2% ¹¹B with an absorption cross-section of 0.5 barn. The decomposition of boron isotopes is an expensive process. The decomposition process is possible through the stepwise distillation of BF₃(CH₃)O. In terms of chemical resistance, it maintains its structural integrity even under high radiation and is highly resistant to corrosion. The mechanism in nuclear reactors stems particularly from its unique relationship with neutrons.

Keywords: B₄C, Chain Reaction, Neutron Control, Thermal Heat, Fission Reactor.

1. INTRODUCTION

Boron carbide (B₄C) is widely used as neutron absorber control rod material in boiling water reactors (BWRs) and RBMKs and VVERs. In pressurized water reactors (PWRs), it is used in hybrid rods together with silver/indium/cadmium alloy (Steinbrück, M. 2010). In a hypothetical serious accident, B₄C reacts with the surrounding stainless steel cladding to produce eutectic melts above 1200 °C (Nagase et al., (1997), Dominguez et al., (2008), Steinbrück et al., (2005)). well below the melting temperatures of all components. After control rod failure, both the remaining bare absorber material and the B₄C/metal mixtures are exposed to steam in the reactor core. Boron carbide (B₄C) is one of the most

effective ceramic materials used in nuclear reactor environments due to its high neutron absorption efficiency and stability under extreme conditions. It plays a fundamental role in radiation shielding and neutron flux control in reactor systems. Thanks to its high boron-10 (^{10}B) isotope content and superior thermal and chemical properties, B_4C components are indispensable in multiple reactor subsystems (Nagase et al., (1997), Dominguez et al., (2008), Steinbrück et al., (2005)). Boron-10's exceptional neutron capture cross-section, measured at approximately 3840 barns, allows B_4C to efficiently absorb neutrons without significant activation. In nuclear-grade materials, boron is isotopically enriched to 85–95% ^{10}B to maximize shielding performance. This property is critical in both thermal and fast neutron spectra, making B_4C a preferred option in reactor shielding applications. B_4C is commonly used in control rods for both pressurized water reactors (PWR) and boiling water reactors (BWR). These rods are designed to absorb excess neutrons and regulate the fission chain reaction. Our B_4C components are manufactured using powder compression molding and hot pressing to meet the dimensional and mechanical standards specified in *ASTM C751*. High-density B_4C panels and blocks are used in core compartments and vessel liners to protect sensitive instrumentation and structural components from neutron damage. Our B_4C tiles, produced using ceramic injection molding, offer high geometric precision and the ability to accommodate complex shapes. In dry storage drums and fuel transport containers, B_4C is integrated into baskets and drums to suppress neutron radiation from spent fuel bundles. For complex geometries or high-volume orders, ceramic injection molding provides high repeatability and dimensional accuracy. Oxidation of B_4C by steam is highly exothermic and produces six or seven times the volume of hydrogen resulting from the oxidation of the same mass of Zircaloy. In addition, gaseous species containing carbon and boron are produced, which can affect the fission product chemistry within the containment, e.g., the release of organic iodine compounds. The oxidation kinetics of pure B_4C materials have been extensively studied under the COLOSS program (Repetto, G., (2010), Veshchunov, M.S., et al., (1994), Hofmann, P., et al., (1990), Veshchunov, M.S., et al., (1995)). New experimental data were used as input for modeling B_4C oxidation (Peipei, W., et al., 2022). At the beginning of this study, no data were available on the oxidation of absorber melts. Boron carbide (B_4C) [25] with good chemical stability and low CTE can be used as an additive for $\text{HfB}_2\text{-SiC}$ coating. The B_2O_3 glass produced from the oxidation of B_4C has a low melting point (723 K) and a suitable viscosity at 873–1473 K (Peipei, W., et al., 2022) which can form a protective film of glassy state and inflow into the coating to heal the micro-cracks and pores (Peipei, W., et al., 2022, Veshchunov, M.S., et al., (1994), Veshchunov, M.S., et al., (1996). Boron carbide

(B₄C) is widely used as a neutron absorber in control rods for various types of nuclear reactors, such as the European Pressurized Reactor (EPR) and the Russian VVER series .In China, B₄C is employed as both a control and shielding material in small fast reactors and high-temperature gas-cooled reactor (Xuesong ., B.,at al., (2026), Steinbrück,M., (2010)).

2.MATERIAL AND METHOTHS

In this study, boron carbide (B₄C) rods were used as the material for neutron control in a new generation 4800 MWe water-cooled reactor of the Russian model. B₄C is a ceramic-based compound widely preferred in nuclear applications due to its high neutron absorption cross-section, thermal stability, and resistance to radiation damage. The functionality of the material is based on the high neutron capture cross-section of the Boron-10(10B) isotope it contains. In this study, the Governing Mann diffusion equation presents an analytical approach model, while the Mcnpx simulation shows the reference physical solution path. Furthermore, the Python program compares the neutron and thermodynamic analyses of all data in the reactor across all regions, particularly the changes in the B₄C rod that provides neutron balance for reactor control studies. It checks whether the diffusion model and Mcnp results are logical.

2.1 Neutron absorption cross-section of B₄C

The neutron absorption mechanism mainly occurs via the (n,α) reaction, in which thermal neutrons are captured by the boron core and converted into lower-energy particles. This conversion reduces the free neutron population in the system, limiting the chain reaction rate. This property is vital and critical for controlling nuclear fission events in the reactor core.

Table 1. Reactor and B₄C material properties

Parameter	Value
reactor type	VVER (pressurized water reactor)
thermal power	~4800 mwt
electrical power	~1200–1600 mwe
moderator / coolant	light water (h ₂ o)
fuel type	uO ₂
enrichment	3–5% u-235
control rod material	boron carbide (b ₄ c)
b ₄ c density	2.52 g/cm ³
melting point	~2450 °c
main absorber isotope	boron-10 (b-

Table -1 presents the fundamental neutronic and thermophysical properties of both the reactor system and the absorber material. The high neutron absorption cross-section of B₄C, primarily due to the Boron-10 isotope, makes it highly effective for reactivity control. Additionally, its high melting point and chemical stability ensure reliable performance under severe reactor operating conditions. Reactivity (ρ) in nuclear reactor physics is a dimensionless quantity, but it is expressed using several practical units for convenience. $\rho = 1 \rightarrow$ prompt critical condition $\rho < 1 \rightarrow$ delayed neutron control ; $\rho > 1 \rightarrow$ prompt supercritical. In MCNP simulations, reactivity is typically derived from K_{eff} and expressed in $\Delta k/k$. However, in reactor safety and control analysis, this is preferred because it is directly related to the lagged neutron rate and reactor kinetic behavior.

Table 2. Python and Mcnpx program of simulation parameters

Control rod position (%)	K _{eff} (Mcnpx)	K _{eff} (Python)	Reactivity ($\rho=k/k-1$)
0 (Fully withdrawn)	1.050	1.048	Positive
25	1.020	1.018	Decreasing
50	1.000	0.998	लगभग Zero (Critical)
75	0.980	0.978	Negative
100 (Fully inserted)	0.950	0.948	Strongly negative

Table -2 compares the effective multiplication factor (k-eff) obtained from MCNP simulations and Python-based calculations. The results show strong agreement between the two methods, with only minor deviations attributable to statistical uncertainties and numerical approximations. As the control rod insertion increases, K_{eff} decreases consistently, demonstrating the strong neutron absorption capability of B₄C. The reactor reaches a critical state around 50% rod insertion, indicating a stable and controllable operating range.

2.2 Methodological Framework

The governing equation diffusion model is important in this study because it provides the fundamental theoretical framework for understanding the effect of the B₄C control rod on reactivity and neutron flux in a 4800 MWt VVER reactor.

$$-D\nabla^2\phi + \Sigma_a\phi = \nu\Sigma_f\phi$$

In this equation, neutrons are maintained within the reactor by a balance of production (fission) and loss (absorption). However, the flux distribution is not homogeneous in space; the main relation determining the distribution is diffusion and absorption for B₄C. This study

combines neutron diffusion theory, Mcnp (monte carlo simulations, and Python),based postprocessing analysis to evaluate the neutronic behavior of 4800 MWt VVER reactor core with B₄C control rods.The diffusion approximation is applied to describe the spatial neutron flux distribution, while Mcnp is used as a reference high-fidelity transport solution. Python is employed for numerical comparison, visualization, and reactivity calculations.

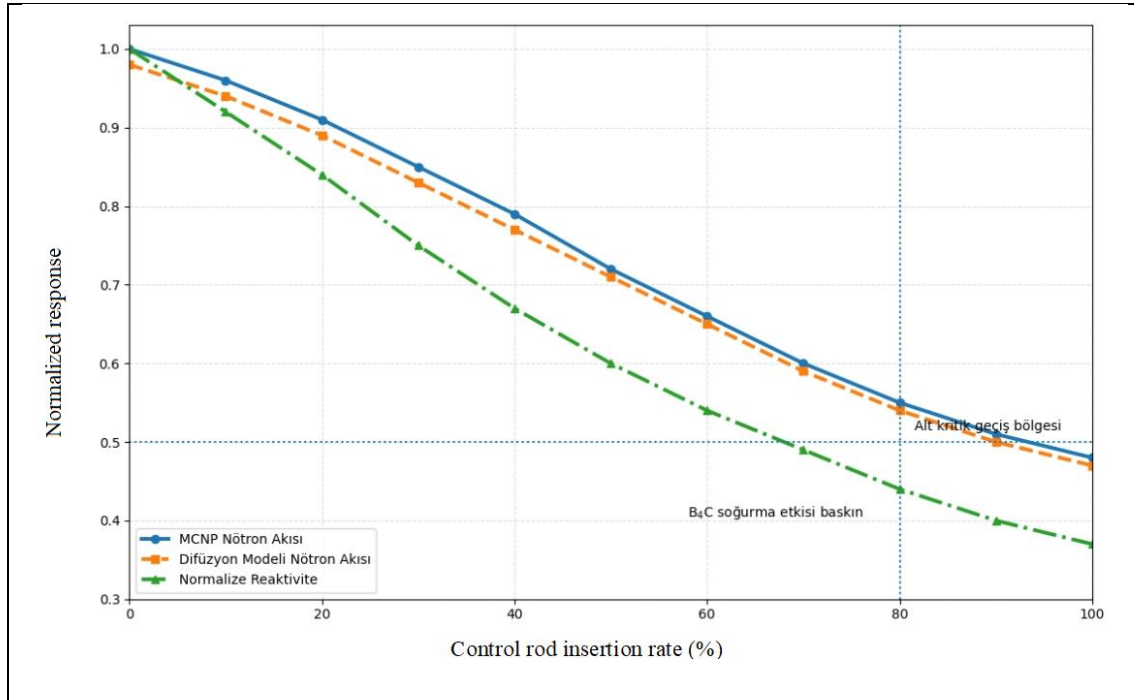


Fig-1 Neutronic Behavior of the B₄C control rod in 4800 MWt VVER Reactor

The figure1 shows that both neutron flux and reactivity decrease steadily as the B₄C control rod insertion rate increases. The convergence of the MCNP and diffusion model curves indicates that the overall neutron behavior is captured similarly in both approaches. The sharper decrease in reactivity suggests that the strong neutron absorption effect of B₄C has a more significant impact on criticality. The fact that the system approaches the subcritical regime, particularly around 80% and beyond, indicates that the control rod's effectiveness is high in terms of safety.

3.RESULTS AND DISCUSSION

In this study, the diffusion equation was used as the fundamental theoretical model describing the physical effect of B₄C control rods on neutron flux and reactivity in the VVER reactor core.B₄C stands out as the most suitable control rod material in VVER reactors due to its high neutron absorption capacity, thermal stability, and economic advantages. Although gadolinium has a much higher absorption cross-section, it is generally used in the fuel matrix. Hafnium, on the other hand, is limited due to its cost despite its mechanical advantages.

Therefore, the MCNP and Python analyses performed also confirm that B₄C provides optimum performance in reactor control. Consequently, while the B₄C acts as a strong neutron absorber, the neutron flux decreases exponentially with the control rod. In the reactor, the reactivity becomes negative, and the system exhibits safe shutdown behavior.

REFERENCE

- [1] Steinbrück, M., (2010). Degradation and oxidation of B₄C control rod segments at high temperatures., *Journal of nuclear materials*,400 (2) 15 ,138-150.
- [2] Nagase et al., (1997). Chemical interactions between B₄C and stainless steel at hightemperatures, *Journal of nuclear materials*,245(1) ,52-59.
- [3] Dominguez et al., (2008). Investigation on boron carbide oxidation for nuclear reactor safety: Experiments in highly oxidising conditions, *Journal of nuclear materials* ,374(3)15, 473-481.
- [4] Steinbrück et al., (2005). Oxidation of boron carbide at high temperatures, *Journal of nuclear materials*, 336 (2–3), 185-193.
- [4] Adroguer, B., at al., (2005). Core loss during severe accident (Coloss), *Nuclear engineering and design*, 235(2–4),173-198.
- [5] Repetto, G., at al., (2010). Experimental program on debris reflooding (PEARL) – Results on Prelude facility, *Nuclear engineering and design*,264, 176-186.
- [6] Veshchunov, M.S., et al., (1996). Critical evaluation of uranium oxide dissolution by molten Zircaloy in different crucible tests, *Journal of nuclear materials*, 231(1–2), 1-19.
- [7] Veshchunov, M.S., et al., (1994). Dissolution of solid UO₂ by molten Zircaloy,*Journal of nuclear materials*,209(1) 27-40.
- [8] Xuesong, B., at al., (2026). Eutectic melting characteristics in B₄C–316L stainless steel system under rapid heating, *Journal of nuclear materials*, 619-156259.
- [9] Hofmann, P., et al., (1997). Metallic fast reactor fuels, *Progress in nuclear energy* 31(1–2), 83-110.
- [10] Peipei W., et al. (2022) Oxidation protection of b₄c modified hfb₂-sic coating for C/C composites at 1073–1473K, *Ceramics International*,48(3), 3206-3215.

A NEUROSCIENTIFIC INVESTIGATION OF SOCIAL AND VISUAL PERCEPTION IN PROFESSIONAL ATHLETES

Erdem KIRCI

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü Sinirbilim Anabilim Dalı

ORCID ID: 0009-0008-0615-7275

Doç. Dr. Gülsüm AKDENİZ

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Enstitüsü Sinirbilim Anabilim Dalı

Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Biyofizik Anabilim Dalı

ORCID ID: 0000-0002-9411-3318

1. INTRODUCTION

There is a growing consensus that physical activity and particularly structured sports training—exerts transformative effects on brain and cognitive systems. The general exercise literature reports improvements in executive functions, processing speed, attention, and learning processes, with these gains observed at both structural and functional levels of the brain (Erickson, Hillman, & Kramer, 2015; Voss et al., 2011; Martín-Rodríguez et al., 2024). Domain-specific studies in sport further suggest that team-sport athletes develop enhanced abilities in collective decision-making, synchronous coordination, and rapid inference of others' intentions, whereas individual-sport athletes tend to exhibit stronger internal focus, task-oriented projection, and visual discrimination skills (Habekost et al., 2024; Zhu et al., 2024; Vestberg et al., 2012).

Traditional tools used to assess social cognition, such as basic Theory of Mind (ToM) tasks or reaction-time measures, often fail to capture the dynamic nature of social interactions inherent to sport contexts. This methodological limitation highlights the importance of dynamic, animation-based assessments such as the ESCoT (Edinburgh Social Cognition Test) (Baksh et al., 2018, 2021; Poveda et al., 2022).

The ESCoT is a relatively novel and increasingly validated instrument designed to measure social cognition through animation-based scenarios (Baksh et al., 2018, 2021; Poveda et al., 2022). Its applicability has been supported across diverse populations, including individuals with acquired brain injury, autism spectrum disorder, and different cultural groups (Baksh et al., 2018, 2021; Poveda et al., 2022; ESCoT Repository). Evidence from both clinical and non-clinical samples demonstrates its discriminant validity, internal consistency, and test retest reliability. Subsequent cultural adaptation and clinical validation studies further indicate that a key contribution of the ESCoT lies in its ability to assess subcomponents of social cognition within a unified task set characterized by high ecological validity. This feature

provides a particular advantage for populations such as athletes, who are continuously exposed to dynamic social environments.

Pareidolia refers to the tendency to perceive meaningful face like patterns in ambiguous visual stimuli and has been widely studied as a perceptual marker in both healthy individuals and neurodegenerative conditions such as Lewy body dementia (Mamiya et al., 2016; Uchiyama et al., 2012; Watanabe et al., 2023; Taubert et al., 2023; Palmisano et al., 2023; Gupta et al., 2025; Yokoi et al., 2014; Saurels et al., 2024; Kato & Mugitani, 2015). Mamiya et al. (2016) demonstrated the clinical utility of pareidolia tests and their association with hallucinatory tendencies. Similarly, Uchiyama et al. (2012) and Watanabe et al. (2023) showed that pareidolic responses reflect the interaction between early visual processing and higher-order interpretative mechanisms. Research conducted by Akdeniz and colleagues in clinical and applied contexts demonstrates that the pareidolia test is not only a useful tool in neurodegenerative conditions, but also a robust measure for assessing perceptual tendencies under conditions such as decision-making under stress, face pattern matching, and cognitive load (Çamcı et al., in press; Akdeniz et al., 2024; Akdeniz et al., 2025; Çamcı & Akdeniz). Behavioral research also indicates that pareidolia sensitivity is influenced by factors such as age, peripheral vision, gender, and cognitive status (Saurels et al., 2024; Kato & Mugitani, 2015). However, none of these studies have examined athlete populations or integrated pareidolia measures with ESCoT-based assessments. The Turkish reliability and validity of the Pareidolia test were established by Akdeniz (2018), demonstrating that the Turkish version is suitable for research purposes.

Building on the premise that regular physical activity and professional sports training exert transformative effects on brain structure and cognitive systems, the present study aims to compare social cognition and visual perception processes between athletes and a control group.

2.MATERIAL AND METHODS

The study sample consists of a total of 20 healthy volunteers ($N = 20$), including 4 females and 16 males, matched in terms of age, educational background, and demographic variables. Participants were divided into two groups: professional athletes and healthy controls with no history of regular sports participation. During the data collection process, the ESCoT (Edinburgh Social Cognition Test) was employed to assess social cognitive mechanisms, affective theory of mind, and social attention, while the Pareidolia Test was administered to evaluate visual perception, pattern recognition, and face detection tendencies. All cognitive assessments were conducted via tablet computers within a standardized protocol in order to

ensure consistency of administration and measurement precision. Statistical analyses of the obtained data were performed using the Chi-square test and the Mann-Whitney U test to determine differences between groups. The analysis was structured to focus on variables such as cognitive theory of mind, visual pareidolia, and scramble test performance, as well as potential differences in affective theory of mind scores between the groups.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In the Pareidolia and Scramble tests, which assess participants' ability to recognize meaningful patterns within visual stimuli, both the athlete and control groups demonstrated similar levels of performance. The rate of correctly identifying stimuli in both groups ranged between 80% and 100%. According to the results of the Chi-square (Pearson Chi-Square) test, no statistically significant difference was found between the groups in terms of visual perception levels ($p > 0.05$).

Table 1: Comparison of Pareidolia and Scramble performances by group.

Variable	Group	N	Performance (%)	χ^2
Pareidolia	Athletes	10	80–100	0.00
	Control	10	80–100	
Scramble	Athletes	10	80–100	0.00
	Control	10	80–100	

As shown in Table 2, no significant difference was found between the groups in terms of Cognitive Theory of Mind scores ($U = 48.000$; $p > 0.05$). However, in the Affective Theory of Mind dimension, the mean rank of the athletes (12.85) was higher than that of the control group (8.15), and this difference was found to be very close to the threshold of statistical significance ($U = 26.500$; $p = .074$). This finding suggests that athletes tend to exhibit a stronger ability to understand and interpret others' emotional states (affective theory of mind) compared to the control group.

Table 2: Comparison of theory of mind (TM) scores and groups

Variable	Group	N	Rank Avr.	U	Z	p
CognitiveTM	Athletes	10	10.30	48.00	-0.15	.879
	Control	10	10.70			
AffectiveTM	Athletes	10	12.85	26.50	-1.79	.074
	Control	10	8.15			

4. Conclusions

This pilot study comparatively examined the visual perception and social cognitive abilities of professional athletes and non-athlete individuals. The analyses revealed that both groups demonstrated similarly high levels of performance in the Pareidolia and Scramble tests, with accuracy rates ranging between 80% and 100%, and no statistically significant difference was found between the groups in terms of visual perception levels ($p > 0.05$).

In the domain of social cognition, Cognitive Theory of Mind scores were comparable across groups, whereas in the Affective Theory of Mind dimension, athletes exhibited a higher mean rank (12.85) than the control group (8.15), with this difference approaching the threshold of statistical significance ($U = 26.500$; $p = .074$). These findings indicate that basic visual perception processes are similar between groups; however, professional athletes tend to demonstrate a stronger inclination in understanding and interpreting others' emotional states (affective theory of mind) compared to controls. This pattern suggests that, with an expanded sample size, the social cognitive advantages associated with sports participation may be more clearly established.

Keywords: Social Cognition, Affective Theory of Mind, Pareidolia, Professional Athletes

REFERENCES

- Akdeniz, G. (2018). Pareidolia testinin geçerlilik ve güvenilirlik çalışması. *Ankara Medical Journal*, 18(3), 375–381.
- Baksh, R. A., Abrahams, S., Auyeung, B., & MacPherson, S. E. (2018). The Edinburgh Social Cognition Test (ESCoT): Examining the effects of age on a new measure of theory of mind and social norm understanding. *PLOS ONE*, 13(4), e0195818.
- Çamcı, M., & Akdeniz, G. (2025). A new approach to identify visual sensitivity in pneumonia patients in the emergency department at a 24-hour period: Digital pareidolia test. *Medicine*, 104(38), e44623.
- Erickson, K. I., Hillman, C. H., & Kramer, A. F. (2015). Physical activity, brain, and cognition. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 4, 27–32.
- Gupta, P., & Dobs, K. (2025). Human-like face pareidolia emerges in deep neural networks optimized for face and object recognition. *PLOS Computational Biology*, 21(1), e1012751.
- Habekost, T., Ovesen, J., & Madsen, J. B. (2024). Cognition in elite soccer players: A general model. *Frontiers in Psychology*, 15, 1477262.
- Kato, M., & Mugitani, R. (2015). Pareidolia in infants. *PLOS ONE*, 10(2), e0118539.
- Mamiya, Y., Nishio, Y., Watanabe, H., Yokoi, K., Uchiyama, M., Baba, T., ... Mori, E. (2016). The pareidolia test: A simple neuropsychological test measuring visual hallucination-like illusions. *PLOS ONE*, 11(5), e0154713.
- Palmisano, A., Chiarantoni, G., Bossi, F., Conti, A., D'Elia, V., Tagliente, S., ... Rivolta, D. (2023). Face pareidolia is enhanced by 40 Hz transcranial alternating current stimulation (tACS) of the face perception network. *Scientific Reports*, 13(1), 2035.
- Poveda, B., Abrahams, S., Baksh, R. A., MacPherson, S. E., & Evans, J. J. (2022). An investigation of the validity of the Edinburgh Social Cognition Test (ESCoT) in acquired brain injury (ABI). *Journal of the International Neuropsychological Society*, 28(10), 1016–1028.
- Saurels, B. W., Peluso, N., & Taubert, J. (2024). A behavioral advantage for the face pareidolia illusion in peripheral vision. *Scientific Reports*, 14(1), 10040.
- Taubert, J., Wally, S., & Dixon, B. J. (2023). Preliminary evidence of an increased susceptibility to face pareidolia in postpartum women. *Biology Letters*, 19(9), 20230126.

- Uchiyama, M., Nishio, Y., Yokoi, K., Hirayama, K., Imamura, T., Shimomura, T., & Mori, E. (2012). Pareidolias: Complex visual illusions in dementia with Lewy bodies. *Brain*, 135(8), 2458–2469.
- Vestberg, T., Gustafson, R., Maurex, L., Ingvar, M., & Petrovic, P. (2012). Executive functions predict the success of top-soccer players. *PLOS ONE*, 7(4), e34731.
- Watanabe, H., Uchiyama, M., Yokoi, K., et al. (2023). Behavioral and neural correlates of pareidolic illusions in dementia with Lewy bodies. *Parkinsonism & Related Disorders*, 113, 105513.
<https://doi.org/10.1016/j.parkreldis.2023.105513>
- Zhu, R., Zheng, M., Liu, S., Guo, J., & Cao, C. (2024). Effects of perceptual-cognitive training on anticipation and decision-making skills in team sports: A systematic review and meta-analysis. *Behavioral Sciences*, 14(10), 919.

TÜRKİYE ENFLASYONUNUN KRİZ DİNAMİKLERİ: TÜFE VE ÜFE'DE YAPISAL KIRILMALARIN YENİ NESİL BİRİM KÖK TESTLERİYLE İNCELENMESİ (2000–2024)

Mücahit DOĞANCI

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Uygulamalı İstatistik Anabilim Dalı,
26040 Odunpazarı, Eskişehir

ORCID ID: 0009-0007-5891-2896

Doç. Dr. Fatih ÇEMREK

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Fen Fakültesi, İstatistik Bölümü, 26040 Odunpazarı, Eskişehir

ORCID ID: 0000-0002-6528-7159

ÖZET

Zaman serisi; bir değişkene (örneğin; enflasyon, dolar kuru, GSYH) ait verilerin, belirli zaman aralıklarıyla (günlük, aylık, yıllık) gözlemlenmesi sonucunda elde edilen veri setinin kronolojik olarak sıralanmasıdır. Kronolojik olarak sıralanması önemlidir; çünkü t anındaki gözlem değeri ile $t-1$ anındaki gözlem değeri, genellikle birbirleriyle ilişkilidir. Zaman serileri analizi ise bu serileri tanımlamak ve öngörmek için gerekli yöntemlerin bütünüdür. Zaman serileri analizi; başta İstatistik ve Ekonometri olmak üzere, birçok bilim dalında kullanılan önemli bir uygulama alanıdır. Zaman serisi modellerinin temel varsayımlarından birisi, serinin durağanlık özelliği göstermesidir. Durağanlık, bir zaman serisinin istatistiksel özelliklerinden; ortalama ve varyansının sabit, kovaryansın ise zamandan bağımsız olmasıdır. Dolayısıyla yapılan analizlerin istatistiksel anlamı olması için serilerin durağanlığının sağlanması gereklidir. Birim kök testleri, zaman serisi analizinde serinin durağan olup olmadığını anlamak için kullanılan en önemli istatistiksel testlerdir. Bu çalışmada öncelikle klasik birim kök testleri yapılmış, ardından ekonomik serilerde sıkça karşılaşılan yapısal kırılmaların etkisi göz önüne alınarak, tek ve çoklu kırılmaları dikkate alan birim kök testleri uygulanmıştır. Daha sonra yapılan birim kök testi sonuçlarından elde edilen bulgulardan faydalanarak değişkenler arasındaki ilişkinin yönünü belirlemek için ise nedensellik testi yapılmıştır. Yapılan bu testler; Türkiye’de enflasyonun göstergesi olan Tüketici fiyat endeksi (TÜFE) ve Yurt İçi Üretici Fiyat Endeksi (Yİ-ÜFE) ile birlikte, enflasyonu etkilediği kabul edilen ABD doları nominal alış kuru, Brent ham petrol fiyatı ve sanayi üretim endeksi serileri kullanılarak 2000:01–2024:12 dönemine ait aylık veriler üzerinden zaman serisi analizi ile gerçekleştirilmiştir. Çıkan sonuçlar incelenerek, yorumlanmış ve çalışma tamamlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Enflasyon, Tüketici Fiyat Endeksi (TÜFE), Üretici Fiyat Endeksi (ÜFE), Yapısal Kırılmalar, Birim Kök Testleri, Nedensellik

CRISIS DYNAMICS OF TURKISH INFLATION: EXAMINING STRUCTURAL BREAKS IN CPI AND PPI USING NEXT GENERATION UNIT ROOT TESTS (2000-2024)

ABSTRACT

A time series is defined as the chronological ordering of a dataset obtained by observing a variable (e.g., inflation, exchange rate, GDP) at specific time intervals (daily, monthly, annually). This chronological order is crucial because the observation value at time t and the observation value at time $t-1$ are generally correlated. Time series analysis encompasses the set of methods required to describe and forecast these series. It is a prominent application area utilized in various scientific disciplines, primarily in Statistics and Econometrics. One of the fundamental assumptions of time series models is that the series exhibits stationarity. Stationarity implies that the statistical properties of a time series, namely its mean and variance, are constant, and its covariance is independent of time. Therefore, ensuring the stationarity of the series is essential for the statistical validity of the analyses. Unit root tests are the primary statistical tools used in time series analysis to determine whether a series is stationary. In this study, classical unit root tests were initially conducted. Subsequently, taking into account the effects of structural breaks frequently encountered in economic series, unit root tests that account for single and multiple breaks were applied. Furthermore, based on the findings from the unit root tests, a causality test was performed to determine the direction of the relationship between the variables. These tests were implemented via time series analysis using monthly data spanning the period from 2000:01 to 2024:12. The dataset includes the Consumer Price Index (CPI) and Domestic Producer Price Index (D-PPI) as indicators of inflation in Turkey, alongside the US Dollar nominal buying exchange rate, Brent crude oil prices, and the industrial production index series, which are considered to influence inflation. The study concludes with an examination and interpretation of the empirical findings.

Keywords: Inflation, Consumer Price Index (CPI), Producer Price Index (PPI), Structural Breaks, Unit Root Tests, Causality

1. GİRİŞ

Enflasyon kavramını en basit haliyle tanımlamak gerekirse, paranın satın alma gücünün azalmasıdır. Paranın satın alma gücünün azalması ise satış fiyatlarının artışına sebebiyet vermektedir. Bu durumda fiyat istikrarsızlığı ve makroekonomik öngörülemezliğe yol açmaktadır. Türkiye ekonomisinin dönem dönem en temel sorun alanlarından birisi budur. 2000-2024 dönemini kapsayan süreçte Türkiye ekonomisi; 2001 yerel ekonomik krizi, 2008 küresel finansal krizi, iç ve dış politik gelişmeler ve COVID 19 pandemisi sonrası ortaya çıkan pek çok kırılmaya maruz kalmıştır. Bu tür kırılmalar ise; iktisadi zaman serilerinin

ortalama ve varyans gibi istatistiksel özelliklerinde kalıcı değişimlere, yani yapısal kırılmalara yol açmaktadır.

Zaman serisi modellerinin temel varsayımlarından birisi, serinin durağanlık özelliği göstermesidir. Durağanlık, bir zaman serisinin istatistiksel özelliklerinden; ortalama ve varyansının sabit, kovaryansın ise zamandan bağımsız olmasıdır. Dolayısıyla, yapılan analizlerin istatistiksel olarak anlamlı olabilmesi için serilerin durağanlığının sağlanması gereklidir. Literatürde yaygın olarak kullanılan Genişletilmiş Dickey-Fuller (ADF) ve Kwiatkowski-Phillips-Schmidt-Shin (KPSS) gibi geleneksel birim kök testleri, serilerin tüm gözlem aralığı boyunca sabit bir yapıda olduğunu varsayımı ile çalışmaktadır. Ancak, yapısal kırılmalar barındıran serilerde bu testler yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir. Bu durum literatürde “yalancı birim kök” problemi olarak ifade edilmektedir (Perron, 1989). Bundan dolayı çalışmada tek yapısal kırılmaya izin veren Zivot-Andrews (ZA) birim kök testi ile” iki yapısal kırılmaya izin veren Lee-Strazicich (LS) birim kök testleri de kullanılmıştır. Böylece çalışma kapsamında incelenen serilerin durağanlaşma dereceleri (I(d)), hem geleneksel birim kök testleriyle (ADF, KPSS) hem de yapısal kırılmaları dikkate alan birim kök testleriyle (ZA, LS) tespit edilmiş ve böylece Türkiye ekonomisinin yaşadığı yapısal kırılmalar da dikkate alınabilmektedir.

Çalışmada incelenen değişkenlerin arasındaki ilişkinin yönünü belirlemek için ise nedensellik testi yapılmıştır. Yapılan birim kök testleri sonuçlarına göre, çalışmadaki serilerin durağanlaşma dereceleri farklı olduğu için Toda-Yamamoto (1995) nedensellik analizi tercih edilmiştir. Çünkü bu yöntem serilerin bütünleşme derecesi ne olursa olsun, modele dahil edilen maksimum bütünleşme derecesi (d_{max}) sayesinde güvenilir nedensellik sonuçları sunmaktadır.

Bu çalışmanın temel amacı, Türkiye’de enflasyonun dinamiklerini yapısal kırılmalar altında klasik ve yapısal kırılmalı birim kök testleriyle incelemektir. Çalışmada son olarak incelenen makroekonomik değişkenler arasındaki ilişkinin varlığı ve nedensellik yönü belirlenecektir.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

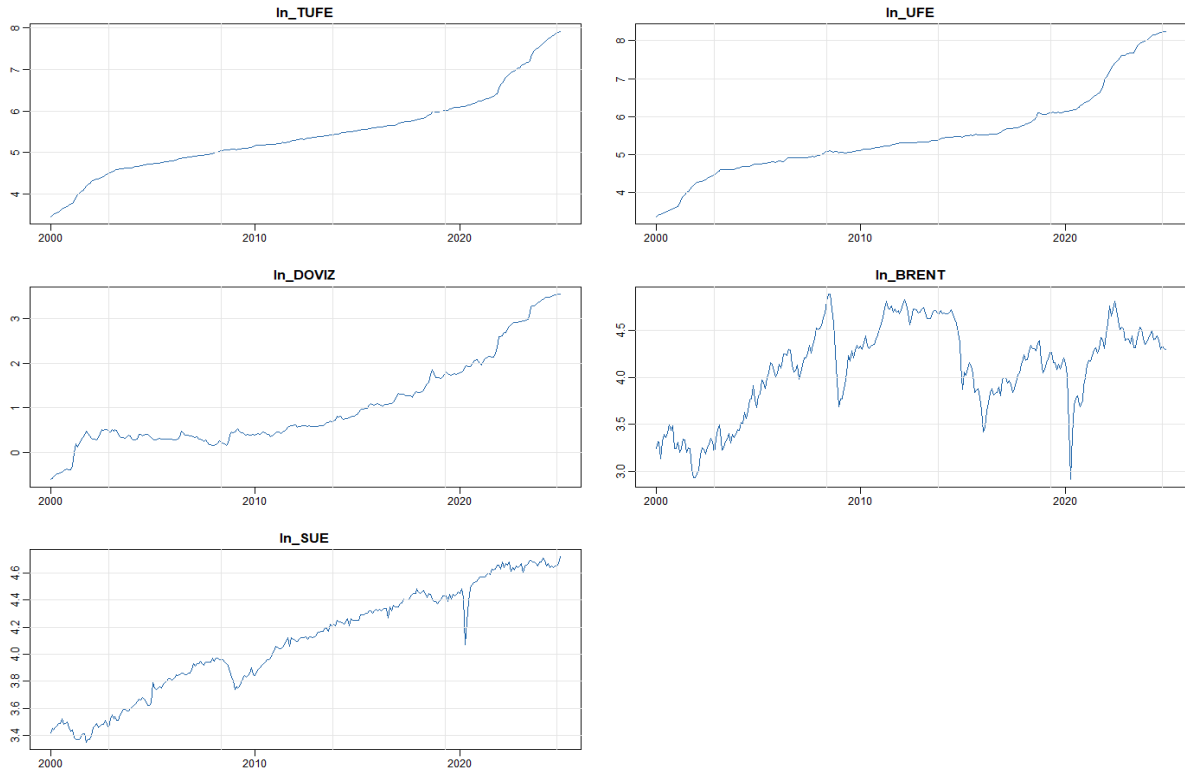
2.1 Veri Seti ve Metodoloji

Çalışmada kullanılan değişkenler: Tüketici Fiyat Endeksi (ln_TUFE), Üretici Fiyat Endeksi (ln_UFE), ABD Doları Nominal Alış Kuru (ln_DOVIZ), Brent Petrol Fiyatı (ln_BRENT) ve Sanayi Üretim Endeksi (ln_SUE)’dir. Veri seti, 2000:01 ile 2024:12 dönemini kapsayan 300 aylık gözlemden oluşmaktadır. Makroekonomik veriler, Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası Elektronik Veri Dağıtım Sistemi (EVDS), Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) ve Federal Reserve Bank of St. Louis’ten elde edilmiştir.

Tablo 1. Tanımlayıcı İstatistikler (Logaritmik Değer)

Değişkenler	Gözlem	Ortalama	Standart Sapma	Minimum	Maksimum
ln_TUFE	300	5,4385	0,9426	3,4563	7,9140
ln_UFE	300	5,4919	1,0845	3,3708	8,2417
ln_DOVIZ	300	1,0240	0,9968	-0,6090	3,5526
ln_BRENT	300	4,0927	0,4870	2,9113	4,8882
ln_SUE	300	4,0924	0,3964	3,3524	4,7229

Tüm değişkenler için 300 gözlem bulunmaktadır. Üretici fiyatlarının (5,49), tüketici fiyatlarına (5,43) göre hem ortalama hem de maksimum değer açısından biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. Ayrıca ln_UFE'nin standart sapması (1,08), ln_TUFE'den (0,94) daha yüksektir. Bu da üretici fiyatlarındaki dalgalanmanın tüketici fiyatlarına göre daha fazla olduğunu kanıtlamaktadır. ln_DOVIZ değişkeni, ortalamasına (1,02) kıyasla oldukça yüksek bir standart sapmaya (0,99) sahiptir. Bu durum, incelenen dönemde döviz kurlarında çok ciddi dalgalanmalar yaşandığını göstermektedir. Minimum değerinin negatif (-0,60) olması, orijinal döviz kuru verisinin bir dönem 1'in altında (0 ile 1 arasında) değer aldığını göstermektedir. ln_SUE, 0,39'luk standart sapma değeri ile tablodaki en istikrarlı değişkendir.



Şekil 1. Çalışma kapsamında incelenen serilere ait zaman serisi grafikleri

Çalışmada öncelikle klasik birim kök testleri (ADF, KPSS) uygulanmıştır. Ardından, yapısal kırılmaları dikkate alan birim kök testleri (ZA, LS) gerçekleştirilmiştir. Son olarak değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisi Toda-Yamamoto testi ile belirlenmiştir.

2.2 ADF ve KPSS Birim Kök Test Sonuçları

Yapısal kırılmaları dikkate almayan geleneksel birim kök testlerine ilişkin sonuçlar Tablo 1’de verilmiştir. ADF ve KPSS test sonuçlarına göre, $\ln\_SUE$ serisi düzey değerinde $I(0)$ yani durağandır. Diğer seriler ($\ln\_TUF$, $\ln\_UFE$, $\ln\_DOVIZ$, $\ln\_BRENT$) ise birinci farklarında $I(1)$ düzeyinde durağanlaşmaktadır.

Tablo 2. Klasik Birim Kök Test Sonuçları (ADF, KPSS)

Değişken	ADF Düzey	ADF 1. Fark	KPSS Düzey	KPSS 1. Fark	Karar
$\ln\_TUF$	-0,1029 (0,9946)	-4,4795*** (0,0002)	0,266	0,471*	$I(1)$
$\ln\_UFE$	-0,0072 (0,9960)	-6,9816*** (p<0,0001)	0,301	0,408**	$I(1)$
$\ln\_DOVIZ$	0,1253 (0,9974)	-11,7567*** (p<0,0001)	0,444	0,479*	$I(1)$
$\ln\_BRENT$	-2,8072 (0,1958)	-12,2674*** (p<0,0001)	0,312	0,080***	$I(1)$
$\ln\_SUE$	-4,3240*** (0,0033)	—	0,120**	—	$I(0)$

Notlar: Düzey değerlerinde testlerin sabit ve trendli modeli, birinci farklarda ise testlerin sabit modelleri yapılmıştır. ADF testi için H_0 birim kök varlığını, KPSS için H_0 durağanlığı ifade etmektedir. ***, **, * işaretleri sırasıyla %1, %5 ve %10 anlamlılık düzeylerini temsil etmektedir. ADF testi için gecikme uzunlukları Schwarz Bilgi Kriterine (SIC) göre belirlenmiştir. KPSS testi için düzey değerlerinde (sabitli ve trendli model) %1, %5 ve %10 kritik değerleri sırasıyla 0,216, 0,146 ve 0,119’dur. Birinci farklar (sabitli model) için kritik değerler ise sırasıyla 0,739, 0,463 ve 0,347’dir.

2.3 Zivot-Andrews Birim Kök Testi Sonuçları

Zivot-Andrews (1992) testi, serilerde tek bir yapısal kırılmayı izin veren bir birim kök testidir. Serilere, hem sabitte kırılmaya (Model A), hem de sabit ve trendde kırılmaya (Model C) izin veren modeller uygulanmıştır. Tablo 2’de gösterilen sonuçlara göre, $\ln\_SUE$ serisinin Model C’de 2020M04 tarihinde bir kırılma ile düzey değerinde durağan olduğu tespit edilmiştir (%1 anlamlılık düzeyinde). $\ln\_TUF$ ve $\ln\_BRENT$ serileri de sırasıyla 2018M09 ve 2014M09 tarihlerindeki kırılmalar ile Model C’ye göre durağan bulunmuştur.

Düzey değerlerinde durağan olmayan $\ln\_UFE$ ve $\ln\_DOVIZ$ serilerinin birinci farkları alındığında, her ikisi de 2021M12 tarihindeki kırılma ile Model A’ya göre durağanlaşmıştır (%1 anlamlılık düzeyinde).

Tablo 3. Zivot-Andrews Birim Kök Test Sonuçları

Model A: $y_t = \mu + \beta t + \theta DU_t(\hat{\lambda}) + \alpha y_{t-1} + \sum_{j=1}^k \omega_j \Delta y_{t-j} + \varepsilon_t$							
Seri Adı	Kırılma Tarihi	k	ZA test istatistiği	Sabit (μ)	Trend (β)	Kırılma 1 (θ)	Kırılma 2 (γ)
ln_TUFE	2021M10	1	-3,544	0,0251	—	0,0217	—
ln_UFE	2020M07	1	-3,105	0,0275	—	0,0209	—
d_UFE	2021M12	0	-9,073***	0,0049	—	0,0056	—
ln_DOVIZ	2018M02	2	-1,270	0,0097	—	0,0256	—
d_DOVIZ	2021M12	1	-12,838***	0,0088	—	0,0114	—
ln_BRENT	2004M02	1	-4,019	0,2345	—	0,0702	—
ln_SUE	2009M03	0	-2,239	0,0751	—	0,0151	—
Model C: $y_t = \mu + \beta t + \theta DU_t(\hat{\lambda}) + \gamma DT_t(\hat{\lambda}) + \alpha y_{t-1} + \sum_{j=1}^k \omega_j \Delta y_{t-j} + \varepsilon_t$							
Seri Adı	Kırılma Tarihi	k	ZA test istatistiği	Sabit (μ)	Trend (β)	Kırılma 1 (θ)	Kırılma 2 (γ)
ln_TUFE	2018M09	1	-5,347**	0,0959	0,0001	-0,0074	0,0007
ln_UFE	2018M09	1	-4,795	0,0969	0,0002	-0,0063	0,0008
ln_DOVIZ	2014M01	2	-3,737	0,0147	0,0001	-0,0024	0,0011
ln_BRENT	2014M09	1	-5,218**	0,3887	0,0013	-0,1490	-0,0005
ln_SUE	2020M04	1	-5,672***	0,4380	0,0006	0,0275	-0,0009

Notlar: *** %1, ** %5, * %10 anlamlılık düzeyinde H_0 hipotezinin reddedildiğini göstermektedir. Model A sadece sabitte kırılmaya izin verdiği için, trend (β) ve kırılma 2 (γ) parametrelerini içermez. Model A için kritik değerler sırasıyla -5,34 (%1), -4,80 (%5) ve -4,58 (%10) iken; Model C için kritik değerler -5,57 (%1), -5,08 (%5) ve -4,82 (%10)'dur. d : Ön eki, serinin birinci farkını ifade etmektedir. Birinci fark serilerine sadece Model A uygulanmıştır. k: aylık veri yapısına uygun olarak belirlenen maksimum 12 gecikme arasından Schwarz Bilgi Kriteri'ne (SIC) göre seçilen optimal gecikme uzunluğudur.

2.4 Lee-Strazicich (2003) Birim Kök Testi Sonuçları

Lee-Strazicich (2003) testi, serilerde iki yapısal kırılmayı izin veren bir birim kök testidir. Tablo 3'te verilen Model A (Sabit) ve Model C (Sabit ve Trendli) sonuçlarına göre, ln_SUE ve ln_BRENT serileri düzey değerinde iki yapısal kırılma ile durağan bulunmuştur. ln_SUE serisi, 2004M12 ve 2011M08 tarihlerinde kırılmalarla Model A'da %1 anlamlılık düzeyinde; ln_BRENT serisi ise 2014M12 ve 2015M10 tarihlerinde kırılmalarla yine Model A'da %5 anlamlılık düzeyinde durağandır.

ln_TUFE, ln_UFE ve ln_DOVIZ serileri için Model A ve Model C'de sıfır hipotezi (H_0) reddedilememiş, ve bu seriler düzey değerinde birim köklü bulunmuşlardır. Ancak, bu serilerin birinci farkları alındığında, Model A'ya göre %1 anlamlılık düzeyinde durağanlaştıkları görülmüştür.

Tablo 4. Lee-Strazicich (2003) Birim Kök Test Sonuçları

Model A: $y_t = \mu + d_1B_{1t} + d_2B_{2t} + y_{t-1} + u_t$									
Seri Adı	TB_1	TB_2	k	LS test ist.	μ	d_1	d_2	d_3	d_4
ln_TUFE	2022M06	2022M06	5	-1,789	0,0148	0,0267	0,0112	—	—
d_TUFE	2003M02	2018M04	0	-7,155***	-0,0002	-0,0106	0,0381	—	—
ln_UFE	2018M04	2022M06	6	-1,742	0,0161	-0,0091	0,0611	—	—
d_UFE	2002M12	2020M10	0	-8,142***	-0,0000	-0,0212	0,0250	—	—
ln_DOVIZ	2003M02	2021M08	3	-1,242	0,0139	0,0057	-0,0146	—	—
d_DOVIZ	2002M12	2003M06	1	-12,647***	0,0001	-0,0646	0,0155	—	—
ln_BRENT	2014M12	2015M10	1	-3,428**	0,0051	-0,2715	-0,2006	—	—
ln_SUE	2004M12	2011M08	0	-4,841***	0,0037	0,1462	0,0517	—	—
Model C: $y_t = \mu + d_1B_{1t} + d_2B_{2t} + d_3B_{1t} + d_4B_{2t} + y_{t-1} + u_t$									
Seri Adı	TB_1	TB_2	k	LS test ist.	μ	d_1	d_2	d_3	d_4
ln_TUFE	2003M07	2019M12	3	-3,644	0,0277	-0,0042	-0,0202	-0,0130	0,0250
ln_UFE	2003M03	2020M10	1	-3,159	0,0322	-0,0008	-0,0246	-0,0240	0,0310
ln_DOVIZ	2004M05	2016M08	3	-3,424	0,0195	-0,0130	-0,0150	0,0078	0,0195
ln_BRENT	2004M11	2014M12	1	-5,154***	0,0090	-0,0887	-0,0053	-0,2701	-0,000
ln_SUE	2008M03	2010M10	0	-5,405***	0,0056	-0,0139	-0,0037	0,0377	0,0021

Notlar: *** ve ** sırasıyla %1 ve %5 anlamlılık düzeyinde durağanlığı göstermektedir. Testin kritik değerleri Model A için %1 (-3,58), %5 (-3,03) ve %10 (-2,75) iken; Model C için %1 (-4,18), %5 (-3,66) ve %10 (-3,39) seviyelerindedir. k: Schwarz Bilgi Kriterine (SIC) göre belirlenen optimum gecikme uzunluğunu ifade etmektedir. d₁: Ön eki, serinin birinci farkını ifade etmektedir. Birinci fark serilerine sadece Model A uygulanmıştır. Model A'da d₁ ve d₂ seviye kırılma kuklalarını; Model C'de ise d₁ ve d₃ seviye, d₂ ve d₄ trend kırılma kuklalarını temsil etmektedir.

2.5 Toda-Yamamoto Nedensellik Testi Sonuçları

Değişkenler arasındaki nedensellik ilişkisini belirlemek amacıyla Toda-Yamamoto (1995) testi uygulanmıştır. Bu test, değişkenlerin durağanlaşma derecesinden bağımsız olarak uygulanabilmesi ve eşbütünleşme ön şartı aramadığı için tercih edilmiştir. Tablo 5'te sunulan sonuçlara göre, test edilen yirmi nedensellik ilişkisinin yedi tanesi istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Anlamlı olarak bulunan nedensellik ilişkileri şöyledir:

- ÜFE'den ln_TUFE'ye doğru güçlü ve anlamlı bir nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir ($F = 8.129$, $p < 0.001$). Bu sonuç, üretim maliyetlerindeki artışların doğrudan tüketici fiyatlarına yansıdığını göstermektedir. Üretici maliyetlerinin kontrolü, tüketici enflasyonunun yönetilmesi açısından kritik önem taşımaktadır.
- Döviz kuru'ndan ln_TUFE'ye doğru istatistiksel olarak anlamlı ve güçlü bir nedensellik ilişkisi bulunmuştur ($F = 12.210$, $p < 0.001$). Türkiye'nin ithalatçı bir ekonomi olması nedeniyle, döviz kurunda meydana gelen bir artış, ithal mal ve

hizmetlerin fiyatını yükseltmektedir. Bu bulgu, döviz kurundaki dengenin sağlanmasının enflasyon yönetiminde ne kadar önemli olduğunu ortaya koymaktadır.

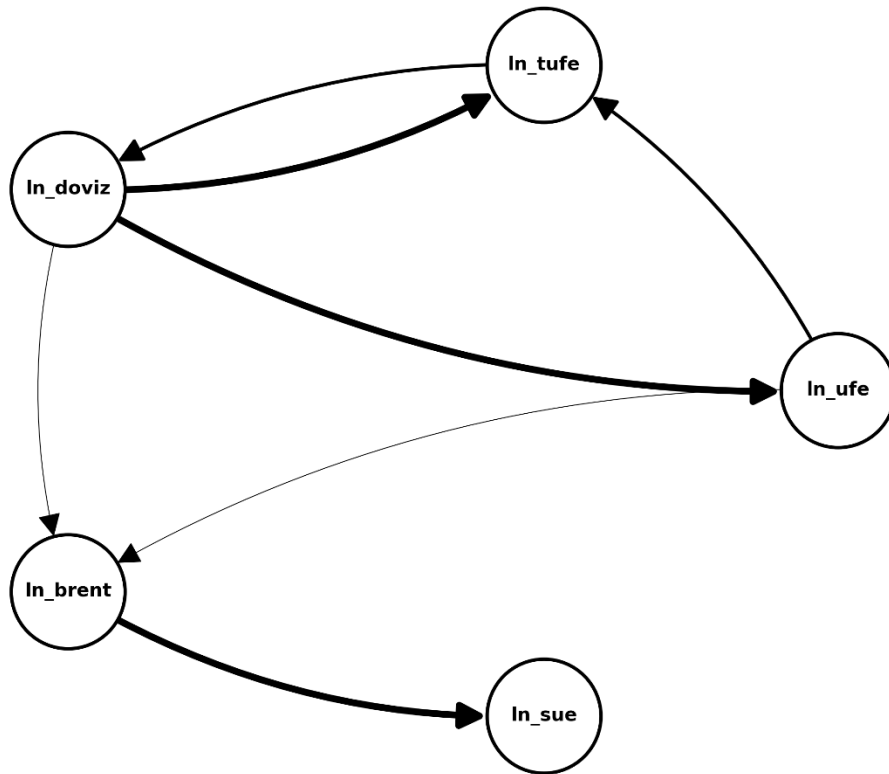
- Döviz kuru'ndan $\ln\_UFE$ 'ye doğru en güçlü nedensellik ilişkilerinden biri tespit edilmiştir ($F = 18.185$, $p < 0.001$). Döviz kurunun güçlenmesi, ithal girdilerin maliyetini artırmakta ve üretici fiyatlarına yansımaktadır. Bu bulgu, küresel ticaret ve dış ticaret dengesinin üretim maliyetlerine etkisini göstermektedir.
- TÜFE'den $\ln\_DOVIZ$ 'e doğru istatistiksel olarak anlamlı bir nedensellik ilişkisi gözlenmiştir ($F = 7.132$, $p = 0.001$). Tüketici fiyatlarında meydana gelen artışlar, döviz kurunun hareketini etkilemektedir. Yüksek enflasyon ortamı, para biriminin değersizleşmesine neden olabilmektedir.
- ÜFE'den Brent petrol fiyatına doğru istatistiksel olarak anlamlı bir nedensellik ilişkisi bulunmuştur ($F = 3.454$, $p = 0.033$). Türkiye gibi enerji ithalatçısı bir ekonominin yerel üretici fiyatlarındaki değişimin, küresel petrol piyasalarındaki fiyat oluşumunu yönlendirmesi iktisadi teoriyle ve piyasa gerçekleriyle örtüşmemektedir. Bu istatistiksel bulgunun, her iki değişkeni de eş zamanlı etkileyen ancak modelde yer almayan küresel şokların yarattığı bir “sahte nedensellik” olduğu değerlendirilmektedir (Gujarati, 2011).
- Döviz kurundan $\ln\_BRENT$ 'e doğru istatistiksel olarak anlamlı bir nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir ($F = 3.436$, $p = 0.034$). Döviz kurunun dolarlı varlıkların fiyatını etkilemesi nedeniyle, Brent petrol fiyatları da döviz kurdan etkilenmektedir.
- Brent petrol fiyatından sanayi üretim endeksi'ne doğru güçlü ve anlamlı bir nedensellik ilişkisi tespit edilmiştir ($F = 13.370$, $p < 0.001$). Enerji fiyatlarındaki artışlar, üretim faaliyetlerinin maliyetini artırmakta ve sanayi üretimini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu bulgu, enerji maliyetlerinin ekonomik aktivite düzeyi üzerindeki belirleyici etkisini göstermektedir.

Tablo 4. Toda-Yamamoto Nedensellik Testi Sonuçları (Seçilmiş Nedensellik İlişkileri)

Nedensellik Yönü	F İstatistiği	p	Karar
$\ln\_UFE \rightarrow \ln\_TUE$	8,129	< ,001***	H ₀ Reddedildi
$\ln\_DOVIZ \rightarrow \ln\_TUE$	12,210	< ,001***	H ₀ Reddedildi
$\ln\_DOVIZ \rightarrow \ln\_UFE$	18,185	< ,001***	H ₀ Reddedildi
$\ln\_TUE \rightarrow \ln\_DOVIZ$	7,132	,001**	H ₀ Reddedildi
$\ln\_UFE \rightarrow \ln\_BRENT$	3,454	,033*	H ₀ Reddedildi
$\ln\_DOVIZ \rightarrow \ln\_BRENT$	3,436	,034*	H ₀ Reddedildi
$\ln\_BRENT \rightarrow \ln\_SUE$	13,370	< ,001***	H ₀ Reddedildi

Notlar: Tabloda yalnızca istatistiksel olarak anlamlı bulunan nedensellik ilişkilerine yer verilmiştir. Test sonuçları, Modifiye Edilmiş Wald (MWald) testine ait F-istatistiklerini yansıtmaktadır. “→” işareti nedenselliğin yönünü ifade etmektedir. H₀ hipotezi: “İlgili yönde nedensellik yoktur” şeklindedir.

* p < ,05. ** p < ,01. *** p < ,001.



Şekil 2. Toda-Yamamoto Nedensellik Ağı

Çalışmadaki değişkenler arasındaki etkileşimin gücü ve yönü, Şekil 2’de sunulan nedensellik ağı üzerinden açıkça görülebilmektedir.

3. SONUÇ

Bu çalışmada, 2000:01–2024:12 dönemine ait aylık veriler kullanılarak Türkiye’de enflasyonun göstergesi olan Tüketici fiyat endeksi (TÜFE) ve Yurt İçi Üretici Fiyat Endeksi (Yİ-ÜFE) ile birlikte, enflasyonu etkilediği kabul edilen ABD doları nominal alış kuru, Brent ham petrol fiyatı ve sanayi üretim endeksi serileri kullanılarak zaman serisi yöntemleriyle incelenmiştir. Söz konusu dönem; 2001 ekonomik krizi, 2008 küresel finansal krizi, COVID-19 pandemisi ve çeşitli iç ve dış politik gelişmeler gibi makroekonomik açıdan kritik olayları barındırmaktadır. Bu kırılmaların seriler üzerindeki olası etkilerini doğru biçimde tespit edebilmek amacıyla, geleneksel birim kök testlerinin (ADF, KPSS) yanı sıra yapısal kırılmalara izin veren Zivot-Andrews ve Lee-Strazicich testleri de uygulanmıştır.

Geleneksel birim kök testleri bulguları incelendiğinde, $\ln\_SUE$ serisinin düzey değerinde durağan olduğu $I(0)$, diğer serilerin ($\ln\_TUFE$, $\ln\_UFE$, $\ln\_DOVIZ$, $\ln\_BRENT$) ise birinci farklarında durağanlaştığı $I(1)$ görülmektedir. Yapısal kırılmalı birim kök testleri ise geleneksel testlerden farklı sonuçlar ortaya koymuştur. Zivot-Andrews testi, $\ln\_TUFE$ serisinin 2018M09, $\ln\_BRENT$ serisinin 2014M09 ve $\ln\_SUE$ serisinin 2020M04 tarihlerindeki kırılmalarla düzey değerinde durağan olduğunu göstermiştir. Lee-Strazicich testi ise $\ln\_SUE$ ve $\ln\_BRENT$ serilerinin iki yapısal kırılmayla birlikte düzey değerinde durağan olduğunu teyit etmiştir. Bu bulgular, geleneksel birim kök testlerinin yapısal kırılma içeren serilerde yanıltıcı sonuçlar üretebileceğini doğrulamakta ve “yalancı birim kök” problemine dikkat çekmektedir (Perron, 1989).

Değişkenlerin farklı durağanlaşma derecelerine sahip olması nedeniyle tercih edilen Toda-Yamamoto nedensellik testi, sınanan yirmi ilişkiden yedisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ortaya koymuştur. Bu bulgulardan öne çıkan en kritik ilişkiler şunlardır: Döviz kurunun hem TÜFE hem de ÜFE üzerindeki güçlü nedensellik etkisi, Türkiye’nin dışa bağımlı ekonomik yapısını göstermektedir. Döviz kurundaki artışlar ithal girdilerin ve tüketim mallarının fiyatlarını yükselterek enflasyonu tetikleyen en önemli etken olarak öne çıkmaktadır. ÜFE’nin TÜFE üzerindeki anlamlı etkisi ise üretici maliyetlerindeki yükselişlerin tüketici fiyatlarına yansıdığını ve bu iki fiyat endeksi arasında güçlü bir aktarım mekanizmasının varlığını ortaya koymaktadır. Brent petrol fiyatlarının sanayi üretim endeksini olumsuz yönde etkilemesi de enerji maliyetlerinin üretim faaliyetleri üzerindeki baskısını netleştirmektedir.

Sonuç olarak bu bulgular, Türkiye’de enflasyonun tek boyutlu bir sorun olmadığını; döviz kuru oynaklığı, enerji fiyatları, üretim maliyetleri ve yapısal kırılmalardan beslenen karmaşık bir süreç olduğunu göstermektedir. Bu bilgiler ışığında enflasyonla mücadelede yalnızca faiz

oranı ayarlamaları gibi merkez bankası müdahalelerine odaklanmak yerine, döviz kuru istikrarının sağlanması, enerji ithalatındaki dışa bağımlılığın azaltılması ve üretim maliyetlerini düşürmeye yönelik sanayi politikaları geliştirilmesiyle birlikte eş zamanlı olarak uygulamaya konulması büyük önem taşımaktadır. Gelecekteki çalışmalarda ise bu çalışmanın bulgularının farklı istatistiksel testlerle ya da 2001 krizi, 2008 krizi veya COVID 19 pandemisi sonrası gibi belirli kriz dönemleri ayrı ayrı ele alınarak yeniden incelenmesi, Türkiye enflasyonunun daha ayrıntılı anlaşılmasına katkı sağlayabilir.

KAYNAKÇA

- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the estimators for autoregressive time series with a unit root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366), 427–431.
- Federal Reserve Bank of St. Louis. (2026). Brent crude oil prices: Europe (DCOILBRENTU). FRED Economic Data database. <https://fred.stlouisfed.org>
- Gujarati, D. N. ve Porter, D. C. (2011). *Temel ekonometri* (Ü. Şenese ve G. G. Şenese, Çev.). Literatür Yayıncılık.
- Kwiatkowski, D., Phillips, P. C., Schmidt, P., & Shin, Y. (1992). Testing the null hypothesis of stationarity against the alternative of a unit root: How sure are we that economic time series have a unit root? *Journal of Econometrics*, 54(1-3), 159–178.
- Lee, J., & Strazicich, M. C. (2003). Minimum Lagrange multiplier unit root test with two structural breaks. *Review of Economics and Statistics*, 85(4), 1082–1089.
- Nazlıoğlu, S. (2021). TSPDLIB: Time series procedures library (GAUSS programı için kütüphane).
- Perron, P. (1989). The great crash, the oil price shock, and the unit root hypothesis. *Econometric Reviews*, 8(2), 139–201.
- Toda, H. Y., & Yamamoto, T. (1995). Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes. *Journal of Econometrics*, 66(1-2), 225–250.
- Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası. (2026). ABD doları döviz kuru (TP.DK.USD.A.YTL). Elektronik Veri Dağıtım Sistemi (EVDS). <https://evds2.tcmb.gov.tr>
- Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası. (2026). Tüketici fiyat endeksi (TP.FG.J0). Elektronik Veri Dağıtım Sistemi (EVDS). <https://evds2.tcmb.gov.tr>
- Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası. (2026). Yurt içi üretici fiyat endeksi (TP.TUFE1YI.T1). Elektronik Veri Dağıtım Sistemi (EVDS). <https://evds2.tcmb.gov.tr>
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2025). Sanayi üretim endeksi, Kasım 2025. TÜİK Veri Portalı. <https://data.tuik.gov.tr>
- Türkiye İstatistik Kurumu. (2026). Tüketici fiyat endeksi (1994=100 bazlı seri), aylık veriler. TÜİK Veri Portalı. <https://data.tuik.gov.tr>
- Zivot, E., & Andrews, D. W. K. (1992). Further evidence on the great crash, the oil-price shock, and the unit-root hypothesis. *Journal of Business & Economic Statistics*, 10(3), 251–270.

HAVACILIK UYGULAMALARI İÇİN KARBON FİBER TAKVİYELİ PEEK KOMPOZİTLERDE HİGROTERMAL YAŞLANDIRMANIN MALZEMENİN MEKANİK VE FİZİKOKİMYASAL DAVRANIŞLARI ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ

Özgür DURMAZ

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 06500, Yenimahalle/Ankara

Türk Havacılık ve Uzay Sanayii A.Ş., Malzeme Mühendisliği, 06980, Kahramankazan/Ankara

ORCID ID: 0009-0002-5272-6287

Prof. Dr. Nursel DİLSİZ

Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 06500, Yenimahalle/Ankara

ORCID ID: 0000-0002-6496-0487

ÖZET

Yarı kristalin termoplastik kompozitler, özellikle amorf fazdaki zincir hareketliliği ve serbest hacim yapısı nedeniyle higrotermal koşullara duyarlı malzemelerdir. Bu çalışmada, karbon fiber takviyeli PEEK (CFR-PEEK) kompozitlerin higrotermal yaşlandırma altındaki davranışı, difüzyon mekanizması, fizikokimyasal değişimler ve mekanik performans arasındaki ilişki çerçevesinde incelenmiştir.

Numuneler 70°C ve %85 bağıl nem koşullarında bir ay süreyle yaşlandırılmış, nem alım davranışı kütle değişimi verileri kullanılarak difüzyon modeli kapsamında değerlendirilmiştir. $M_t - \sqrt{t}$ ilişkisi üzerinden yapılan analizler, nem taşınımının başlangıçta doğrusal bir difüzyon karakteri gösterdiğini, ancak zamanla zincir relaksasyonu ve serbest hacim yeniden dağılımı gibi etkiler nedeniyle doğrusal davranıştan saparak çok aşamalı bir taşınım mekanizmasına dönüştüğünü ortaya koymuştur.

Fizikokimyasal değişimler dinamik mekanik analiz (DMA) ile incelenmiş ve doymuş numunelerde camsı geçiş sıcaklığının yaklaşık 145°C'den 135°C'ye düştüğü belirlenmiştir. Bu durum, nemin polimer matris içerisinde plastikleştirici etki oluşturarak zincir segment hareketliliğini artırdığını göstermektedir.

Mekanik performans, tabakalar arası kayma dayanımı (ILSS) testleri ile değerlendirilmiştir. Oda sıcaklığında nemin etkisinin sınırlı olduğu gözlenirken, yüksek sıcaklıklarda (120°C ve 140°C) mekanik özelliklerde belirgin düşüşler meydana gelmiştir. Bu sonuçlar, nemin tek başına belirleyici olmadığını, ancak sıcaklık ile birlikte matris fazın termomekanik durumunu değiştirerek mekanik davranışı kontrol ettiğini göstermektedir.

Sonuç olarak, CFR-PEEK kompozitlerde higrotermal yaşlandırmanın etkisi, difüzyon davranışı, zincir hareketliliği ve mekanik performans arasında çok ölçekli bir etkileşim ile açıklanmakta olup, bu etkileşimin özellikle yüksek sıcaklık koşullarında kritik hale geldiği belirlenmiştir. Bu bulgular, havacılık uygulamalarında termoplastik kompozitlerin servis performansının değerlendirilmesi açısından önemli katkılar sunmaktadır.

Anahtar kelimeler: Havacılık, higrotermal, kompozit, laminat, PEEK, polimer, termoplastik.

EFFECTS OF HYGROTHERMAL AGING ON MECHANICAL AND PHYSICOCHEMICAL BEHAVIOR OF CARBON FIBER REINFORCED PEEK COMPOSITES FOR AEROSPACE APPLICATIONS

ABSTRACT

Semi-crystalline thermoplastic composites are highly sensitive to hygrothermal conditions due to chain mobility and free volume characteristics of their amorphous phase. In this study, the behavior of carbon fiber reinforced PEEK (CFR-PEEK) composites under hygrothermal ageing was investigated within the framework of diffusion mechanisms, physicochemical changes, and mechanical performance relationships.

Samples were conditioned at 70°C and 85% relative humidity for one month, and moisture uptake behavior was evaluated using a diffusion-based approach through mass change measurements. The $M_t - \sqrt{t}$ analysis revealed that moisture transport initially follows a linear diffusion behavior, while deviations from linearity occur over time due to chain relaxation and free volume redistribution, indicating a transition to a multi-stage, non-Fickian transport mechanism.

Physicochemical changes were analyzed using Dynamic Mechanical Analysis (DMA), showing a decrease in glass transition temperature from approximately 145°C to 135°C in saturated samples. This reduction confirms the plasticization effect of moisture, leading to increased chain segment mobility within the polymer matrix.

Mechanical performance was assessed via Interlaminar Shear Strength (ILSS) tests. While the effect of moisture alone was found to be limited at room temperature, a significant reduction in mechanical properties was observed at elevated temperatures (120°C and 140°C). These results indicate that moisture does not solely govern material behavior; rather, its interaction with temperature plays a dominant role by altering the thermomechanical state of the matrix.

In conclusion, the hygrothermal behavior of CFR-PEEK composites is governed by a multi-scale interaction between diffusion processes, molecular mobility, and mechanical response, becoming particularly critical at elevated temperatures. These findings provide valuable insights for the evaluation of thermoplastic composite performance under aerospace service conditions.

Keywords: Aerospace, composite, hygrothermal, laminate, PEEK, polymer, thermoplastic.

1.INTRODUCTION

Polymers are large molecular compounds formed by the covalent bonding of numerous small units called monomers to each other or to different monomers. Polymers, which generally

contain non-metallic atoms, but mostly carbon, have rich molecular chain structures and generally large molecular masses[1].

When evaluated according to the processing basis, which is the most common polymer classification, polymers are divided into three: elastomers, thermosets and thermoplastics[1]: Elastomers generally contain filler materials to achieve the desired shape and have weak bonds. For this reason, they exhibit high elastic deformation ability.

Thermosets gain high rigidity and dimensional stability thanks to their permanent cross-linked structures formed by irreversible curing reactions, while they cannot be softened, melted and therefore cannot be recycled due to their network structure. The main reason for this is that the cross-linked structures cause the material to lose its flow properties, creating an irreversible process. This situation leads to a significant restriction of chain mobility. The situation is somewhat different with thermoplastics. Since they are polymers that soften and become flexible above a certain temperature and solidify when cooled, they can be reprocessed. Thermoplastic polymers can have amorphous or semi-crystalline structures. The resistance of the material to plastic deformation increases as crystallization increases, while fracture resistance is higher in amorphous structures. Thermoplastics, which generally have longer molecular chains than thermosets, can be reprocessed repeatedly and recycled at a certain temperature because they do not have a cross-linked network structure. In addition, shorter processing times, alternative processing equipment options, and ease of storage conditions make thermoplastic materials an important alternative for engineering applications requiring high performance[2,3].

PEEK (Polyether Ether Ketone), one of the high-performance thermoplastic polymers, is frequently preferred in aerospace, defense and advanced engineering applications due to its high temperature resistance, chemical stability and its ability to be transformed into composite structures that provide very high rigidity and specific strength, especially with carbon fiber reinforcement elements. Thanks to these properties, PEEK stands out as a critical material that needs to be investigated in terms of hygrothermal behavior with its semi-crystalline structure and low moisture absorption[4].

In the aviation sector, which has the widest range of applications for advanced technological materials like PEEK, fundamental design goals include weight reduction, more efficient fuel use, and lower maintenance costs. In this context, traditional metal materials are increasingly being replaced by high-performance composite materials. These composite materials are engineering materials created by combining two or more different materials on a macroscopic scale, exhibiting superior properties that their individual components do not possess.

The structures that bear the main structural and aerodynamic loads to which the aircraft is subjected during flight, and that directly affect flight safety in the event of damage, are called primary (main) structures in an aircraft. Composite materials are used in these structures such as wing boxes, main support beams, fuselage cylindrical panels, stringers, frames, and tail structures. In secondary structures that carry more localized loads and are not primary load-bearing, composite materials are commonly used in systems such as fairings, radomes, doors, and service panels. In addition, composite materials are frequently preferred in interior structures that do not carry flight loads, such as seat support systems, cabin panels, baggage compartments, and floor panels[5].

Common applications of composite materials in aerospace structures are shown in Figure 1.

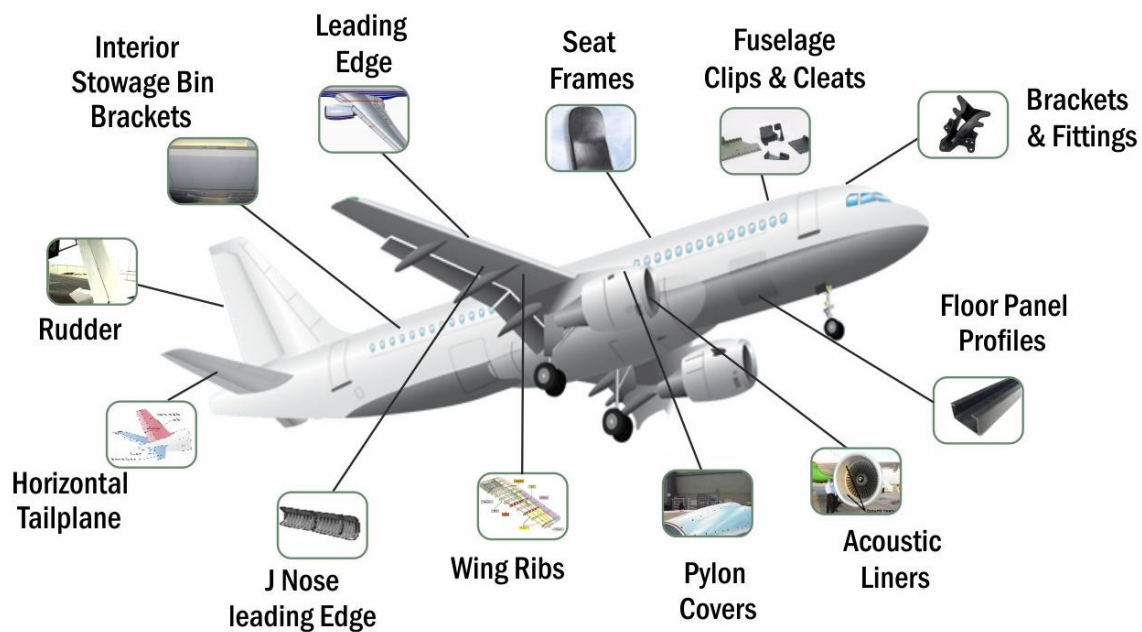


Figure 1. Common applications of composite materials in aerospace structures

The aim of this study is to investigate, from a chemical engineering perspective, the effect of the altered physicochemical structure of carbon fiber reinforced PEEK (CFR-PEEK) matrix advanced thermoplastic composites under hygrothermal conditioning on the mechanical behavior of the material. In this context, CFR-PEEK laminates were produced under controlled manufacturing parameters, post-production quality verification was performed using non-destructive testing methods, and samples were aged for one month at 70°C and 85% relative humidity.

To investigate moisture absorption behavior, mass change data were evaluated within the scope of a diffusion model, and the time-dependent change in the transport mechanism was analyzed. Based on these data, the effects of hygrothermal aging on the polymer matrix were

evaluated from a physicochemical perspective; in particular, changes in glass transition behavior and chain segment mobility were examined through dynamic mechanical analysis (DMA) results. To reveal the reflection of these physicochemical changes on mechanical performance, interlayer shear strength (ILSS) tests were carried out, and the determining role of moisture-temperature interaction on material behavior was evaluated holistically.

2. MOISTURE ABSORPTION AND DIFFUSION BEHAVIOR

Mass values measured at specific intervals throughout the aging period of the sample are given in Table 1.

Table 1 Sample aging mass results

Time (day)	Weight (g)
0	6,8292
8	6,8387
14	6,8395
23	6,8400
30	6,8401

To evaluate the diffusion mechanism, moisture uptake rates were calculated using mass change data measured during hygrothermal aging.

The moisture absorption rate of a sample at a specific time is calculated using the following equation.

$$M_t = \frac{m_t - m_0}{m_0} \dots\dots\dots(1)$$

Based on the data obtained, the relationship between M_t and $\sqrt{t}$ was evaluated to examine the time-dependent change in moisture absorption behavior, and the resulting graph is presented in Figure 2.

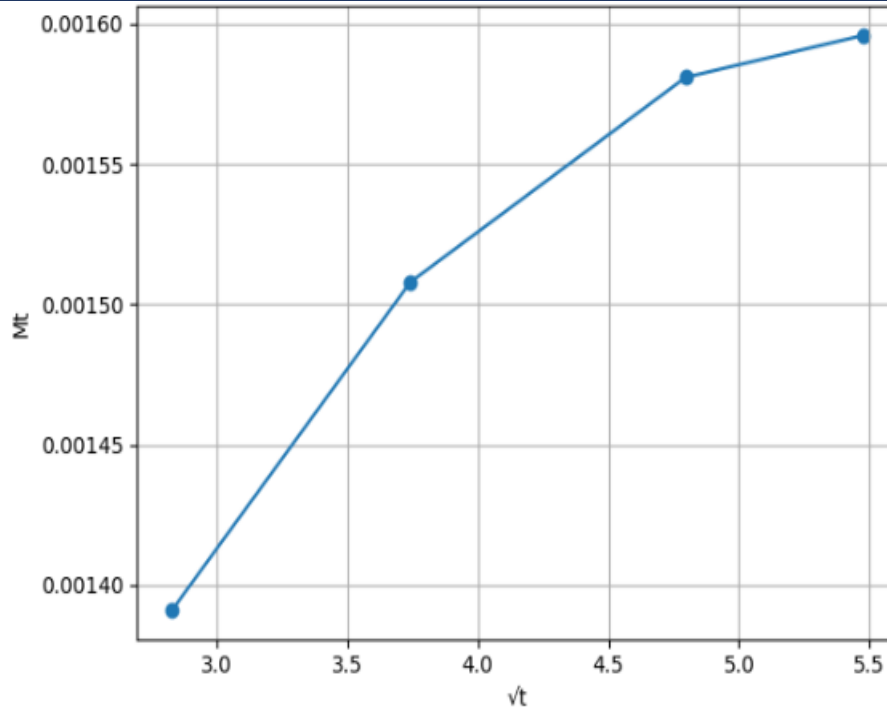


Figure 2. According to the data obtained, the $M_t - \sqrt{t}$ graph

As a result of the calculations and graphical analyses carried out within this scope, it was concluded that the moisture transport in CFR-PEEK composites, which deviates from linearity as diffusion progresses, is not limited to a single diffusion mechanism, but exhibits a multi-stage transport behavior that changes over time.

3. ANALYSIS AND TEST RESULTS

To make a detailed prediction of the changes at the interfaces, dynamic mechanical analysis (DMA), a physicochemical analysis method, was performed, and the glass transition temperature values of the fully saturated sample and the reference sample were compared.

Figure 3-a shows the DMA results for the reference sample, and Figure 3-b shows the results for the fully saturated sample.

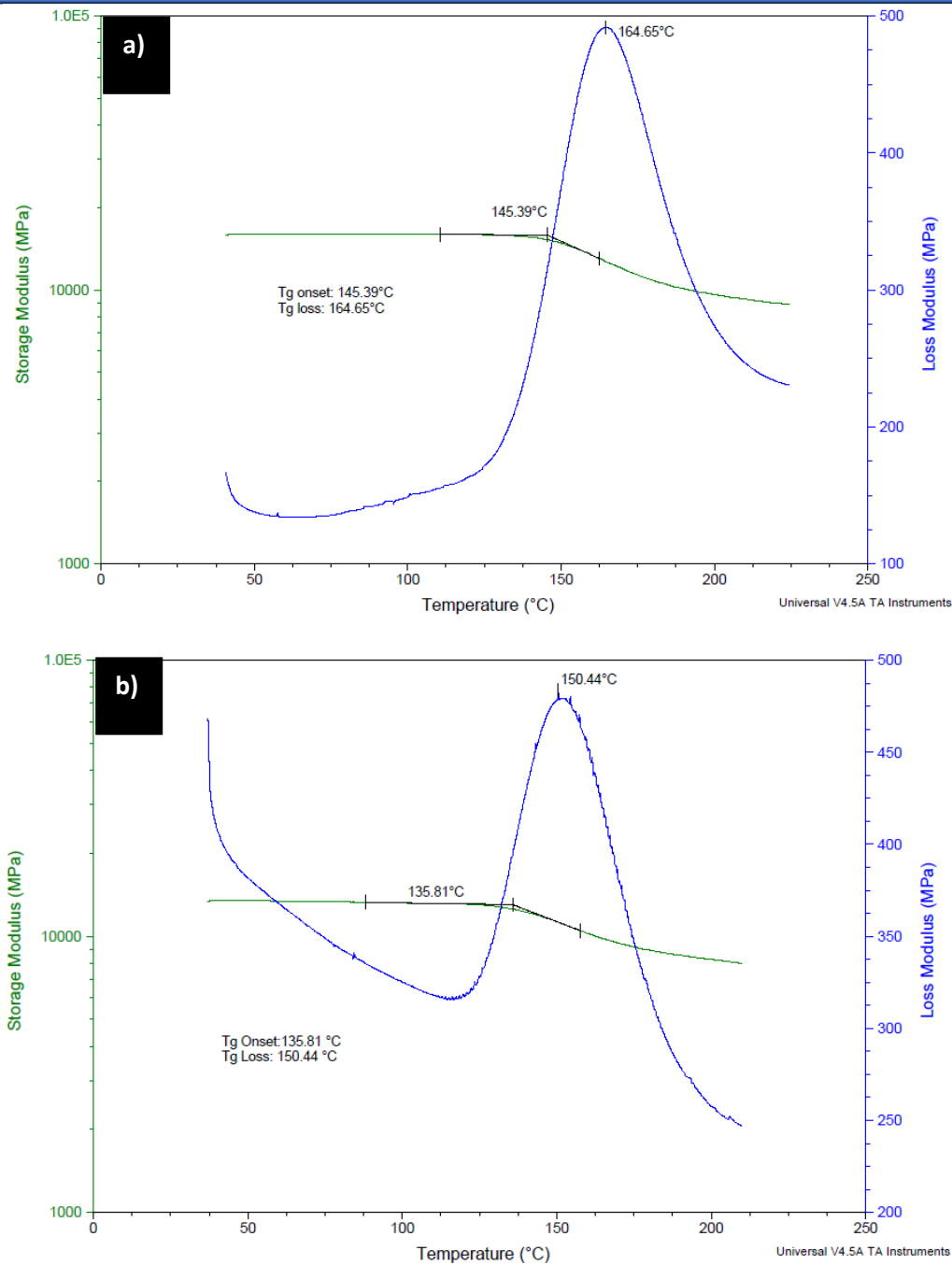


Figure 3. DMA result a) for the reference sample b) for the fully saturated sample

When the results were examined, it was observed that the initial glass transition temperature, which was around 145°C for the reference sample, decreased to around 135°C for the fully saturated sample.

The ILSS test results were obtained using four sets. The first set represents the reference sample. The second set represents the fully saturated sample, while the third and fourth sets are high-temperature test data of the fully saturated samples. This allowed for the combined

(hygrothermal) investigation of the effects of temperature and humidity, and the high-temperature behavior of moisture uptake was evaluated.

ILSS test results are given in Figure 4.

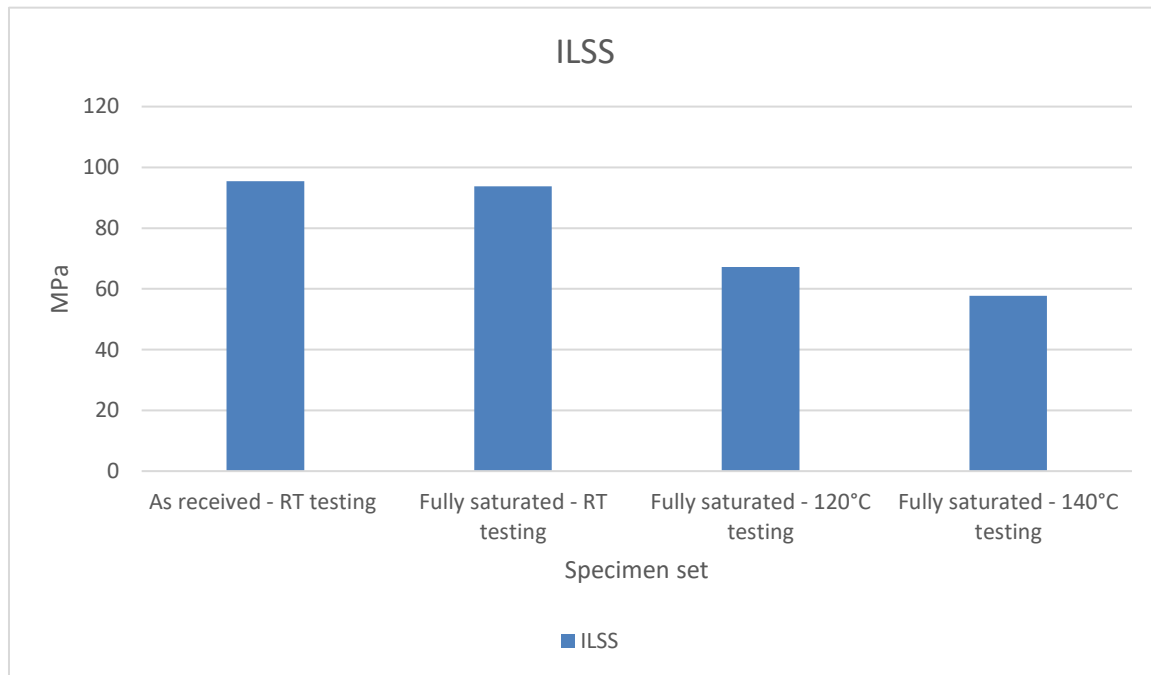


Figure 4. ILSS test results

Accordingly, while the effect of moisture absorption alone is limited, we can say that when combined with temperature, the mechanical properties decrease much more sharply.

4. RESULTS AND CONCLUSION

In this study, the behavior of CFR-PEEK composites for aerospace applications under hygrothermal aging was evaluated through desiccation, DMA, and ILSS findings.

The main results obtained are summarized below:

- The samples absorbed a limited amount of moisture during 30 days of conditioning. The mass increase was approximately 0.16%, and this result is consistent with the low desiccation character of PEEK-based systems.
- The $Mt-\sqrt{t}$ relationship showed that the desiccation process cannot be explained by uniform Fick-type diffusion. The process involves additional mechanisms such as free volume filling, chain relaxation, and time-varying mobility of the matrix.
- DMA results showed that in saturated samples, the glass transition behavior shifted to lower temperatures and the viscoelastic response was activated earlier. This indicates that moisture creates a plasticizing effect on the matrix, increasing chain segment mobility.

- At room temperature, ILSS values were found to be similar in the reference and saturated samples. This finding suggests that moisture alone has a limited effect at room temperature.
- The ILSS values of saturated samples decreased significantly at 120°C and 140°C. This result reveals that mechanical performance is controlled not only by moisture content but also by temperature-activated matrix softening and interfacial weakening.

In conclusion, the hygrothermal aging effect in CFR-PEEK composites becomes critical when combined with high temperature despite low levels of moisture uptake. Therefore, when evaluating the service performance of these materials in aerospace applications, not only the aging effects at room temperature but also the mechanical behavior at elevated temperatures after aging must be taken into account.

REFERENCES

- 1- Gürü, M., Yalçın, H., *Malzeme Bilgisi*, Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık, 2015
- 2- Gregorová, A. (2013). Application of Differential Scanning Calorimetry to the Characterization of Biopolymers
- 3- Takács, T., Abdelghafour, M., Sebök, D., Kukovecz, Á., & Janovák, L. (2024). Structural and thermoanalytical characterization of self-healing polymer: the effect of cross-linking density. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 149, 2765 - 2775.
- 4- Ma, C., Lee, C.-L., Chang, M., & Tai, N. (1992). Hygrothermal behavior of carbon fiber-reinforced poly(ether ether ketone) and poly(phenylene sulfide) composites. *Polymer Composites*, 13(6), 417–424.
- 5- Gay, D., Hoa, S. V. ve Tsai, S. W., *Composite Materials: Design and Applications*, Boca Raton, FL: CRC Press, 2003.

OSMANLI DÖNEMİ PADİŞAHLARINDAN BESTEKAR V. MURAT' IN TÜRK MÜZİĞİ ÜZERİNDEKİ ETKİLERİ VE GÜNÜMÜZE YANSIMALARI

Prof. Dr. Pınar SOMAKCI

İstanbul University, State Conservatory, Musicology Department, İstanbul

ORCID: 0000-0002-0827-2794

ÖZET

Türk Müziği'nin oluşumu ve gelişiminde Osmanlı Dönemi Padişahlarının müziğe olan yaklaşımları önemli etkenlerden birisidir. Çünkü Türk Müziği özellikle saray ve çevresinde gördüğü destekle olgunlaşmış, eğitim-öğretim alanı bulmuş, eserler üretilmiş ve böylelikle gelişme imkanı bulabilmiştir.

Aslında Türk Müziği'nin kaynağı Türklerin Müslümanlığı kabul ettikleri dönemden öncekine kadar uzanır. Müzik, Orta Asya Türklerinde, Göktürklerde, Uygurlarda, Hun Türkleri'nde, Selçuklular'da din ve devlet törenlerinin önemli ve etkili unsuru olmuştur. Zamanla tarihi süreç içerisinde Türk Müziği askeri, dini, klasik, folklorik olmak üzere dört ana kolda ilerleme göstermiştir.

Türk Müziği, tarihimizde özellikle 600 yılı aşkın bir süreyi kapsayan Osmanlı Döneminde (1299-1922), kimliğini bulmuş, olgunlaşmış ve günümüze kadar ulaşmıştır. Bu gelişmede dünyaya hükmeden, bir cihan imparatorluğunu yöneten padişahların, şahsiyetleri, desteği, müziğe verdiği önemi, yaptıkları bestelerinin rolü oldukça önemli olmuştur.

Bu çalışmada özellikle Türk Müziği'nin gelişmesinde tarihimizde önemli bir dönem olan Osmanlı İmparatorluğundaki Müzisyen Padişahlardan, V.Murat'ın müziğimiz üzerine yaptığı etkileri ve günümüze olan yansımaları ele alınmış, incelenmiş ve yaptıkları hizmetler açısından değerlendirmeler yapılmıştır. Bu çalışmanın amacı, bestekar Padişahlardan V.Murat'ın Türk Müziği'ndeki önemi hakkında farkındalık oluşturmak ve bestelerini hatırlatarak, eserlerinin yeni nesil tarafından icra edilmesine teşvik etmektir.

Ayrıca çalışmada V.Murat'ın bestelerinin listesi ve bazılarının notaları, çalışmanın ekler bölümünde yer verilerek örneklendirilmiş, eserlerin makam, form, usul yönünden genel anlamda müzikal analizi yapılarak günümüze yansımaları açısından değerlendirmeler yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: V.Murat, Osmanlı Dönemi, Müzisyen Padişahlar

THE EFFECTS OTTOMAN SULTAN AND COMPOSER V. MURAT'S ON THE TURKISH MUSIC AND HIS REFLECTIONS ON THE PRESENT

ABSTRACT

The approach of Ottoman sultans to music in the formation and development of Turkish Music is one of the important factors. Because Turkish music, especially in the palace and around with the support of the mature, education-learning area found, the works were produced and thus found the opportunity to develop.

In fact, the source of Turkish music dates back to the period before the Turks accepted Islam. Music has been an important and influential element of religious and state ceremonies in the Turks of Central Asia, Gokturks, Uygurs, Hun Turks and Selçuks. In time, Turkish music has progressed in four main branches as military, religious, classical and folkloric.

In our history, especially in the Ottoman period covering more than 600 years (1299-1922), it is understood that Turkish Music has found its identity and has reached its present day. In this development, the role of the sultans who ruled the world, ruling a world empire, their personalities, their support, the importance they gave to music and their compositions were very important.

In this study, the effects of V. Murat's on our music and its reflections on the present were examined and evaluated in terms of their services. The aim of this study is to raise awareness about the importance of the last composer Sultan V. Murat.

In this study, some notes of V. Murat's compositions were exemplified and made their musical analysis.

Key words: V. Murat, Ottoman Era, Musician Sultans

GİRİŞ

Tarihte yer etmiş sayılı medeniyetlerden biri olan Osmanlı imparatorluğundan günümüze, “Türk Musikisi” zengin bir miras olarak kalmıştır. Osmanlıda 15. yüzyıldan itibaren özellikle müzik teorisi ve 16. yüzyıldan itibaren ise müzik icrasına yönelik çalışmalar büyük ivme kazanmıştır.

Tarihi bakış içerisinde VI asırlık bir dönemde Osmanlı İmparatorluğunun Padişahları, zor şartlarda düşmanlarla mücadele ederken, ruhlarını sanatla dinlendirerek huzura kavuşmaya çalıştıkları gözlenmektedir. Osmanlı İmparatorluğu'nun kuruluşundan yıkılışına kadar geçen süreç içerisinde padişahların büyük çoğunluğunun, sanatın bir kolu olan müziğe önem verdiği, desteklemiş, hatta besteci kimlikleriyle de hizmet ederek müziğin gelişimine katkıda bulunmuş oldukları anlaşılmaktadır

Genellikle Mevlevi olan dini müzikle birlikte, din dışı müzikle de ilgilenen padişahların ilgi ve desteği, Türk Müziğini aslen devletin en üst katmanlarından beslenen bir kimliğe büründürmüştür (Çolakoğlu, Sarı, :53)

Osmanlı İmparatorluğunda toplamda 36 Padişah tahta geçmiştir. Araştırmalardan elde edilen sonuçlara göre; bunlardan 18 Padişahın, yani yarısının musikişinas olduğu anlaşılmaktadır. Musikişinaslık bizzat fiili olarak musikiyle iç içe olmuş padişahlar (bestekar, icracı olarak), ve musikiyle fiili olarak iç içe olmamış ama bir dinleyici olarak, bir musiki sever olarak gelişiminde önemli destekler vermiş padişahlar olmak üzere 2 anlamda ele alınabilir.

Araştırmalardan II. Beyazıt, IV. Murat, I. Mahmut, III.Selim, II. Mahmut, Abdülaziz, V. Murat ve VI. Mehmet /Vahdettin olmak üzere 8 Padişahın bestekar, müzisyen olduğu günümüze kadar gelen eserinden anlaşılmaktadır. V. Murat ise Osmanlı İmparatorluğunun gerileme döneminin son bestekar padişahı olması araştırmaya yönlendiren sebeplerden birini teşkil etmektedir.

Ancak, II. Murat, I. Abdülhamit, II. Abdülhamit olmak üzere 3 padişahın da besteleri olduğu kaynaklarda belirtilse de günümüze ulaşamamıştır.

Çalışmada belirtilen toplam 18 musikişinas padişahın diğer kalan 7 padişah ise; (II. Mehmet, IV. Mehmet, II. Ahmet, II. Mustafa, III. Ahmet, I. Abdülmecit, V. Reşat) musikiyi hem maddi hem manevi olarak desteklemiş, kitaplar besteler yaptırmış musikinin hem teorik hem de icra yönünün gelişimine katkıda bulunmuşlardır.

Aşağıda Osmanlı İmparatorluğu'nun Müzisyen Padişahları, kronolojik olarak dönemlerine göre kısaca şu şekilde sınıflandırılmıştır.

Osmanlı İmparatorluğunun Dönemleri

Osmanlı tarihinin kolay anlaşılabilmesi için çoğu araştırmacılar, İmparatorluğun 623 yıllık uzun tarihini genellikle; kuruluş, yükseliş, duraklama, gerileme, çöküş/yıkılış dönemi olmak üzere beş ana başlık altında inceler. *Buna göre;*

1-Kuruluş Dönemindeki Musikişinas Padişahlar (1299-1453)

Bu dönemim padişahları sırasıyla; I.Osman, II.Orhan, I.Murat, Yıldırım Beyazıt, I.Mehmet (Çelebi) ve II.Murat olarak yer alır. Osmanlı İmparatorluğunun kuruluş dönemindeki tek musikişinas Padişahı II. Murat olarak bilinir. II.Murat'ın günümüze ulaşan bir bestesi yoktur. Ancak musikiyi desteklemiş, bu alanda önemli kaynaklar kazandırmış bir Padişah olarak önemlidir.

2-Yükseliş Dönemindeki Musikişinas Padişahlar (1453-1579)

Bu dönem padişahları sırasıyla; II. Mehmet (Fatih), II. Beyazıt, I. Selim (Yavuz), I. Süleyman (Kanuni), II. Selim, III.Murat'tır. Bu dönemde musikiyi desteklemiş bir padişah olarak

II. Mehmet, bestekarlığı yönüyle de II. Beyazıt Musikişinas Padişah olarak karşımıza çıkmaktadır.

3-Duraklama Dönemindeki Musikişinas Padişahlar (1579-1699)

Bu dönem padişahları sırasıyla; III.Mehmet, I. Ahmet, I. Mustafa, II. Osman, IV. Murat, İbrahim (Deli), IV. Mehmet, II. Süleyman, II. Ahmet'tir.

Bu yüzyıl Osmanlı İmparatorluğu'nun Duraklama dönemi olmasına rağmen, Osmanlı Medeniyeti için hele bazı sanat kollarında tam bir olgunluk ve mükemmellik dönemi olmuştur. Bu dönemde, hem bestekar hem de musikişinas olarak IV. Murat, musikişinas Padişah olarak ise; IV. Mehmet, II. Ahmet ve II. Mustafa çıkmaktadır.

4-Gerileme Dönemindeki Müzisyen Padişahlar (1699-1909)

Bu dönem padişahları sırasıyla; II. Mustafa, III.Ahmet, I. Mahmut, III.Osman, III.Mustafa, I. Abdülhamit, III.Selim, IV. Mustafa, II. Mahmut, Abdülmecit, Abdülaziz, V. Murat, II. Abdülhamit'tir.

Bu dönemde hem musikişinas hem de bestekar olarak, I. Mahmut, III.Selim, II. Mahmut, Abdülaziz, V. Murat, Musikişinas padişah olarak ise, III.Ahmet, I. Abdülhamit, I. Abdülmecit ve II. Abdülhamit karşımıza çıkmaktadır.

5-Çöküş/Yıkılış Dönemindeki Müzisyen Padişahlar (1909-1922)

Bu dönem padişahları sırasıyla; V. Mehmet Reşat, VI. Mehmet / Vahdettin'dir. Her ikisi de müzisyen olarak karşımıza çıkmaktadır. Vahdettin'in besteleri de mevcuttur. (Çalışkan 2017)

DÖNEMLER	YÖNETİMDEKİ PADİŞAHLAR	MUSİKİŞİNAS PADİŞAHLAR	BESTEKAR&MUSİKİŞİNAS PADİŞAHLAR
1-Kuruluş	I. Osman,II.Orhan,I.Murat,Yıldırım Beyazıt, I.Mehmet (Çelebi), II.Murat	II.Murat	—
2-Yükseliş	II.Mehmet (Fatih), II. Beyazıt, I.Selim (Yavuz), I.Süleyman (Kanuni), II.Selim, III.Murat	II.Mehmet (Fatih)	II.Beyazıt
3-Duraklama	III.Mehmet, I.Ahmet, I.Mustafa, II.Osman, IV. Murat, İbrahim (Deli), IV. Mehmet, II.Süleyman, II. Ahmet	IV.Mehmet, II.Ahmet II.Mustafa	IV.Murat
4-Gerileme	II.Mustafa, III.Ahmet, I.Mahmut, III.Osman, III.Mustafa, I.Abdülhamit, III.Selim, IV.Mustafa, II.Mahmut, Abdülmecit, Abdülaziz, V.Murat, II.Abdülhamit	III.Ahmet, I.Abdülhamit, I.Abdülmecit II.Abdülhamit	I.Mahmut, III.Selim, II.Mahmut, Abdülaziz, V.Murat
5-Çöküş/Yıkılış	V.Mehmet Reşat, VI.Mehmet/Vahidettin	V.Mehmet Reşat	VI.Mehmet/Vahdettin

Tablo 1: Dönemlerine göre Musikişinas Padişahlar

Bu çalışmanın asıl konusu olan bestekar musikişinas hükümdar olarak gerileme döneminin Padişahlarından V. Murat'ı inceleyelim;

V. Murat (Doğum-ölüm:1840-1904 & Tahta çıkış-iniş:1876-1876, 93 gün)



Resim 1: V. Murat

Hayatı ve Dönemindeki Siyasi Gelişmeler

21 Eylül 1840 da doğmuş, 29 Ağustos 1904 yılında vefat etmiştir. Osmânlı pâdişâhlarının 33.'südür. Tahta çıkışı 30 Mayıs – 31 Ağustos 1876 yılı olup, 93 gün tahta kalmıştır. Murat Bardakçı'nın söylediğine göre resmi padişah olup olmadığı tartışmalıdır. Kendisine kılıç alayı yapılmamış tek padişaktır. Günümüzde İstanbul Üniversitesi olarak kullanılan, eski seraskerlikte sadece eteği öpülmüş, biat edilerek bağlılık yemini edilmiştir. Abdülmecîd ile Şevkefzâ Kadınefendi'nin oğludur. Diğer şehzâde ve sultânefendilerden farklı bir özenle yetiştirilmeye çalışılmıştır. Lisan-ı Osmânî, hadîs, Fransızca, piyano dersleri almıştır. Murâd Efendi târihe, felsefeye, resme ilgi duymakla birlikte en çok mîmarlık ve mûsikîyle ilgilenmiştir. Eskizler, krokiler çizmiş, piyano için besteler yapmıştır.

Kendisini Avrupalı prenslerden farklı görmeyen ve alafranga yaşama biçimini seçen Murâd Efendi, dâiresinin ve köşklerinin konuklarla dolup taşmasını istediğinden Jön Türkler, hürriyet perverler, yabancı ve İstanbullu aydınlar velâhtı ziyârete gelmiş ve ağırlanmışlardır. Kurbağalıdere'deki Köşkü'nde verilen ziyâfetlerde alafranga sofralar kurulmuş, yemek müziği veya mızıkâ çalınmıştır. Kış boyunca Dolmabahçe Sarayı'ndaki dâiresinde kız kardeşi sultânlarla mektuplaşmış, Monte Kristo okumuş, piyano için besteler yapmıştır. Murâd Efendi'nin aşırı özgürlüğü, içki bağımlılığı ve aşırı savurganlığı Abdülazîz'i çok rahatsız etmiş, Jön Türklerle, Ziyâ Paşa ve Nâmık Kemâl'le olan görüşmeri de ayrı bir sorun yaratmıştır. Murâd'ın tahta geçmesiyle sonuçlanacak 1876 ihtilâli öncesindeki üç yıl boyunca sadrâzam ve vükelâ değişiklikleri, “talebe-i ulûm” gösterileri, Hersek ve Bulgaristan

Ayaklanmaları, Selânik Vak'a'sı gibi sorunlar gündeme gelmiştir. Abdülazîz'i tahtan indirmeyi planlayan ihtilâl komitesini oluşturan paşalar 26 Mayıs 1876 gecesini, Murâd'ın tahta oturtulmasını karârlaştırmışlardır. İhtilâlciler Abdülazîz'i Dolmabahçe'den alıp Topkapı Sarayı'na götürüp, Oradan V. Murâd'ın izniyle Ortaköy Feriye Sarayı'na getirmişlerdir. Planladıkları gibi apar topar V. Murâd'ı tahtta çıkarmışlardır. Eski Pâdişâhın Saraya getirilişinin ikinci gününde intihâr etmesi zaten sorunları olan V. Murâd'ın ruhsal rahatsızlığının büsbütün artmasına neden olmuştur. Olayı öğrendiğinde “Eyvah, millet bunu benden bilir!” diyerek bayılmıştı (Ekinci,2010:132-133)

V. Murâd'ın tedâvîsi için çareler aranmaya başlanmış, Pâdişâh tedâvîye cevap vermediği gibi ruhsal rahatsızlığı giderek ilerlemiştir. Sırbistan ve Karadağ sorunları da baş göstermiş, halk arasında Pâdişâhın çıldırdığı konuşmaları başlamıştır. V. Murâd'ın tahttan indirilmesinden başka çözüm kalmamış, Mithat Paşa Veliaht Abdülhamîd ile temasa geçmiş “Kanûn-ı Esâsî”yi ilân edeceğine söz verdikten sonra 31 Ağustos sabahı tahta oturmuştur. Eski Pâdişâhın tedâvîsine bir süre devâm edilmiş, Pâdişâh bu sürede piyano çalmış, besteler yapmıştır. Murâd hekim tedâvîsinden yoksun, zehirlenme korkusuyla ilâç da almayarak II. Abdülhamîd'in kendisine yasak bölge olarak ayırdığı Feriye Dâiresi'nde hastalıklara direnmeye çalışmış, şeker hastalığı da giderek artmıştır. 1904'te durumu ağırlaştığı hâlde oğlu Selâhaddin Efendi bundan II. Abdülhamîd'i haberdâr etmemiş, kendisi için aldığı ilâçlarla babasını tedâvî etmeye çalışmıştır. Murâd'ın durumu iyice ağırlaşınca Pâdişâha haber verilmiş, Pâdişâh hekimleri gönderdiğinde V. Murâd için yapılacak bir şey kalmamıştır. Vasiyet ettiği türbeye gömülmesine II. Abdülhamîd izin vermemiş, cenâze alayı düzenlenmeden Yıldız hademesinin gizlice kaldırdığı cenâze Topkapı Sarayı'nda yıkanıp, kefenlemiş ve Yeni Câmî hazîresine annesi Şevkefzâ'nın yanına gömülmüştür (Sakaoğlu,1999, cilt 2, 247-250)

Sultân V. Murat Dönemi'nde Mûsikî Adına Yaşanmış Önemli Gelişmeler

V. Murâd'ın dönemi Batı dünyasının yaşam tarzı, kültürü ve sanatının yakından takîb edildiği, oldukça fazla ilgi gördüğü dönemdir. Bu ilgi mûsikîmize de yansımış, dönem bestecileri, Klâsik Mûsikî'nin ağır formlarını genelde terk etmiş ve şarkı formunda eserler üretmişlerdir. Batı Sultân V. Murâd'ı da etkisi altına almıştır. Donizetti Paşa ve Lombardi Bey'den dersler almış, iyi derecede piyano birazda ud ve kemân çalmıştır. Yazmış olduğu şiirleri Hâcî Ârif Bey tarafından bestelenmiştir (Öztuna,1974,cilt2,40)

Bu dönemde Sarayda Klâsik Türk Mûsikîsi'ne karşı ilgi oldukça azalmış, meşklerde hafif eserler (şarkı formunda) daha çok tercih edilir olmuştur. Dönem bestekârları da genelde şarkı türünde bestelerle halka yönelmiştir. Zekâi Dede, Hâcî Ârif Bey ve Tanbûrî Âlî Efendi gibi

ûstâdlar dönem bestekârlarındandır. V. Murâd'ın saltanatı kısa sürdüğü için döneminin mûsikî anlayışı Sultân Abdülazîz'ininki ile hemen hemen benzerdir (Ekinci,2010:133).

V. Murat'ın Besteciliği ve Eserleri

Sultân V. Murâd diğer bestekâr pâdişâhlara bakıldığında yapmış olduğu besteleri bakımından oldukça farklılık göstermektedir. Gerek almış olduğu eğitim, gerekse Batı kültürünün etkisi ile eserlerinde Türk Mûsikîsi formlarını kullanmamış, Batı formunda eserler (marşlar, polkalar, mazukalar, valsler, schottischler, galoplar, quadrilleler) vermiştir. Sultân V. Murâd'ın torunu Rukiyye Sultân'dan Pâdişâhın tahttan indirildikten sonra Çırağan Sarayı'nda bestelediği büyük cildlerde toplanmış notları kalmış, bu albümler Sultân Efendi'nin kızkardeşi Atiyye Sultân'ın zevci Dâmâd Osmân Hâmî tarafından Nâzım Terzioğlu'na götürülerek, O'nun rektörlüğü sırasında İstanbul Üniversitesi Kütüphânesi'ne alınmıştır. Daha sonraki senelerde bu notalar araştırmacı sanatçı Vedat Kosal'a hediye edilmiştir. Vedat Kosal; Edhem Eldem ve Kıyâmeddin Barlas'la birlikte birkaç sene süren çalışmalar sonucu eserleri incelenmiş ve eserler eski Türkçe'den Lâtin Harfleri'ne geçirilmiştir.

V. Murâd'ın eserlerini titizlikle inceleyerek günümüze kazandıran ve şüphesizki eserler hakkında en fazla bilgiye sahip olan Vedat Kosal'ın görüşleri şöyledir: “*Sultân Abdülazîz Hân'ın yerine Sultân Abdülmecîd'in oğullarından Sultân V. Murâd Hân (1840-1904) (saltanatı: 1876) geçerek, üç ay süren Osmânî Târîhi'nin en kısa saltanatını sürdü. Buna mukabil bütün târimimizin en verimli bestecisi oldu. Üç büyük cild dolusu alafranga besteleri günümüze kalmıştır. Bunlar 1134 sayfada toplanmış solo piyano eserleridir. 488 piyano eserinin tamamını arşivledim. Ayrıca çocuklarının, torunlarının albümlerine yazdığı bazı eserleri de ilâve ettim. Elimizdeki albümler devrinin salon müziği tarzında marşlar, polkalar, mazukalar, valsler, schottischler, galoplar, quadrilleler ve benzeri parçalardan oluşuyor. Dehâ sahibi bir amatör bestecinin eserleri olduğu söylenebilir. Tahttan indirilmesine sebep gösterilen sinir hastalığından muzdarip olmasını isbâd edecek kadar materyal bu cildlerde mevcûddur. Çünkü çoğu tahttan indirildikten kısa bir süre sonra bestelenmiştir. Bazı hüznü, melankolik satırlar ve müzikler daha ziyâde şiddetli bir depresyona girdiğini gösteriyor. Albümlerin ilki kayıptır. İkincisi 1878-1885, üçüncüsü 1885-1887, numarasız albüm ise 1881-1892 seneleri arasında yazılmış. Bu üç albümünde bulunan 514 eserin 488'i Sultân V. Murâd'a aittir. Geri kalan eserler ise kızlarından Fehîme ve Hadîce Sultânlarla, muhtelif kalfalar tarafından bestelenmiş. Pâdişâh bazı eserlerini kızlarına (Hadîce, Fehîme ve Fatma Sultânlar'a), oğlu Şehzâde Selâhaddin Efendi'ye, Kadın Efendilere ithâf etmiş. Ayrıca iki tane de merkepli karikatürle süslemiş. Nâdiren şiirler, Farsça-Arapça yazılar serpiştirilmiş. Eskizler, müsveddeler, zayıf parçalar bir tarafa bırakılırsa 130 kadar eser çalınabilecek*

şekilde tamamlanmış. Başlıklar, ithâflar ve târihler kısmen Fransızca, kısmen eski Türkçe, bazen her iki lisânda birden yazılmıştır.

Târihi açıdan dikkat çekecek başlıklara bir gözatacak olursak;

-*La vieillissement, d'une famille en málheur et d'injustice*

- *Quasimodo*

-*Merche Ahi Vah patrie*

- “*Hacivad kimdir?*”

-*Chafak*

-*Zahiir*

-*Asir*

-*La me'moir d'une intelligence nebuleuse*

-*Málör yâhud bonör*

-*Nihâyet bahtiyâr olduğum bugün*

-*Marş-ı hürriyet-efzâ*

-*Voix du tombeau*

-*Marş-ı Murad*

-*Une molecule d'A*

-*Kemençe Hevâsı*

-*Bugünkü ziyâfetin şerefine çıkarılan galop*

gibi pek çok enteresan başlık, ithâf ve târihiyle Saraydaki günlük olaylara ıstık tutan notlar çıkıyor. (Meselâ kardeşi Nureddin Efendi'nin vefâtı veya oğlu Selâhaddin Efendi'ye bir teşekkür gibi...) Sultân V. Murâd'ın en dikkate değer eserini inceldiğimizde, evvelâ hemen hemen hiç armoni hatâsı yapmadığı, en zor tonalitelerde bile (çok bemollü veya diyezli, meselâ re bemol majör gibi) tamamen doğru yazdığı ve özellikle melodik buluşları göze çarpıyor. Parçaların çoğunda baslar 2/4'lük polka, 3/4'lük mazurka veya vals gibi ritimleri veriyor.

Armoni şemaları da gayet basit; çok sık modülasyon yapıp ana tonaliteden uzaklaşıyor. Fakat bu zayıf yönlerini hocalarının sınırlı müzik bilgisine ve kabiliyyetine bağlamak mümkün. Çünkü Mızıka-i Hümayûn'un en mühim isimleriyle bile mukayese edildiğinde, Pâdişâhın kabiliyyetinin onların çok üstünde olduğu ortaya çıkıyor. Eğer Saraya besteci, piyanîst, şef ve hoca olarak Liszt veya Saint Saen seviyesinde çok yönlü, büyük bir müzisyen getirtilebilseydi, Sultân V. Murâd muhtemelen profesyonel bir besteci olabilirdi. Elimizdeki hâliyle bile eserlerinin kıymeti diğer hanedân efrâdının ve Saray bestekârlarının yazdığı parçalardan daha yüksek. Bu konuda dikkat edilmesi gereken bir husûs da, tahttan indirildikten sonra Çırağan Sarayı'nda bahçede gezmesi serbest bile olsa bir nev'î hapis hayâtı yaşayıp, dış dünya ile irtibâtının kesilmiş olması, yanî Mızıka-i Hümayûn kumandanlarının bu eserleri tashîh etmesinin mümkün olmamasıdır. Sultân V. Murâd'ın eserlerinin bazı özellikleri müzik târihi açısından dâhî önem taşıyor. Batı Müziğinden aldığı tesîrleri Viyana Valsi, İtalyan Operası (bilhassa Rossini stili) hattâ "Danse pour tastagnettes" gibi İspanyol müziği tarzı parçalarında görüyoruz. Alaturkadan bilhassa marşlardan ilhâm almış. Bazende aynı parçada alafranga-alaturka karışımı görülüyor. Meselâ Chopin tarzı başladığı mazurkaların orta bölümünde alaturkavârî bir melodi yer alıyor. Bu gibi parçalarda ana temanın majör, alaturka kısmın minör olması dikkat çekiyor. Müzik târihimizde bir Türk halk türküsünü piyano için çok seslendiren muhtemelen ilk besteci ve şüphesiz ilk Pâdişâhın V. Murâd olduğunu bu albümler sayesinde öğrendik. Aydın Hevâsı başlığıyla bir Zeybek armonize etmiş. Aksak ritimlerin notasyonu o devirde bilinmediği için, son vuruşu bu şekilde genişleterek bir amatör için şâyân-ı hayret bir çâre bulmuş. Cumhuriyet'in ilk senelerinde Cemâl Reşîd Rey'in çok seslendirdiği Sarı Zeybek, bu alandaki ilk çalışma olarak kabûl edilirdi. Zaten Béla Bartók gibi besteciler folklorun notasyonunu artık geliştirmişti. Ondan 40 yıl evvel bir Pâdişâhın bu konudaki ilk çabası ise bugüne kadar hiç bilinmiyordu. Hatâsız yazılmış ve bemol majör bir polkasında re bemol ve do diyez notalarının aynı tonu vermesinden istifâde ederek, re bemol majör Jutroduction'dan beklenmedik bir modülasyonla la majör polkaya anarmonik geçişi de bir amatör için son derece dikkate değer bir buluş. Melodide sık sık tierceler, geniş ambitus (melodinin geniş alana, meselâ birkaç oktava yayılması) veya kromatik katlar kullanması özellikle dikkat çekiyor. En güzel melodileri arasında yer alan bazı polkalarda, bir polka için pek tipik olmayan hüznü-zarîf-güzel buluşlarla bezeli, melonkolik melodilerle karşılaşılıyor. Nâdiren başlarda ve orta katlarda, meselâ kromatik hareket eden poly-melodik dediğimiz çok sesliliği de kullanıyor. Kendi hocalarında bu husûsiyeti görmediğim için buna daha önemli bestecilerin eserlerini tedkik ederek öğrendiği sonucuna varıyorum. Sultân V. Murâd'ın Klâsik Batı Müziği tarzındaki

bestelerinin müzik târihimizdeki bu çok özel yönü dolayısıyla, eserlerinin üzerinde teknik detaylarıyla durmak ihtiyâcını hissettim” diyor. Bu eserler şu anda İstanbul Üniversitesi’nde hâlen düzenleme çalışmaları yapılan kütüphâne olup, dijital kayıda alma işlemi sona erince yararlanmak isteyenlerin hizmetine sunulacaktır.(Kosal, 2001, 35-54)

SONUÇ

1299 yılında Bilecik’in Söğüt ilçesinde küçük bir beylikten kurulup, dev bir imparatorluğa dönüşen kurulan Osmanlı İmparatorluğu sadece toprakların genişlemesi ile değil, ekonomik ve kültürel alanlarda da etkili olmasıyla kendini göstermiştir. Osmanlılar adım adım yayılıp genişledikçe gittikleri her yerde kültürlerini de yayarak izlerini bırakmışlardır. Bu izler mûsikîmiz başta olmak üzere, mimarî, bezeme, tezhip, çini, ebrû ve hat gibi bir çok sanat dalında kendini göstermiştir. Bunda Osmanlı İmparatorluğu başındaki padişahların sanata önem vermeleri ve bu sanat dallarıyla şahsen uğraşıyor olmalarının etkisi çok büyüktür.

Osmanlı padişahları ordunun önünde, at sırtında, zaferden zafere koşarak bu eserleri bırakırken imparatorluk yönetiminin bu zor ve yıpratıcı yaşantısı içinde dünyada kalıcı olan gerçeğe, sanata yönelmişler ve özellikle de mûsikînin etkileyici, coşturucu ortamında ruh yorgunluklarını gidererek rahatlamaya çalışmışlardır. Genelde sanatın her dalı ile uğraşmış olan Osmanlı padişahları, Türk mûsikîsinin üstün bir düzeye ve mükemmelliğe ulaşmasında verdikleri eserlerle olduğu gibi, her biri kendi devrelerinde yetişmiş olan Türk mûsikîsi bestekâr ve sanatkârlarını korumakla da üzerlerine düşen görevleri en iyi şekilde yapmışlardır. Mûsikîye vermiş olduğu önemin ve desteğin yanında kendisi de mûsikîyle yakinen ilgilenen son Padişahlar arasında V. Murat bestekar hükümdar kimliğiyle sanat alanında öne çıkmaktadır. Osmanlı’nın Gerileme Dönemi’nde hızla esmeye başlayan Batılılaşma rüzgârları V. Murat döneminde de artarak etkisini sürdürmüştür.

Özetle, Osmanlı’nın en kısa tahtta kalan (üç ay) musikişinas padişahlarından V. Murat, zor siyasi şartlarına ve mental hastalığına rağmen müziğe oldukça önem vermiş özellikle klasik batı müziği alanında besteler yapmıştır. Araştırmalara göre, V. Murat’ın Batı Müziği alanında iyi bir bestekâr olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca Müzik tarihimizde bir Türk Halk türküsünü piyano için çokseslendiren ilk besteci olması açısından da önemli padişahlarımızdandır.

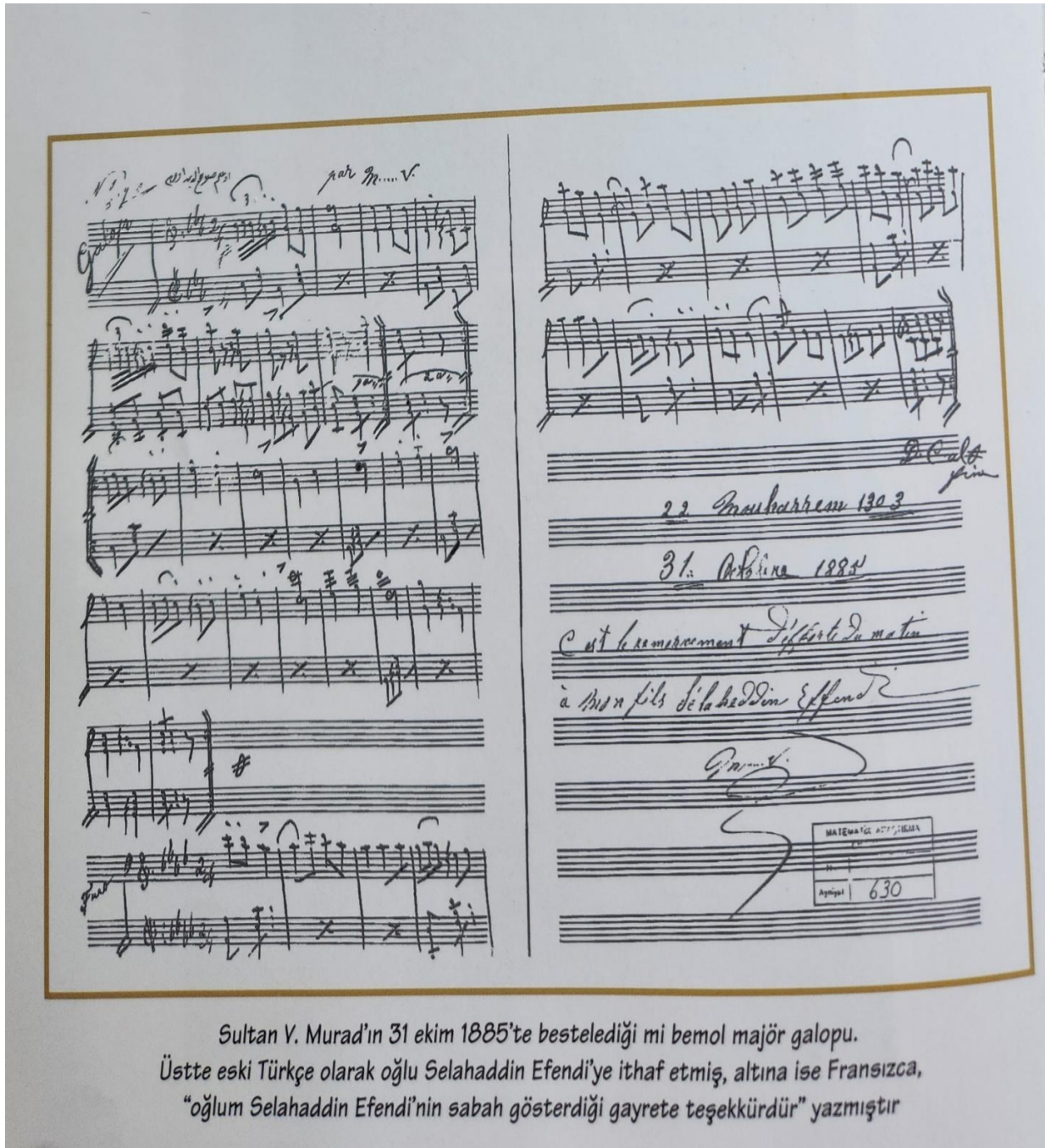
Osmanlı İmparatorluğu’nu yöneten padişahların mûsikî ile iç içe olmaları hatta besteler yaparak katkıda bulunmaları dünyanın başka ülke hükümdarlarında pek görülmemiş bir anlayıştır. Bu nedenle tarihimizde sanata iz bırakıp, destekleyen önemli kişileri iyi bilip, bestelerini unutmamız, eserlerini seslendirmemiz sanatımızın kaybolmaması açısından önerilmektedir.

KAYNAKLAR

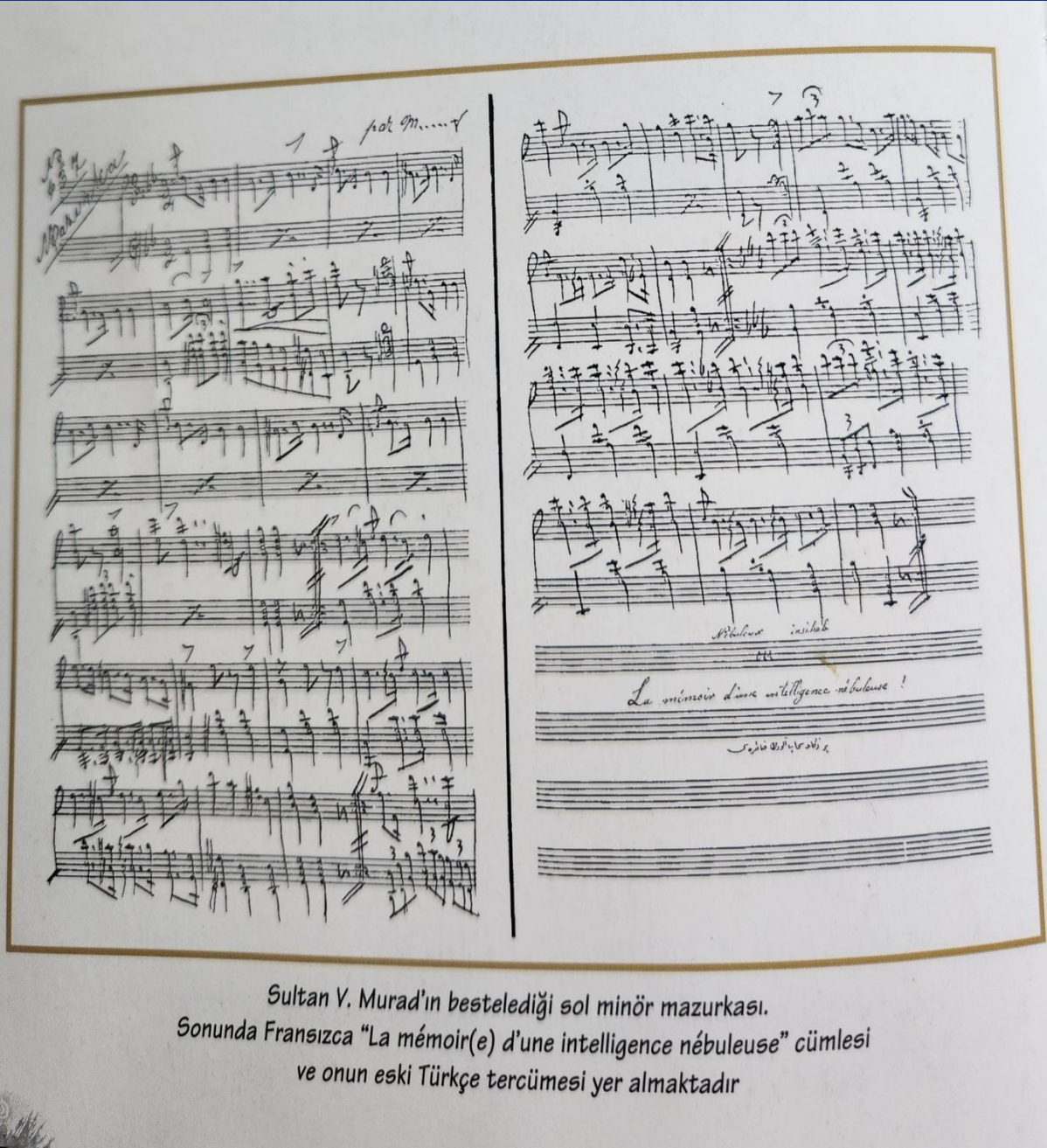
- Bardakçı, Murat (1997). Sultani Besteler,, İstanbul:Pan Yayıncılık.
- Bardakçı, Murat, (1999), Şahbaba, İstanbul:Pan Yayıncılık.
- Bardakçı, Murat, (1997) *Osmanoğulları'nın Son Padişahı Mehmed Vahideddin'in Eserleri Sultanî Besteler, İstanbul:Pan Yayıncılık*
- Bulut, Hadi, Cemil (2018), Sultan Mehmed Vahideddin'in Şarkılarının Tür ve Biçim Yönünden Analizi, Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi Elazığ
- Çalışkan, K. 2017, Kronolojik Muhteşem Osmanlı, İstanbul: Caretta Promat basımevi.
- Çolakoğlu Sarı, Gözde., Osmanlı-Türk Müziğinde Padişahların İzleri, Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, cilt7, sayı 35, 52-65) Issn 1307-9581.
- Eralp, Nejat, (1999), Osmanlıda Mehter, cilt 10, Ankara:Yeni Türkiye Yayınları
- Ekinci, Tülin.Pelin., 2010, Dönemlerine Göre Musikîşinas Osmanlı Padişahları, Dönemlerinde Musiki Adına Yaşanmış Önemli Gelişmeler ve Bu Dönemlerin Genel Değerlendirmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul: Haliç Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü.
- İnal,İbnülemin,Mahmud Kemal,(1969), Son Sadrazamlar, C 14, İstanbul:Milli Eğitim Basımevi.
- Koçu,Reşad Ekrem, (1981), Osmanlı Padişahları, İstanbul: Ana Yayınevi
- Kosal, Vedat,2001, Osmanlı'da Klasik Batı Müziği, İstanbul: Eko Basım Yayın.
- Küçük, Cevdet, (2003), Mehmed VI, cilt: XXVIII , Ankara:Türkiye Diyanet Vakfı İslam Ansiklopedisi.
- TDV İslam Ansiklopedisi , (2003),V.Murat, 8.cilt, Ankara
- Sakaoğlu, Necdet, (1999),Yaşamları ve Yapıtlarıyla Osmanlılar Ansiklopedisi, C 1-2, İstanbul:Yapı Kredi Yayınları
- Öztuna,Yılmaz, 1974, Türk Musikisi Ansiklopedisi, c1-2, İstanbul:Milli Eğitim Basımevi.
- www.tdk.gov.tr. Türk Dil Kurumu sözlüğü, erişim tarihi:29.01.2019
- www.turkmusikisi.com/araştırmalar/sarayda musiki erişim tarihi:29.01.2019
- Mi bemol majör vals dinletisi: <https://www.youtube.com/watch?v=Yo8Z4aV88C4> Erişim tarihi:06.04.2026
- Kayıt dinletisi “Na muradım talim avaredir” bestesi
<https://www.youtube.com/watch?v=QPaqWaVooN8> Erişim tarihi 06.04.2026
- Marches albümü dinletisi : Erişim tarihi:06.04.2026
https://www.youtube.com/watch?v=daltIsTJLGY&list=PL3xLKJXP_M4alN07ZLlpcgXL3D8SBz1hK&index=3

Notalar: Vedat Kosal, 2001, Osmanlı'da Klasik Batı Müziği.İstanbul

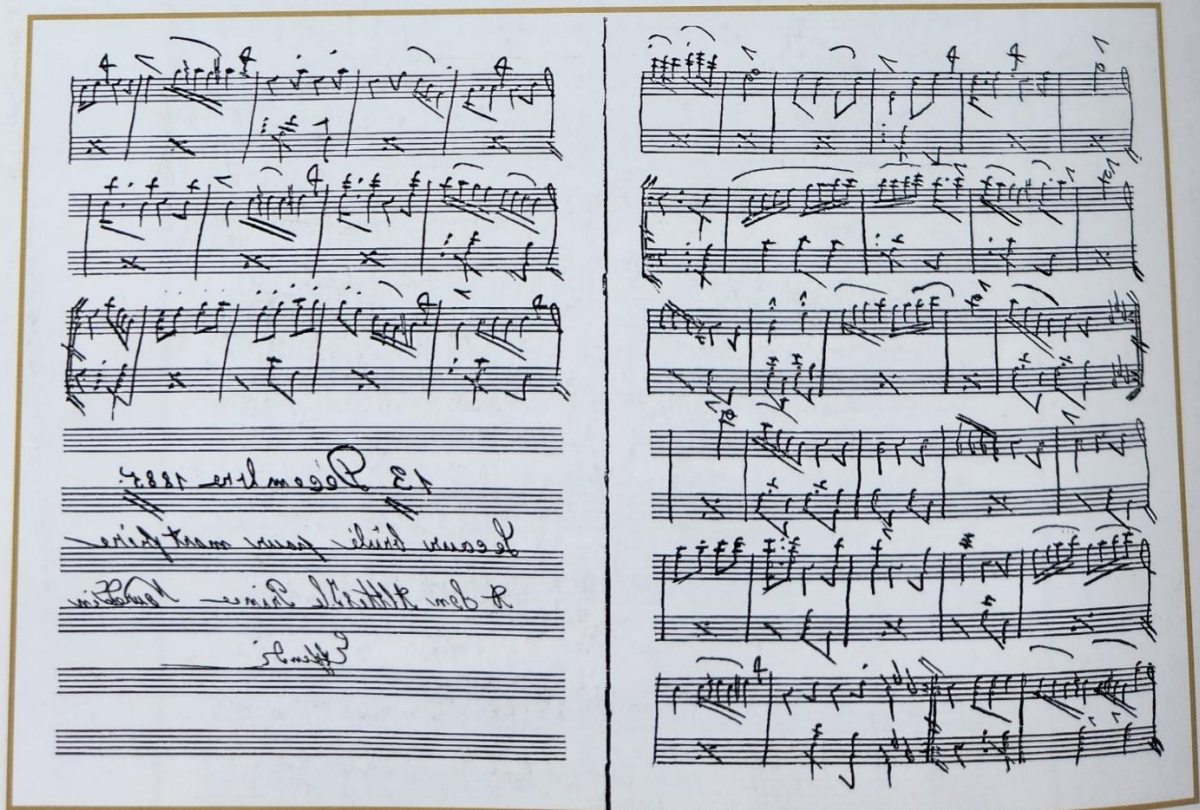
Ekler: V. Murat'ın bazı eserlerinin notası



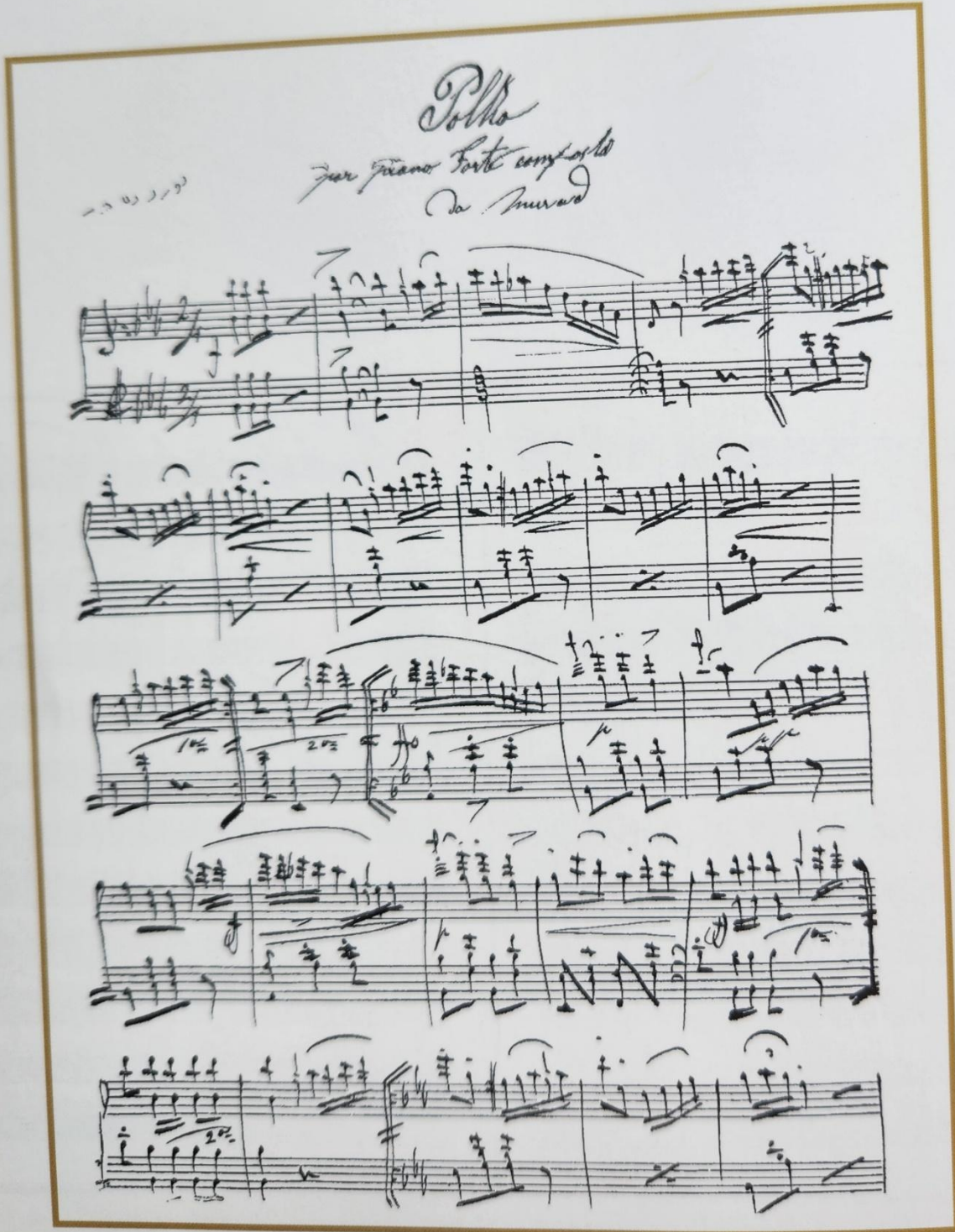
Sultan V. Murad'ın 31 ekim 1885'te bestelediği mi bemol majör galopu. Üstte eski Türkçe olarak oğlu Selahaddin Efendi'ye ithaf etmiş, altına ise Fransızca, "oğlum Selahaddin Efendi'nin sabah gösterdiği gayrete teşekkürdür" yazmıştır



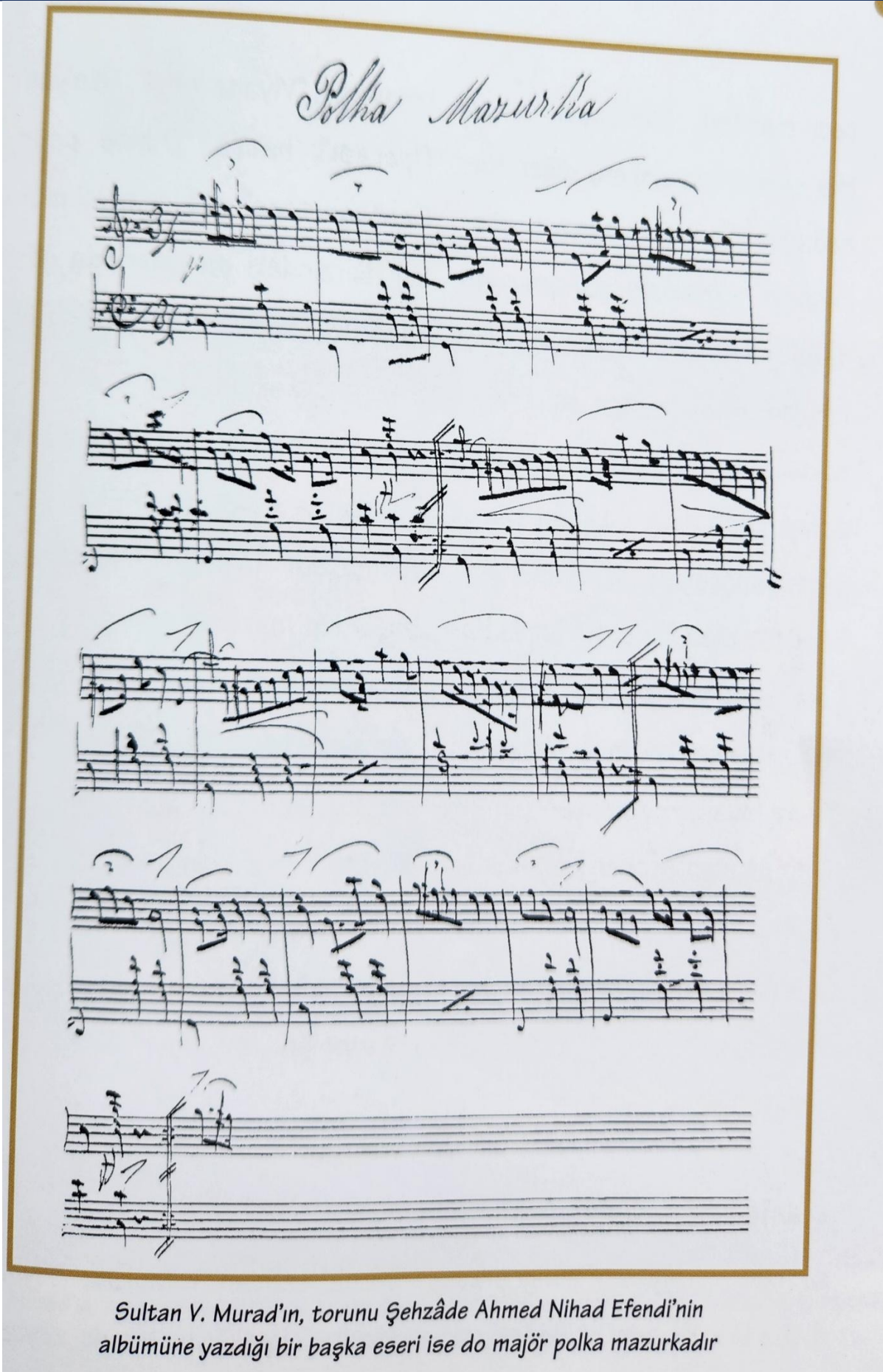
Sultan V. Murad'ın bestelediği sol minör mazurkası.
Sonunda Fransızca "La mémoir(e) d'une intelligence nébuleuse" cümlesi
ve onun eski Türkçe tercümesi yer almaktadır



İzere kalpini yazmıştır
Sultan V. Murad'ın 13 aralık 1882'de bestelendiği bir piyano eserinin notası
Atina'da Fransızca, Kardeş Şehzade Nureddin Efendi'nin vefatı

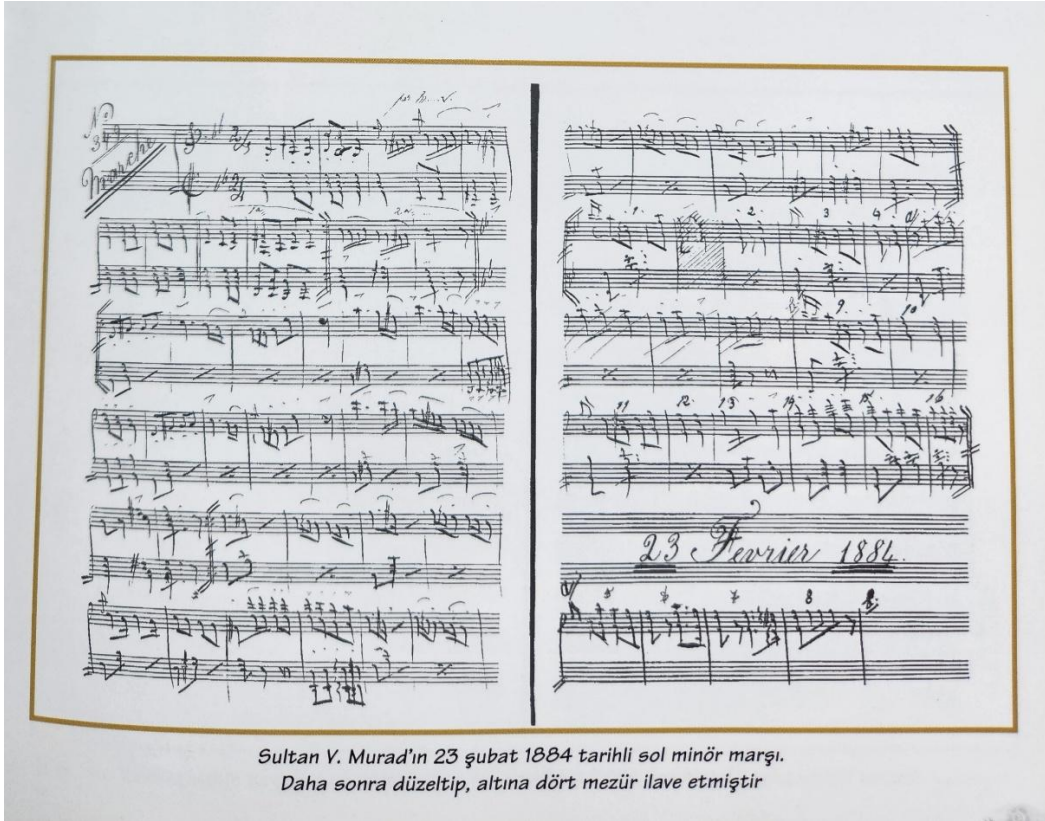
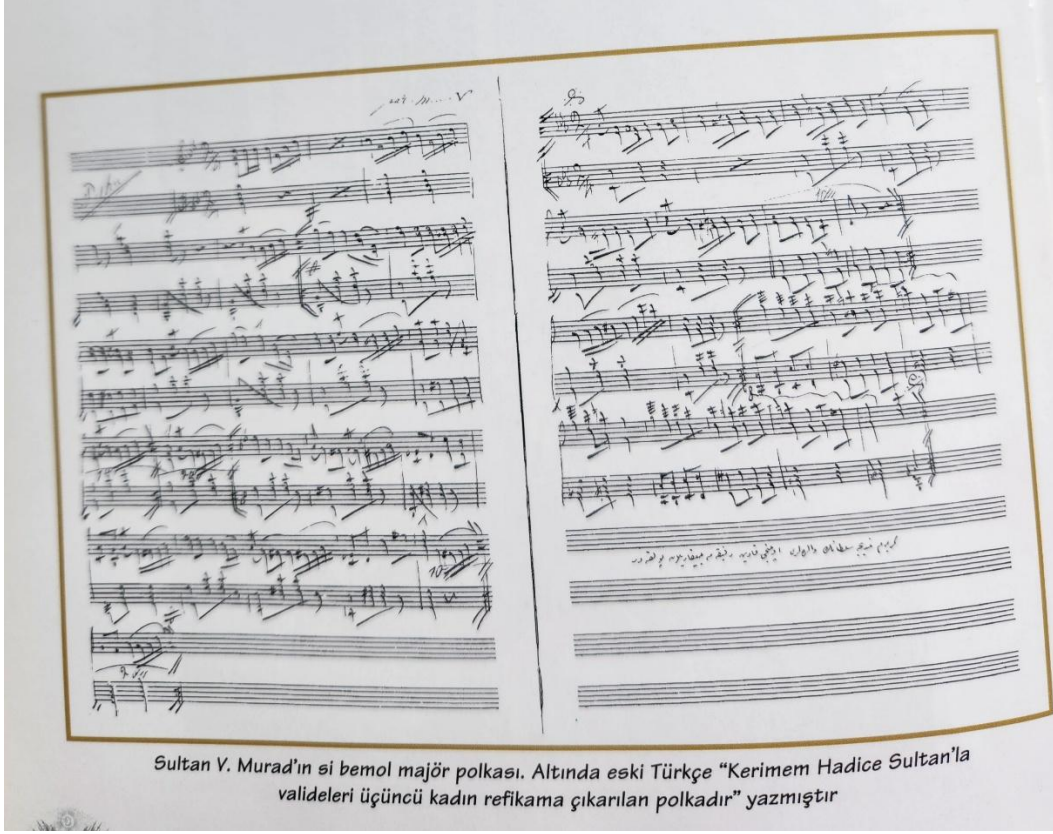


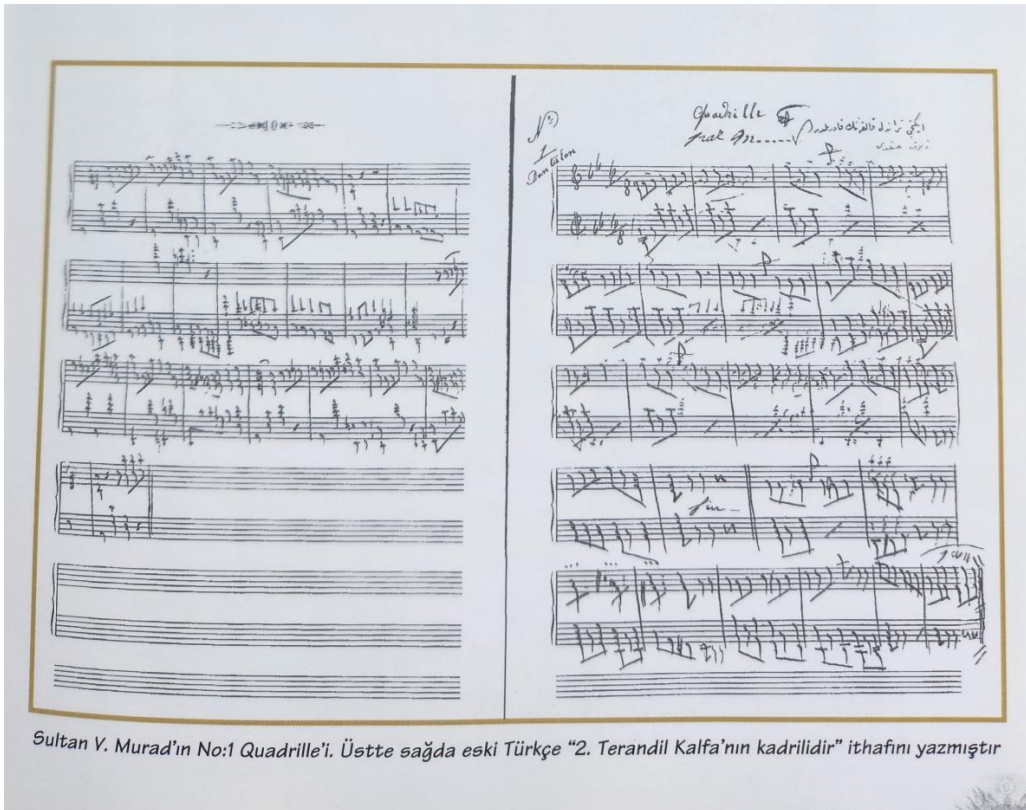
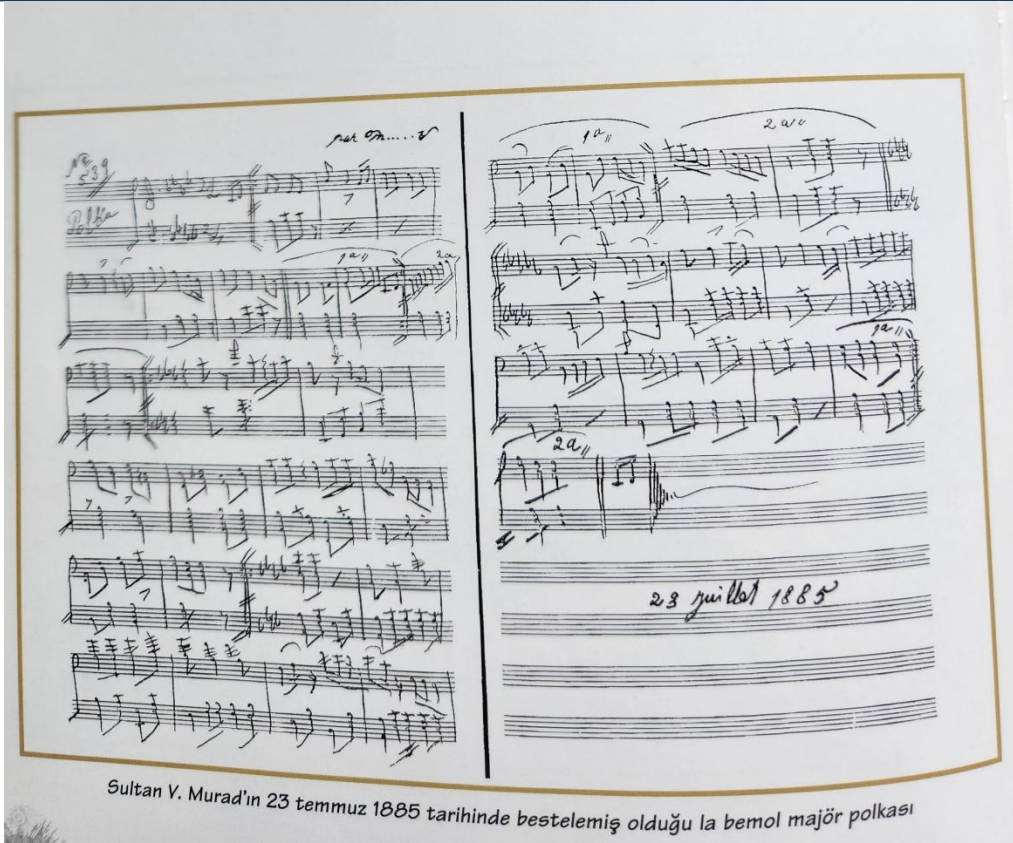
Sultan V. Murad'ın piyano için mi bemol majör polkası.
Torunu Şehzâde Ahmed Nihad Efendi'nin albümüne yazmıştır



Polka Mazurka

Sultan V. Murad'ın, torunu Şehzâde Ahmed Nihad Efendi'nin albümüne yazdığı bir başka eseri ise do majör polka mazurkadır





ÖĞRENEN AJANLARLA AJAN TABANLI MODELLEME: PEKİŞTİRMELİ ÖĞRENME ENTEGRASYONU ÜZERİNE SİSTEMATİK BİR İNCELEME

Yüksek lisans Öğrencisi Emre YAZICI

Trakya Üniversitesi, Fen Fakültesi, Veri Bilimi ve Analitiği Bölümü, 22100 Merkez, Edirne

ORCID ID: 0009-0005-9534-2429

Dr. Öğretim Üyesi Süreyya TEMELLİ

Trakya Üniversitesi, Fen Fakültesi, Veri Bilimi ve Analitiği Bölümü, 22100 Merkez, Edirne

ORCID ID: 0000-0001-5340-3186

ÖZET

Ajan Tabanlı Modelleme (Agent-Based Modeling – ABM), etkileşimli ve otonom ajanlardan oluşan karmaşık sistemlerin analizinde yaygın olarak kullanılan hesaplamalı bir yöntemdir. Son yıllarda Pekitirmeli Öğrenme (Reinforcement Learning – RL) tekniklerinin ajan tabanlı modellere entegrasyonu, ajanların deneyim yoluyla öğrenmesini, davranışlarını uyarlamasını ve karar süreçlerini optimize etmesini mümkün kılarak bu sistemlerin yeteneklerini önemli ölçüde geliştirmiştir. Bu çalışma, Pekitirmeli Öğrenme yöntemlerinin Ajan Tabanlı Modelleme sistemlerine entegrasyonunu ele alan araştırmaları sistematik olarak incelemektedir. İncelemede ABM ve pekitirmeli öğrenme entegrasyonu, çok ajanlı sistemlerde öğrenme süreçleri, adaptif ajan davranışı, oyun teorisi ile öğrenme yaklaşımları ve simülasyon temelli karar verme mekanizmaları gibi temel araştırma konuları ele alınmaktadır. Ayrıca trafik ve ulaşım sistemleri, finansal piyasalar, sosyal davranış modelleme, enerji sistemleri ve akıllı şehir uygulamaları gibi farklı alanlarda öğrenen ajanların kullanımı incelenmektedir. Journal of Artificial Societies and Social Simulation, Complexity, IEEE Transactions on Computational Social Systems ve Simulation Modelling Practice and Theory gibi önemli akademik dergilerde yayımlanan çalışmalar analiz edilerek araştırma eğilimleri belirlenmiştir. Çalışma ayrıca öğrenen ajan türlerini sınıflandırmakta, kullanılan pekitirmeli öğrenme algoritmalarını karşılaştırmakta ve adaptif ajan tabanlı simülasyon sistemlerinin geliştirilmesine yönelik açık araştırma problemlerini ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Ajan Tabanlı Modelleme; Pekitirmeli Öğrenme; Çok Ajanlı Sistemler; Adaptif Ajanlar; Simülasyon Temelli Karar Verme; Oyun Teorisi; Hesaplamalı Sosyal Sistemler; Akıllı Sistemler

AGENT-BASED MODELING WITH LEARNING AGENTS: A SYSTEMATIC REVIEW OF REINFORCEMENT LEARNING INTEGRATION

ABSTRACT

Agent-Based Modeling (ABM) has become a widely used computational approach for analyzing complex systems composed of interacting autonomous agents. In recent years, the

integration of Reinforcement Learning (RL) into agent-based models has significantly expanded the capabilities of these systems by enabling agents to learn, adapt, and optimize their behaviors through experience. This study presents a systematic review of research focusing on the integration of Reinforcement Learning techniques within Agent-Based Modeling environments. The review examines key themes such as ABM and reinforcement learning integration, learning processes in multi-agent systems, adaptive agent behavior, the combination of game theory and learning mechanisms, and simulation-based decision making. Additionally, the study explores various application domains where learning agents have been applied, including traffic and transportation systems, financial markets, social behavior modeling, energy systems, and smart city environments. Relevant literature from leading journals such as the Journal of Artificial Societies and Social Simulation, Complexity, IEEE Transactions on Computational Social Systems, and Simulation Modelling Practice and Theory is analyzed to identify research trends. The paper further classifies different types of learning agents, compares commonly used reinforcement learning algorithms, and discusses existing research challenges and open problems in the development of adaptive agent-based simulation systems.

Keywords: Agent-Based Modeling; Reinforcement Learning; Multi-Agent Systems; Adaptive Agents; Simulation-Based Decision Making; Game Theory; Computational Social Systems; Smart Systems

1. GİRİŞ

Son yıllarda karmaşık sistemlerin modellenmesi ve analiz edilmesine yönelik yaklaşımlar, disiplinlerarası çalışmaların artmasıyla birlikte önemli bir gelişim göstermiştir. Bu bağlamda, ajan tabanlı modelleme (Agent-Based Modeling – ABM), bireysel ajanların davranışlarını ve bu ajanlar arasındaki etkileşimleri temel alarak karmaşık sistemlerin incelenmesine olanak tanıyan güçlü bir yöntem olarak öne çıkmaktadır (Bonabeau, 2002). ABM yaklaşımı, özellikle heterojen yapıya sahip sistemlerin modellenmesinde ve mikro düzeydeki davranışların makro düzeydeki etkilerinin analiz edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Diğer yandan, pekiştirmeli öğrenme (Reinforcement Learning – RL), ajanların çevre ile etkileşim kurarak ödül mekanizmaları aracılığıyla optimal kararlar almasını sağlayan bir makine öğrenmesi paradigmasıdır (Andrew ve Richard S, 2018). RL, dinamik ve belirsiz ortamlarda karar verme problemlerine çözüm sunması nedeniyle son yıllarda önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir. Özellikle derin öğrenme teknikleri ile birleşmesi sonucunda

ortaya çıkan derin pekiştirmeli öğrenme yaklaşımları, daha karmaşık problemlerin çözümünde etkin bir şekilde kullanılmaktadır(Mnih ve ark., 2015).

Ajan tabanlı modelleme ve pekiştirmeli öğrenme yaklaşımlarının entegrasyonu, literatürde giderek artan bir ilgi görmektedir. Bu entegrasyon sayesinde, ajanların sadece tanımlı kurallara göre hareket etmesi yerine, çevreden öğrenerek adaptif davranışlar geliştirmesi mümkün hale gelmektedir. Özellikle çok ajanlı sistemlerde (Multi-Agent Systems), öğrenen ajanların birbirleriyle etkileşimleri daha gerçekçi ve dinamik modellemelerin oluşturulmasına katkı sağlamaktadır(Wooldridge, 2009).

Bununla birlikte, bu alandaki çalışmaların hızla artmasına rağmen, literatürün genel eğilimlerini, kullanılan yöntemleri ve araştırma boşluklarını sistematik bir şekilde ortaya koyan kapsamlı incelemelerin sınırlı olduğu görülmektedir. Mevcut çalışmalar genellikle belirli uygulama alanlarına odaklanmakta ve alanın bütüncül bir değerlendirmesini sunmamaktadır.

Bu çalışmanın amacı, ajan tabanlı modelleme ile pekiştirmeli öğrenme entegrasyonuna yönelik literatürü sistematik bir yaklaşımla inceleyerek alanın genel eğilimlerini ortaya koymak ve mevcut araştırma boşluklarını belirlemektir. Bu kapsamda, PRISMA yöntemi kullanılarak literatür taraması gerçekleştirilmiş ve elde edilen bulgular doğrultusunda alanın gelişim yönü değerlendirilmiştir(Barto, 2021).

Bu çalışma, literatürdeki çalışmaları kapsamlı bir şekilde sınıflandırarak araştırmacılara bütüncül bir bakış açısı sunmayı hedeflemektedir. Ayrıca, elde edilen bulgular doğrultusunda gelecekte yapılacak çalışmalar için yol gösterici öneriler geliştirilmiştir.

Çalışmanın geri kalan bölümleri şu şekilde organize edilmiştir: İkinci bölümde araştırmanın metodolojisi ve literatür tarama süreci açıklanmakta, üçüncü bölümde elde edilen bulgular sunulmakta, dördüncü bölümde tartışma ve araştırma boşlukları ele alınmakta ve son bölümde ise genel sonuçlar değerlendirilmektedir.

2. METODOLOJİ

Bu çalışma, Ajan Tabanlı Modelleme (Agent-Based Modeling – ABM) ile Pekiştirmeli Öğrenme (Reinforcement Learning – RL) entegrasyonunu ele alan literatürü sistematik bir yaklaşımla incelemek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Araştırma sürecinde literatür taramasının şeffaf, tekrarlanabilir ve metodolojik olarak güvenilir bir şekilde yürütülmesini sağlamak amacıyla PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) yöntemi benimsenmiştir (Page ve ark., 2021). PRISMA yaklaşımı; çalışmaların belirlenmesi, taranması, uygunluk değerlendirmesi ve nihai seçimi olmak üzere dört temel aşamadan

oluşmakta olup, bu yapı literatür inceleme sürecinin sistematik bir çerçevede yürütülmesine olanak tanımaktadır.

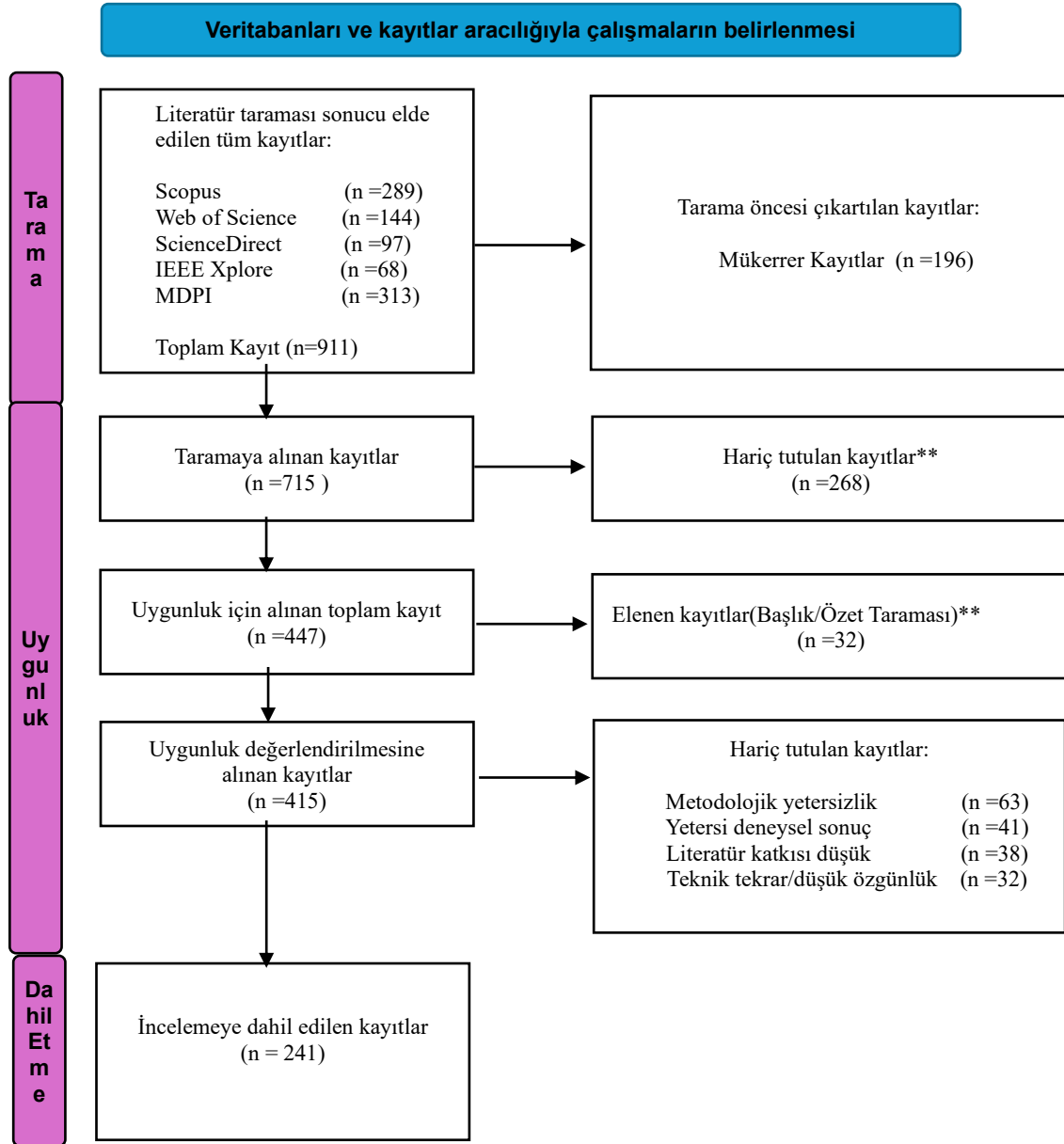
Literatür taraması, farklı disiplinleri kapsayacak şekilde Scopus, Web of Science, ScienceDirect, IEEE Xplore ve MDPI veri tabanlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışma kapsamında özellikle 2010–2026 yılları arasında yayımlanan araştırmalar dikkate alınmıştır. Bu dönem, ajan tabanlı modelleme ile pekiştirmeli öğrenme tekniklerinin birlikte kullanımının hız kazandığı bir zaman dilimini temsil etmesi nedeniyle tercih edilmiştir. Tarama sürecinde “Agent-Based Modeling”, “Reinforcement Learning”, “Learning Agents”, “Multi-Agent Systems” ve “Adaptive Agents” gibi anahtar kelimeler kullanılmış, bu terimler Boolean operatörleri (AND, OR) yardımıyla birleştirilerek kapsamlı arama sorguları oluşturulmuştur.

Literatür incelemesinde kullanılacak çalışmaların belirlenmesi amacıyla dahil etme ve hariç tutma kriterleri oluşturulmuştur. Bu kapsamda hakemli dergilerde yayımlanmış makaleler ve konferans bildirileri, İngilizce dilinde yazılmış çalışmalar, ABM ve RL entegrasyonunu doğrudan ele alan araştırmalar ve tam metnine erişilebilen yayınlar dahil edilmiştir. Buna karşılık, mükerrer çalışmalar, yalnızca ABM veya RL kavramlarından birine odaklanan araştırmalar, konu dışı alanlara ait çalışmalar ve tam metnine ulaşılamayan yayınlar analiz dışında bırakılmıştır. Ayrıca editoryal yazılar ve hakemli olmayan çalışmalar da değerlendirme kapsamına alınmamıştır.

Çalışmaların seçimi PRISMA metodolojisine uygun olarak çok aşamalı bir süreçte gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada veri tabanlarından toplam 911 kayıt elde edilmiştir. Bu kayıtlar birleştirilerek DOI bazlı karşılaştırmalar yapılmış ve mükerrer çalışmalar veri setinden çıkarılmıştır. Tarama aşamasında başlık ve özet incelemeleri gerçekleştirilmiş, araştırma konusu ile doğrudan ilişkili olmayan çalışmalar elenmiştir. Uygunluk aşamasında ise kalan çalışmaların tam metinleri detaylı olarak değerlendirilmiş ve belirlenen kriterlere uygunluğu analiz edilmiştir. Bu süreçlerin sonunda tüm kriterleri sağlayan 241 çalışma nihai veri setine dahil edilmiştir.

Seçilen çalışmaların sistematik olarak analiz edilebilmesi amacıyla veri çıkarma süreci yapılandırılmıştır. Bu kapsamda her bir makaleden yayın yılı, veri tabanı kaynağı, kullanılan pekiştirmeli öğrenme algoritması, ajan yapısı, model türü, uygulama alanı, kullanılan yöntem ve çalışmanın temel katkısı gibi bilgiler standart bir veri toplama şablonu aracılığıyla elde edilmiştir. Toplanan veriler Excel ortamında düzenlenmiş, farklı veri tabanlarından elde edilen çalışmalar birleştirilmiş ve veri seti içerisinde tutarlılığı sağlamak amacıyla standardizasyon işlemleri uygulanmıştır.

Elde edilen veri seti, belirlenen analiz kriterleri doğrultusunda değerlendirilmiştir. Bu kapsamda çalışmalar; kullanılan pekiştirmeli öğrenme algoritmaları, ajan yapısı (tek ajanlı veya çok ajanlı sistemler), uygulama alanları ve yıllara göre dağılım gibi farklı boyutlarda analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen bu analizler sayesinde literatürdeki genel eğilimler, yoğunlaşma alanları ve mevcut araştırma boşlukları sistematik bir şekilde ortaya konulmuştur. PRISMA süreci kapsamında gerçekleştirilen eleme aşamalarına ilişkin dağılım Şekil 1’de sunulmaktadır.



Şekil 1. PRISMA 2020 Akış Şeması

3. BULGULAR

Bu çalışma kapsamında PRISMA yöntemi doğrultusunda yürütülen eleme süreçleri sonucunda elde edilen 241 makalelik nihai veri seti, belirlenen analiz kriterleri çerçevesinde sistematik olarak incelenmiştir. Bulgular; yayın yılı, kullanılan pekiştirmeli öğrenme algoritmaları, ajan yapısı, uygulama alanları ve yöntemsel yaklaşımlar açısından değerlendirilmiştir.

3.1. Kullanılan Pekiştirmeli Öğrenme Algoritmaları

Analiz edilen çalışmalar kapsamında farklı pekiştirmeli öğrenme algoritmalarının kullanıldığı görülmektedir. Özellikle Q-Learning ve DQN gibi klasik ve derin öğrenme tabanlı yöntemler yaygın olarak tercih edilirken, son yıllarda PPO ve Actor-Critic tabanlı yöntemlerin kullanımında artış gözlemlenmiştir. Dağılım oranları Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan RL Algoritmalarına Göre Dağılım

Algoritma Türü	Makale Sayısı	Oran (%)
Q-Learning	74	30,70
DQN (Deep Q Network)	58	24,10
PPO	36	14,90
Actor-Critic	31	12,90
Diğer (SARSA, Hybrid vb.)	42	17,40
Toplam	241	100

3.2. Ajan Yapısına Göre Dağılım

Çalışmalar ajan yapısı açısından incelendiğinde, çok ajanlı sistemlerin literatürde daha yaygın olarak tercih edildiği görülmektedir. Bu durum, karmaşık ve etkileşimli sistemlerin modellenmesinde çok ajanlı yapıların daha uygun olmasından kaynaklanmaktadır. Dağılım oranları Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Ajan Yapısına Göre Dağılım

Ajan Yapısı	Makale Sayısı	Oran (%)
Tek Ajanlı Sistemler	69	28,6
Çok Ajanlı Sistemler	172	71,4
Toplam	241	100

3.3. Uygulama Alanlarına Göre Dağılım

Literatür incelendiğinde, ajan tabanlı modelleme ve pekiştirmeli öğrenme entegrasyonunun farklı uygulama alanlarında kullanıldığı görülmektedir. Tablo 7’de literatürde yer alan seçili çalışmaların temel özelliklerini özetlemekte olup, ajan tabanlı modelleme ve pekiştirmeli öğrenme yaklaşımlarının farklı uygulama alanlarında nasıl kullanıldığını göstermektedir. Özellikle trafik sistemleri ve enerji yönetimi alanlarının öne çıktığı dikkat çekmektedir. Dağılım oranları Tablo 3’de gösterilmiştir.

Tablo 3. Uygulama Alanlarına Göre Dağılım

Uygulama Alanı	Makale Sayısı	Oran (%)
Trafik ve Ulaşım	61	25,3
Enerji Sistemleri	48	19,9
Akıllı Şehirler	39	16,2
Finansal Sistemler	27	11,2
Kaynak Optimizasyonu	36	14,9
Diğer	30	12,5
Toplam	241	100

Sistematiik incelemeye dâhil edilen çalışmalar arasından temsili olarak seçilen örnek çalışmalar sunulmuştur.

Tablo 4. Trafik ve Ulaşım Alanına Ait Örnek Çalışmalar

Yazar İsimleri	Makale Başlığı	Yıl	Yöntem	Amaç
Alsaleh & Sayed	Modeling pedestrian-cyclist interactions	2020	ABM + RL	Trafik etkileşimlerini modellemek
Cao et al.	Intelligent Traffic Signal Control	2026	Multi-Agent DRL	Trafik ışığı optimizasyonu
Sun et al.	Traffic Signal Control System	2026	MARL	Trafik akışını iyileştirmek
Li et al.	Autonomous Taxi Dispatch	2025	RL + ABM	Taksi yönlendirme optimizasyonu
Chen et al.	Ride-sourcing pricing	2024	MARL	Fiyatlandırma stratejisi
Zhang & Han	Traffic State Estimation	2026	MARL	Trafik tahmini

Tablo 4’te trafik ve ulaşım sistemleri, ajan tabanlı modelleme ve pekiştirmeli öğrenme entegrasyonunun en yaygın uygulama alanlarından biri olarak öne çıkmaktadır. Bu alandaki çalışmalar, özellikle trafik akışının optimize edilmesi, trafik ışıklarının dinamik olarak kontrol edilmesi ve otonom araç sistemlerinin geliştirilmesi üzerine yoğunlaşmaktadır. Çok ajanlı yapıların kullanımı, bireysel araçların veya yol kullanıcılarının davranışlarını modelleyerek daha gerçekçi simülasyonlar oluşturulmasına olanak tanımaktadır. Bu durum, şehir içi ulaşım

sistemlerinin daha verimli ve sürdürülebilir hale getirilmesi açısından büyük önem taşımaktadır.

Tablo 5. Enerji Sistemleri Alanına Ait Örnek Çalışmalar

Yazar İsimleri	Makale Başlığı	Yıl	Yöntem	Amaç
Abdalla et al.	Energy Systems Optimization	2026	ABM + RL	Enerji verimliliği
Harder et al.	Electricity Market Simulation	2025	ABM + RL	Enerji piyasası analizi
Ioannou et al.	Mini-grid Control	2026	DRL	Enerji dengeleme
Li et al.	Virtual Power Plants	2026	RL	Enerji yönetimi
Giraldo-Pérez et al.	HVAC Optimization	2025	DRL	Enerji tasarrufu
Wang et al.	Photovoltaic Control	2026	MARL	Enerji üretimi optimizasyonu

Tablo 5'teki makaleler enerji sistemleri, özellikle yenilenebilir enerji kaynaklarının artmasıyla birlikte daha karmaşık ve dinamik bir yapıya dönüşmüştür. Bu bağlamda, ajan tabanlı modelleme ve pekiştirmeli öğrenme yöntemleri, enerji üretimi, dağıtımı ve tüketiminin optimize edilmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Literatürde yer alan çalışmalar, akıllı şebekeler, enerji piyasaları ve dağıtık enerji sistemleri gibi konulara odaklanmaktadır. Bu yöntemlerin kullanımı, enerji verimliliğinin artırılması, maliyetlerin azaltılması ve sistem kararlılığının sağlanması açısından kritik bir katkı sunmaktadır.

Tablo 6. Akıllı Şehirler Alanına Ait Örnek Çalışmalar

Yazar İsimleri	Makale Başlığı	Yıl	Yöntem	Amaç
Sheikh & Chong	Smart Cities Optimization	2026	MARL	Akıllı şehir yönetimi
Perez et al.	Public Transport Optimization	2025	ABM + RL	Ulaşım planlama
Sanderson et al.	Climate Adaptation	2025	ABM + RL	İklim etkileri
Qin et al.	Urban Flood Mitigation	2024	RL + ABM	Afet yönetimi
Doctorarastoo et al.	Urban Behavior Modeling	2026	ABM + RL	Şehir davranış analizi
Nanthasamroeng et al.	Retail Space Optimization	2026	RL	Şehir içi optimizasyon

Tablo 6'da akıllı şehirler, farklı sistemlerin entegre bir şekilde çalıştığı kompleks yapılar olarak dikkat çekmektedir. Bu kapsamda, ajan tabanlı modelleme ve pekiştirmeli öğrenme yöntemleri; ulaşım, enerji, çevre ve afet yönetimi gibi farklı alanların birlikte ele alınmasını mümkün kılmaktadır. Literatürdeki çalışmalar, şehir sistemlerinin daha etkin yönetilmesi, kaynak kullanımının optimize edilmesi ve yaşam kalitesinin artırılması üzerine

yoğunlaşmaktadır. Bu alan, çok disiplinli yapısı nedeniyle gelecekteki araştırmalar açısından önemli bir potansiyel taşımaktadır.

Tablo 7. Finansal Sistemler Alanına Ait Örnek Çalışmalar

Yazar İsimleri	Makale Başlığı	Yıl	Yöntem	Amaç
Wang & Liu	Portfolio Optimization	2025	DRL	Finansal karar verme
Rangarajan et al.	Market Making	2025	RL + ABM	Piyasa simülasyonu
Pastushkov & Boulatov	Financial Market Simulation	2025	ABM + RL	Piyasa davranışı
Njiru et al.	Agricultural Markets	2025	RL	Fiyat tahmini
Naseri et al.	Electricity Pricing	2022	RL	Tarif optimizasyonu
Catullo et al.	Credit Networks	2015	ABM	Finansal risk analizi

Tablo 7’de Finansal sistemler, belirsizlik ve dinamik değişimlerin yoğun olduğu alanlardan biridir. Ajan tabanlı modelleme ve pekiştirmeli öğrenme yaklaşımları, finansal piyasalardaki aktörlerin davranışlarını modelleyerek daha gerçekçi analizler yapılmasına olanak sağlamaktadır. Literatürde portföy optimizasyonu, piyasa simülasyonu ve fiyat tahmini gibi konular öne çıkmaktadır. Bu yöntemler, finansal karar verme süreçlerinin iyileştirilmesi ve risklerin daha etkin yönetilmesi açısından önemli katkılar sunmaktadır.

Tablo 8. Kaynak Optimizasyonu Alanına Ait Örnek Çalışmalar

Yazar İsimleri	Makale Başlığı	Yıl	Yöntem	Amaç
Giraldo-Pérez et al.	HVAC Optimization	2025	DRL	Enerji tüketimini azaltmak
Li et al.	Resource Allocation	2026	RL	Kaynak dağılımı
Wang et al.	Distributed Resource Control	2026	MARL	Dağıtık optimizasyon
Ioannou et al.	Grid Balancing	2026	DRL	Enerji dengesi
Qin et al.	Water Resource Management	2024	RL + ABM	Su kaynakları yönetimi
Nanthasamroeng et al.	Space Optimization	2026	RL	Alan optimizasyonu

Tablo 8’de Kaynak optimizasyonu, sınırlı kaynakların en verimli şekilde kullanılmasını hedefleyen kritik bir araştırma alanıdır. Ajan tabanlı modelleme ve pekiştirmeli öğrenme yöntemleri, karmaşık sistemlerde kaynak tahsisi problemlerinin çözümünde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Literatürde enerji, su ve alan kullanımı gibi farklı kaynak türlerinin optimize edilmesine yönelik çalışmalar yer almaktadır. Bu yaklaşımlar, operasyonel verimliliğin artırılması ve maliyetlerin düşürülmesi açısından önemli avantajlar sağlamaktadır.

Tablo 9. Diğer Alanlara Ait Örnek Çalışmalar

Yazar İsimleri	Makale Başlığı	Yıl	Yöntem	Amaç
Jin et al.	Social Media Simulation	2025	ABM + RL	Sosyal davranış analizi
Drechsler	Biodiversity Coordination	2023	ABM + RL	Ekolojik modelleme
Oswald	Artificial Societies	2025	ABM	Toplumsal simülasyon
Douven & Kriegeskorte	Expert Trust	2025	ABM	Güven analizi
Lee	Cultural Complexity	2025	ABM + RL	Kültürel modelleme
Olmez et al.	Crime Modeling	2024	RL + ABM	Suç analizi

Tablo 9’da Literatürde, ajan tabanlı modelleme ve pekiştirmeli öğrenme yöntemlerinin sosyal bilimler, ekoloji ve davranışsal analiz gibi farklı alanlarda da kullanıldığı görülmektedir. Bu çalışmalar, insan davranışlarının modellenmesi, sosyal etkileşimlerin analizi ve ekosistem dinamiklerinin incelenmesi gibi konulara odaklanmaktadır. Bu çeşitlilik, söz konusu yöntemlerin esnekliğini ve farklı disiplinlere uygulanabilirliğini göstermesi açısından önemlidir. Ayrıca, bu alanlar gelecekte disiplinlerarası araştırmalar için önemli fırsatlar sunmaktadır.

3.4. Yöntemsel Yaklaşımlara Göre Dağılım

Çalışmalar yöntemsel açıdan değerlendirildiğinde, simülasyon tabanlı yaklaşımların baskın olduğu, ancak hibrit model yaklaşımlarının son yıllarda artış gösterdiği belirlenmiştir. Tablo 10’da gösterilmiştir.

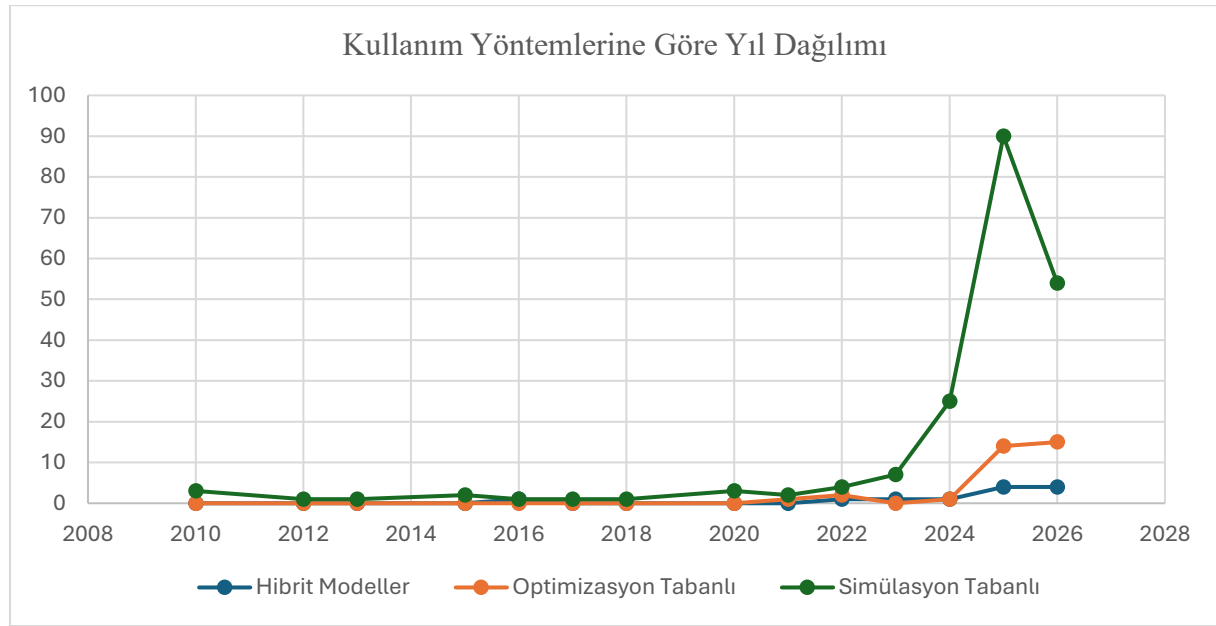
Tablo 10. Kullanılan Yöntemlere Göre Dağılım

Yöntem Türü	Makale Sayısı	Oran (%)
Simülasyon Tabanlı	112	46,5
Optimizasyon Tabanlı	53	22
Hibrit Modeller	76	31,5
Toplam	241	100

Şekil 2’de yıllara göre yöntem türlerinin dağılımı incelendiğinde, simülasyon tabanlı yaklaşımların tüm dönem boyunca baskın olduğu görülmektedir. Özellikle 2023 yılı sonrasında bu yöntemlerin kullanımında belirgin bir artış dikkat çekmektedir. Bu durum, ajan tabanlı modelleme ile pekiştirmeli öğrenme entegrasyonunun doğası gereği simülasyon ortamlarında yoğun olarak çalışıldığını göstermektedir.

Optimizasyon tabanlı yaklaşımların ise daha sınırlı ancak istikrarlı bir artış eğilimi sergilediği görülmektedir. Özellikle son yıllarda bu yöntemlerin kullanımındaki artış, karar verme ve sistem performansını artırmaya yönelik çalışmaların önem kazandığını göstermektedir.

Hibrit model yaklaşımlarının ise diğer yöntemlere kıyasla daha düşük seviyede kaldığı, ancak son yıllarda artış eğilimine girdiği dikkat çekmektedir. Bu durum, literatürde farklı yöntemlerin birlikte kullanımına yönelik ilginin arttığını ve gelecekte hibrit yaklaşımların daha yaygın hale gelebileceğini göstermektedir.



Şekil 2. Kullanım Yöntemlerine Göre Yıl Dağılımı

Elde edilen bulgular genel olarak değerlendirildiğinde, literatürde derin pekiştirmeli öğrenme yöntemlerinin kullanımının arttığı, çok ajanlı sistemlerin baskın hale geldiği ve çalışmaların giderek daha fazla gerçek dünya problemlerine yöneldiği görülmektedir. Ayrıca, hibrit model yaklaşımlarının artışı, alanın metodolojik olarak gelişim sürecinde olduğunu göstermektedir.

4.SONUÇ

Bu çalışma kapsamında, ajan tabanlı modelleme ile pekiştirmeli öğrenme entegrasyonunu ele alan literatür sistematik bir yaklaşımla incelenmiş ve elde edilen bulgular doğrultusunda alanın genel eğilimleri ve araştırma boşlukları ortaya konulmuştur. Yapılan analizler, özellikle son yıllarda bu alana yönelik akademik ilginin önemli ölçüde arttığını ve çalışmaların büyük ölçüde simülasyon tabanlı yaklaşımlar etrafında yoğunlaştığını göstermektedir.

Elde edilen bulgular, ajan tabanlı modelleme ile pekiştirmeli öğrenmenin birlikte kullanımının özellikle karmaşık sistemlerin modellenmesinde etkili bir yaklaşım sunduğunu ortaya koymaktadır. Trafik ve ulaşım, enerji sistemleri ve akıllı şehirler gibi uygulama alanlarında bu

yöntemlerin yoğun olarak kullanılması, söz konusu yaklaşımların gerçek dünya problemlerine uygulanabilirliğini göstermesi açısından önemli bir bulgudur.

Yöntemsel açıdan değerlendirildiğinde, simülasyon tabanlı yaklaşımların baskınlığını koruduğu, ancak hibrit model kullanımının son yıllarda artış eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Bu durum, literatürde yöntemsel çeşitliliğin giderek arttığını ve farklı tekniklerin birlikte kullanımına yönelik bir eğilimin oluştuğunu göstermektedir. Bununla birlikte, optimizasyon tabanlı yaklaşımların daha sınırlı bir paya sahip olması, bu alanda daha fazla çalışmaya ihtiyaç duyulduğunu ortaya koymaktadır.

Bu çalışma kapsamında belirlenen araştırma boşlukları (bkz. Tablo 12), alanın henüz tam olarak olgunlaşmadığını göstermektedir. Özellikle gerçek dünya verileri ile desteklenen uygulamaların sınırlı olması, çok ajanlı sistemlerde kararlılık ve koordinasyon problemlerinin devam etmesi ve hibrit model yaklaşımlarının yeterince gelişmemiş olması, literatürde öne çıkan temel eksiklikler olarak dikkat çekmektedir. Bu bulgular, gelecekte yapılacak çalışmalar için önemli araştırma fırsatlarının bulunduğunu ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, ajan tabanlı modelleme ile pekiştirmeli öğrenme entegrasyonu, karmaşık sistemlerin analizinde güçlü bir araç olarak öne çıkmakta olup, bu alandaki çalışmaların önümüzdeki yıllarda daha da artması beklenmektedir. Bu doğrultuda, özellikle gerçek dünya uygulamalarına odaklanan çalışmaların artırılması, hibrit model yaklaşımlarının geliştirilmesi ve daha gelişmiş pekiştirmeli öğrenme algoritmalarının kullanılması, alanın gelişimi açısından kritik bir rol oynayacaktır.

KAYNAKÇA

- Abdalla, A. N. Ji, R. Awad, O. I. Wang, A. Tang, Y. Liu, Y. ve Mahdi, M. A. (2026). Distributed control and optimization in building energy systems: a technical survey of multi-agent architectures and algorithms [Article]. *Energy and Buildings*, 350, Article 116644. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.116644>
- Alsaleh, R. ve Sayed, T. (2020). Modeling pedestrian-cyclist interactions in shared space using inverse reinforcement learning. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 70, 37-57. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trf.2020.02.007>
- Barto, A. G. (2021). Reinforcement learning: An introduction. by richard's sutton. *SIAM Rev*, 6(2), 423.
- Cao, K. Yang, S. Yang, C. Yu, M. Geng, J. ve Jung, H. (2026). Research on Intelligent Traffic Signal Control Based on Multi-Agent Deep Reinforcement Learning. *Mathematics*, 14(1), 149.
- Chen, C. Yang, H. Zhai, C. Chen, X. ve Mo, D. (2024). Competitive pricing for ride-sourcing platforms with MARL. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 165, 104697. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trc.2024.104697>
- Douven, I. ve Kriegeskorte, N. (2025). The Emergent Basis of Expert Trust [Article]. *Philosophy of Science*. <https://doi.org/10.1017/psa.2025.10186>
- Drechsler, M. (2023). Improving models of coordination incentives for biodiversity conservation by fitting a multi-agent simulation model to a lab experiment. *Journal of Behavioral and Experimental Economics*, 102, 101967. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.socec.2022.101967>
- Giraldo-Pérez, J. P. Bruse, J. L. Odriozola, J. ve Mejía-Gutiérrez, R. (2025). Balancing indoor air quality and ventilation efforts via deep reinforcement learning: An agent-based approach applied to

- an office building [Article]. *Energy and Buildings*, 335, Article 115501. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2025.115501>
- Harder, N. Miskiw, K. K. Khanra, M. Maurer, F. Patil, P. Qussous, R. Weinhardt, C. Klobasa, M. Ragwitz, M. ve Weidlich, A. (2025). ASSUME: An agent-based simulation framework for exploring electricity market dynamics with reinforcement learning [Article]. *SoftwareX*, 30, Article 102176. <https://doi.org/10.1016/j.softx.2025.102176>
- Ioannou, I. Javaid, S. Tan, Y. ve Vassiliou, V. (2026). A Hierarchical Predictive-Adaptive Control Framework for State-of-Charge Balancing in Mini-Grids Using Deep Reinforcement Learning. *ELECTRONICS*, 15(1), 61.
- Jin, B. ve Guo, W. (2025). Synthetic Social Media Influence Experimentation via an Agentic Reinforcement Learning Large Language Model Bot [Article]. *JASSS*, 28(3), Article 6. <https://doi.org/10.18564/jasss.5726>
- Lee, M. (2025). Does Low Spoilage Under Cold Conditions Foster Cultural Complexity During the Foraging Era?—Agent-Based Modeling and Reinforcement-Learning Approach [Article]. *Big Data and Cognitive Computing*, 9(2), Article 34. <https://doi.org/10.3390/bdcc9020034>
- Li, Z. Lokhandwala, M. Al-Abbasi, A. O. Aggarwal, V. ve Cai, H. (2025). Integrating reinforcement-learning-based vehicle dispatch algorithm into agent-based modeling of autonomous taxis [Article]. *Transportation*, 52(2), 641-667, Article 102577. <https://doi.org/10.1007/s11116-023-10433-w>
- Mnih, V. Kavukcuoglu, K. Silver, D. Rusu, A. A. Veness, J. Bellemare, M. G. Graves, A. Riedmiller, M. Fidjeland, A. K. ve Ostrovski, G. (2015). Human-level control through deep reinforcement learning. *nature*, 518(7540), 529-533.
- Nanthasamroeng, N. Luesak, P. Pitakaso, R. Khonjun, S. Jirasirilerd, G. ve Matitopatum, S. (2026). A machine learning–Powered digital twin framework for adaptive management of urban air quality in Chiang Mai, Northern Thailand [Article]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 163, Article 112597. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2025.112597>
- Olmez, S. Birks, D. Heppenstall, A. ve Ge, J. Q. (2024). Learning the rational choice perspective: A reinforcement learning approach to simulating offender behaviours in criminological agent-based models. *COMPUTERS ENVIRONMENT AND URBAN SYSTEMS*, 112, Article 102141. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2024.102141>
- Oswald, Y. (2025). Artificial Utopia: Simulation and artificially intelligent agents for exploring Utopian and democratized futures [Article]. *Futures*, 174, Article 103695. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2025.103695>
- Page, M. J. McKenzie, J. E. Bossuyt, P. M. Boutron, I. Hoffmann, T. C. Mulrow, C. D. Shamseer, L. Tetzlaff, J. M. Akl, E. A. ve Brennan, S. E. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *bmj*, 372.
- Qin, H. Liang, Q. Chen, H. ve De Silva, V. (2024). A Coupled Human and Natural Systems (CHANS) framework integrated with reinforcement learning for urban flood mitigation. *Journal of Hydrology*, 643, 131918. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.131918>
- Sun, C. Yang, Y. Li, J. Fang, W. ve Zhang, P. (2026). A Multi-Agent Regional Traffic Signal Control System Integrating Traffic Flow Prediction and Graph Attention Networks. *Systems*, 14(1), 47.
- Wooldridge, M. (2009). *An introduction to multiagent systems*. John Wiley & sons.
- Zhang, X. ve Han, Y. (2026). Multi-Agent Reinforcement Learning for Traffic State Estimation on Highways Using Fundamental Diagram and LWR Theory. *Applied Sciences*, 16(3), 1219.

AKILLI ÜRETİMDE DİJİTAL İKİZ UYGULAMALARI: SİSTEMATİK BİR LİTERATÜR İNCELEMESİ

Yüksek lisans Öğrencisi Mertcan BAHAR

Trakya Üniversitesi, Fen Fakültesi, Veri Bilimi ve Analitiği Bölümü, 22100 Merkez, Edirne

ORCID ID: 0009-0005-6878-4889

Dr. Öğretim Üyesi Süreyya TEMELLİ

Trakya Üniversitesi, Fen Fakültesi, Veri Bilimi ve Analitiği Bölümü, 22100 Merkez, Edirne

ORCID ID: 0000-0001-5340-3186

ÖZET

Dijital İkiz teknolojisi, Endüstri 4.0 ortamlarında akıllı üretimin önemli bir bileşeni olarak ortaya çıkmıştır. Bu çalışma, akıllı üretim sistemlerinde Dijital İkiz uygulamalarını inceleyen sistematik bir literatür taraması sunmaktadır. Çalışmada, Dijital İkiz teknolojilerinin Endüstri 4.0 altyapıları ile nasıl entegre edildiği ve gerçek zamanlı izleme, kestirimci bakım, üretim optimizasyonu ve üretim hattı simülasyonu gibi alanlarda nasıl kullanıldığı analiz edilmektedir. Araştırmada ayrıca Dijital İkiz uygulamalarını mümkün kılan temel teknolojiler incelenmiştir. Bu teknolojiler arasında Nesnelerin İnterneti (IoT) sensörleri, bulut bilişim, büyük veri analitiği ve yapay zekâ destekli üretim sistemleri yer almaktadır. Çalışma kapsamında üretim alanında kullanılan Dijital İkiz mimarileri sınıflandırılmış ve literatürde kullanılan veri akışı yapıları ile modelleme yaklaşımları karşılaştırılmıştır. Bunun yanı sıra sistem entegrasyonu karmaşıklığı, veri yönetimi sorunları ve birlikte çalışabilirlik sınırlamaları gibi uygulama zorlukları da ele alınmıştır. Son olarak, akıllı üretimde Dijital İkiz sistemlerinin ölçeklenebilirliğini, güvenilirliğini ve verimliliğini artırmaya yönelik açık araştırma problemleri ve gelecekteki araştırma yönleri ortaya konmuştur. Bu çalışma, mevcut araştırma eğilimlerini kapsamlı bir şekilde özetleyerek Dijital İkiz teknolojilerinin akıllı üretim sistemlerinin gelişimindeki rolünün daha iyi anlaşılmasına katkı sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Dijital İkiz; Akıllı Üretim; Endüstri 4.0; Nesnelerin İnterneti (IoT); Kestirimci Bakım; Üretim Optimizasyonu

DIGITAL TWIN APPLICATIONS IN SMART MANUFACTURING: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

ABSTRACT

Digital Twin technology has emerged as a key enabler of smart manufacturing within Industry 4.0 environments. This study presents a systematic literature review of Digital Twin applications in smart manufacturing systems. The review analyzes how Digital Twin technologies are integrated with Industry 4.0 infrastructures to support real-time monitoring, predictive maintenance, production optimization, and manufacturing line simulation. The

study examines the technological foundations that enable Digital Twin implementations, including Internet of Things (IoT) sensors, cloud computing, big data analytics, and artificial intelligence-driven manufacturing systems. Furthermore, the paper classifies existing Digital Twin architectures used in manufacturing environments and compares different data flow structures and modeling approaches reported in the literature. In addition, the review identifies major implementation challenges, such as system integration complexity, data management issues, and interoperability limitations. Finally, the study highlights open research problems and potential future directions for improving the scalability, reliability, and efficiency of Digital Twin systems in smart manufacturing. The findings provide a comprehensive overview of current research trends and contribute to a better understanding of the role of Digital Twin technologies in advancing intelligent manufacturing systems.

Keywords: Digital Twin; Smart Manufacturing; Industry 4.0; Internet of Things (IoT); Predictive Maintenance; Manufacturing Optimization

1. GİRİŞ

Endüstri 4.0'ın gelişiyle birlikte üretim sektörü, fiziksel ve dijital dünyaların iç içe geçtiği köklü bir dönüşüm sürecine girmiştir. Bu dönüşümün en kritik bileşenlerinden biri olan Dijital İkiz (Digital Twin) teknolojisi, fiziksel bir varlığın, sürecin veya sistemin gerçek zamanlı verilerle beslenen dijital bir kopyası olarak tanımlanmaktadır. Geleneksel simülasyon modellerinden farklı olarak Dijital İkizler, Nesnelerin İnterneti (IoT) sensörlerinden gelen sürekli veri akışı sayesinde fiziksel dünyadaki değişiklikleri anlık olarak yansıtabilmekte ve çift yönlü bir etkileşim kurabilmektedir.

Akıllı üretim sistemlerinde Dijital İkiz uygulamaları; operasyonel verimliliği artırmak, ürün kalitesini iyileştirmek ve sistem arızalarını önceden tahmin etmek amacıyla kullanılmaktadır. Özellikle karmaşık üretim hatlarının izlenmesi, kestirimci bakım stratejilerinin geliştirilmesi ve üretim süreçlerinin dinamik olarak optimize edilmesi, bu teknolojinin sunduğu temel avantajlar arasında yer almaktadır. Ancak, bu avantajların hayata geçirilmesi; büyük veri analitiği, bulut bilişim ve yapay zekâ gibi yardımcı teknolojilerin başarılı bir şekilde entegre edilmesine bağlıdır.

Literatür incelendiğinde, Dijital İkiz kavramına olan akademik ilginin son on yılda üstel bir artış gösterdiği görülmektedir. Ancak, teknolojinin hızlı gelişimi ve uygulama alanlarının çeşitliliği, mevcut çalışmaların sistemli bir şekilde sentezlenmesini zorunlu kılmaktadır. Bu çalışma, akıllı üretimde Dijital İkiz mimarilerini, veri akış yapılarını ve uygulama zorluklarını kapsamlı bir şekilde ele alan sistematik bir literatür incelemesi sunmayı amaçlamaktadır. Araştırma kapsamında, literatürdeki mevcut eğilimler analiz edilerek, sistem entegrasyonu ve

ölçeklenebilirlik gibi temel problemler tartışılmakta ve gelecek araştırmalar için bir yol haritası sunulmaktadır.

2. METODOLOJİ

Dijital ikiz teknolojilerinin akıllı üretimde kullanımına yönelik çalışmalar son yıllarda artış göstermiş olsa da literatürde önemli boşluklar bulunmaktadır. Mevcut çalışmaların büyük bölümü simülasyon tabanlı yaklaşımlara odaklanırken, gerçek zamanlı veri entegrasyonu ve yapay zekâ ile bütünleşik sistemlerin sınırlı olduğu görülmektedir. Ayrıca, veri toplama, modelleme ve optimizasyon süreçlerinin çoğunlukla ayrı ele alındığı; uçtan uca bütüncül sistemlerin ise az sayıda olduğu dikkat çekmektedir.

Bu çalışma kapsamında PRISMA yöntemi kullanılarak Scopus, ScienceDirect, IEEE Xplore ve Web of Science veri tabanlarında yapılan tarama sonucunda toplam 4731 kayda ulaşılmıştır. İlk aşamada 1029 mükerrer kayıt çıkarılmış ve 1085 özgün çalışma elde edilmiştir. Başlık ve özet incelemesi sonrasında üretim odağı dışında kalan 524 çalışma elenmiş ve nihai olarak 561 çalışma analize dâhil edilmiştir.

Scopus veri tabanında yapılan detaylı taramada başlangıçta 7515 yayın bulunmuş, uygulanan filtreler sonucunda bu sayı sırasıyla 4106, 4022, 3647 ve 2735'e düşürülmüştür. Erişim ve kalite filtreleri sonrası 1259 yayına ulaşılmış; bunların 446'sı kapsam dışı bırakılarak 813 çalışma tam metin incelemesine alınmıştır.

Web of Science veri tabanında 214 yayın ile başlanmış, filtreleme sonrası 115 yayına düşülmüş; bunların 55'i mükerrer, 30'u kapsam dışı olduğu için elenmiş ve 30 çalışma analize dahil edilmiştir. ScienceDirect veri tabanında ise 3037 yayından 1552'ye, ardından 1053 ve 875'e düşürülmüş; erişim sonrası 436 yayından 332'si uygun bulunarak değerlendirmeye alınmıştır. IEEE Xplore veri tabanında ise 465 yayından 249'a, ardından 217 yayına ulaşılmış; 32 yayın elenmiş ve kalan çalışmalar analize dahil edilmiştir.

Bu sistematik eleme süreci sonucunda elde edilen veri seti, hem sayısal tutarlılığı hem de konu odaklı yapısı sayesinde güvenilir ve yüksek nitelikli bir literatür havuzu oluşturmuştur.

3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

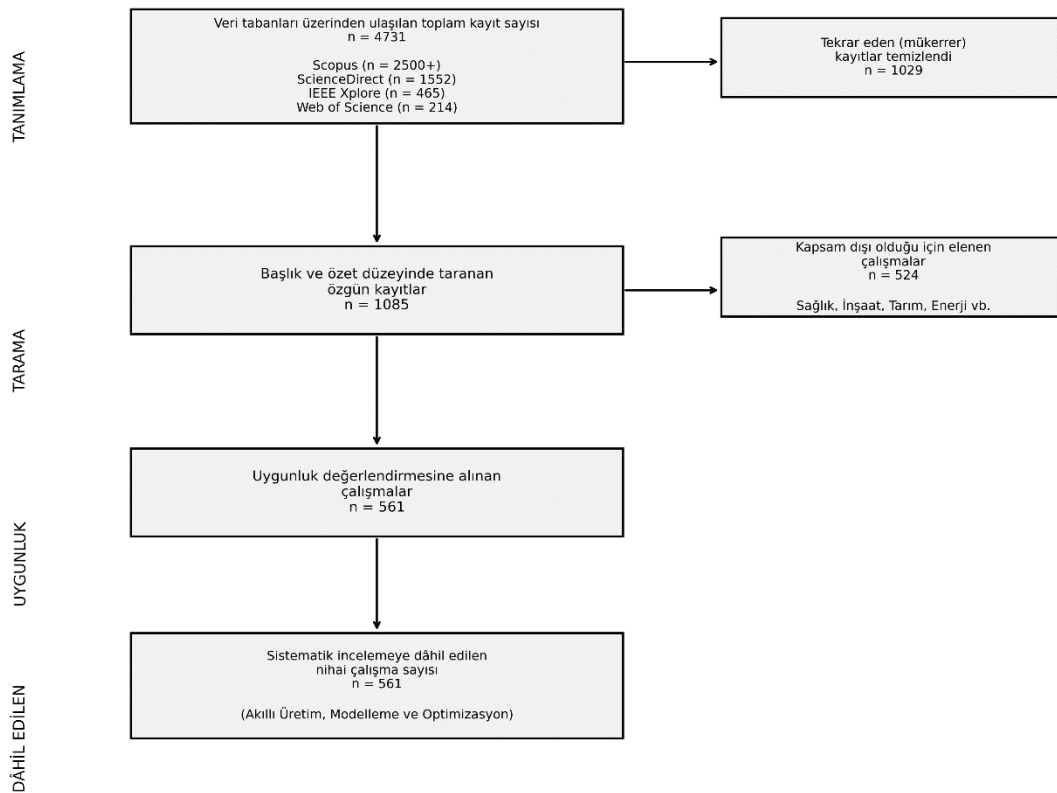
Yapılan sistematik inceleme sonucunda, akıllı üretimde Dijital İkiz (DT) teknolojisinin gelişim süreci ve uygulama alanlarına dair temel bulgular elde edilmiştir. 2018-2024 yılları arasını kapsayan 561 makalenin analizi, teknolojinin statik modellerden dinamik ve otonom sistemlere evrildiğini göstermektedir.

Scopus, Web of Science, Science Direct ve IEEE Xplore kütüphanelerinde ("Digital Twin") AND ("Smart Manufacturing" OR "Industry 4.0") AND ("Predictive Maintenance" OR "Manufacturing Optimization" OR "Production Simulation") sorgusu ile yapılan taramalar ve

devamında belirtilen kriterler çerçevesinde yapılan filtrelemelerde, her kütüphanede bulunan ve tekrarlanan makaleler olup olmadığı yönünde tarama yapılmıştır.

Dört kütüphaneden gelen tüm uygun makaleler birleştğinde, analiz edilmeye hazır 1085 adet özgün ve yüksek kaliteli makale kalmıştır.

Şekil 1’de sunulan PRISMA diyagramı, dört farklı veri tabanından elde edilen çalışmaların sistematik bir süreç içerisinde nasıl birleştirildiğini, tarandığını ve belirlenen kriterler doğrultusunda nasıl elendiğini şematik olarak göstermektedir.



Şekil 1. PRISMA Diyagramı

Bu çalışmada literatür tarama süreci üç temel aşama çerçevesinde yürütülmüştür: tanımlama, tarama ve eleme ile uygunluk değerlendirmesi. Tanımlama aşamasında, farklı akademik veri tabanlarından geniş kapsamlı bir veri seti oluşturulmuştur. Bu doğrultuda Web of Science (WoS) veri tabanından 214 kayıt, IEEE Xplore’dan 465 kayıt ve ScienceDirect’ten 1552 kayıt elde edilmiştir. Ayrıca Scopus veri tabanında yapılan ön taramada 2500’ün üzerinde yayına ulaşılmıştır. Tüm veri tabanları birlikte değerlendirildiğinde, filtreleme öncesinde toplam 4731 potansiyel kayda erişilmiştir.

Tarama ve eleme aşamasında, belirlenen dâhil etme ve hariç tutma kriterleri doğrultusunda kapsam daraltılmıştır. Bu süreçte yıl, dil ve yayın türü gibi temel kriterlere uymayan 2617 kayıt veri setinden çıkarılmıştır. Bunun yanı sıra, farklı veri tabanları arasında yer alan mükerrer (duplicate) kayıtlar analiz bütünlüğünü sağlamak amacıyla ayıklanmış ve özellikle Scopus ile diğer veri tabanları arasındaki çakışmalar sonucunda 1029 kayıt elenmiştir. Bu aşamaların sonunda, detaylı incelemeye uygun olduğu değerlendirilen 1085 özgün kayıt elde edilmiştir.

Uygunluk değerlendirmesi aşamasında ise çalışmalar içerik bakımından ayrıntılı olarak analiz edilmiştir. Bu kapsamda sağlık, inşaat, tarım ve enerji gibi çalışma konusu dışında kalan alanlara ait 524 kayıt kapsam dışı bırakılmıştır. Nihai değerlendirme sonucunda, araştırma kapsamına uygun bulunan toplam 561 makale analize dâhil edilmiştir. Bu sistematik süreç, elde edilen bulguların metodolojik açıdan güvenilirliğini ve tutarlılığını güçlendirmektedir.

3.1. Teknolojik Bileşenler ve Mimari Yapı

İncelenen çalışmaların büyük çoğunluğunda Dijital İkiz mimarisinin üç temel sütun üzerine inşa edildiği görülmektedir: Fiziksel katman (IoT sensörleri ve aktüatörler), dijital katman (simülasyon ve veri modelleri) ve bağlantı katmanı (bulut bilişim ve veri akışı). Nesnelerin İnterneti (IoT) teknolojisinin, fiziksel ve dijital dünyalar arasında kesintisiz veri iletimini sağlayarak "gerçek zamanlılık" özelliğini mümkün kıldığı saptanmıştır. Yapay zekâ ve büyük veri analitiği ise, ham verilerin anlamlı kararlara dönüştürülmesinde anahtar rol oynamaktadır.

3.2. Uygulama Alanları ve Avantajlar

Literatürdeki uygulamalar incelendiğinde, çalışmaların dört temel başlık etrafında yoğunlaştığı görülmektedir. Bunlardan ilki gerçek zamanlı izleme olup, üretim hatlarında meydana gelen anomalilerin anlık olarak tespit edilmesini ve sistem performansının sürekli takip edilmesini sağlamaktadır. Bu yaklaşım, özellikle üretim süreçlerinde hızlı müdahale imkânı sunarak hata yayılımını önlemede kritik rol oynamaktadır.

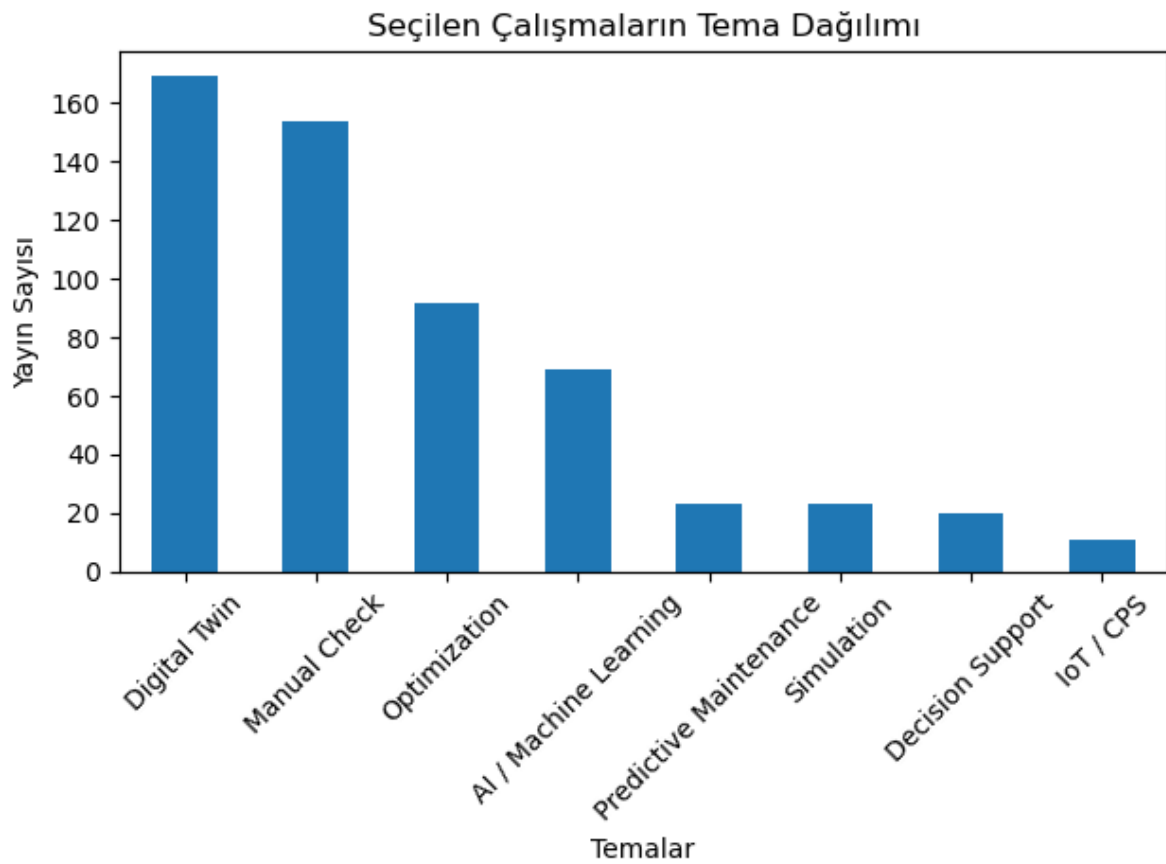
İkinci olarak kestirimci bakım uygulamaları öne çıkmaktadır. Bu kapsamda, ekipman arızaları henüz gerçekleşmeden önce tahmin edilerek bakım faaliyetleri proaktif bir şekilde planlanmakta ve plansız duruşların minimize edilmesi hedeflenmektedir. Bu durum, üretim sürekliliğini artırırken bakım maliyetlerinin de optimize edilmesine katkı sağlamaktadır.

Bir diğer önemli başlık üretim optimizasyonudur. Dijital İkiz teknolojisi sayesinde kaynak kullanımı, üretim planlaması ve operasyonel süreçler verimlilik odaklı olarak yeniden düzenlenebilmekte; böylece hem maliyetlerin düşürülmesi hem de üretim çıktılarının artırılması mümkün hale gelmektedir.

Son olarak simülasyon ve senaryo analizi uygulamaları dikkat çekmektedir. Olası senaryoların üzerinden gerçekleştirilen bu analizler, farklı üretim koşullarının önceden test edilmesine olanak tanıyarak risk yönetimini güçlendirmekte ve karar alma süreçlerini daha güvenilir hale getirmektedir.

3.3. Literatürün Tematik Dağılımı ve Oransal Analizi

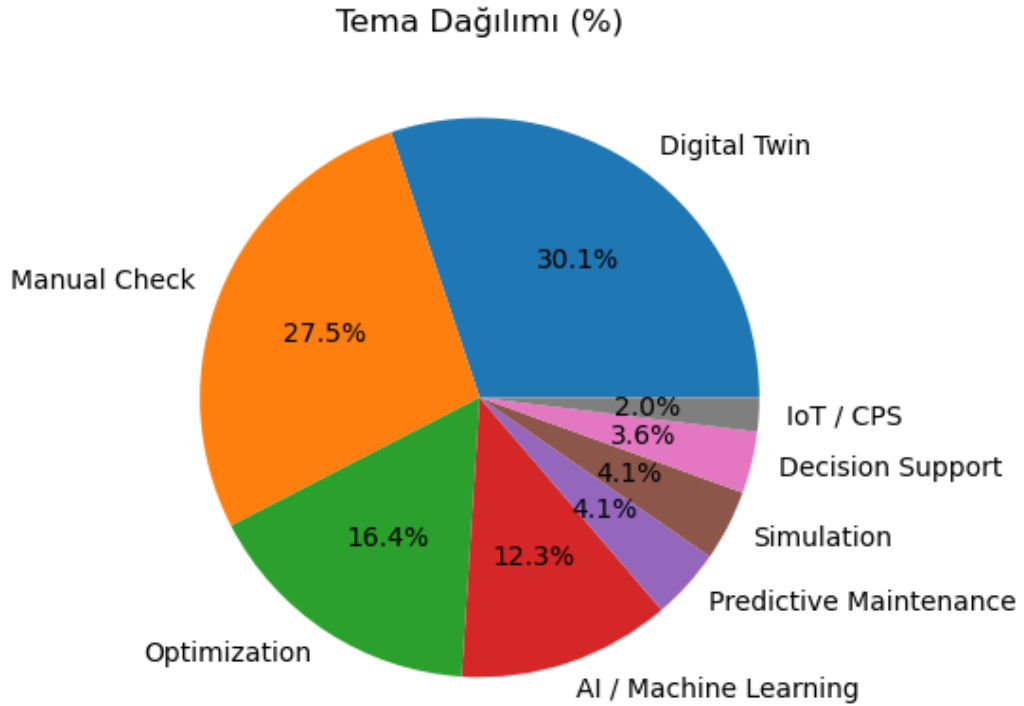
Sistemik inceleme kapsamında analiz edilen çalışmaların tematik dağılımı, Dijital İkiz (DT) teknolojisinin akıllı üretimdeki uygulama önceliklerini yansıtmaktadır. Şekil 2'de sunulan sayısal dağılım ve Şekil 3'te sunulan oransal analiz incelendiğinde, literatürün hala büyük ölçüde temel mimari ve doğrulama süreçleri etrafında şekillendiği görülmektedir.



Şekil 2. İncelenen çalışmaların tematik odak noktalarına göre sayısal dağılımı.

Toplam çalışmaların %57.6'lık büyük bir dilimi, "Digital Twin" (~170 yayın, %30.1) kavramsal yapıları ve sistemlerin fiziksel karşılıklarıyla doğrulanmasını ifade eden "Manual Check" (~155 yayın, %27.5) süreçlerine ayrılmıştır. Bu yüksek oran, teknolojinin henüz tam otonomiye ulaşmadığını ve araştırmaların hala güvenilirlik ve sistem entegrasyonu aşamalarında yoğunlaştığını göstermektedir.

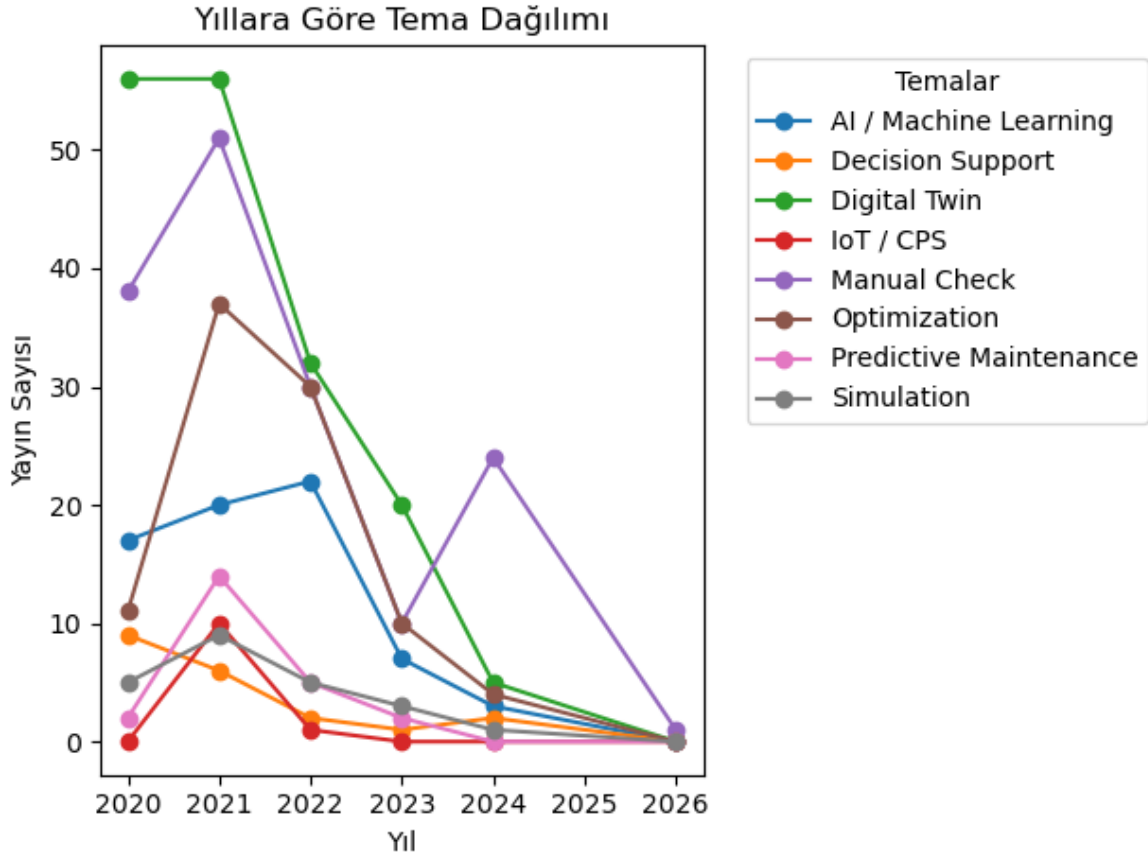
Geriye kalan çalışmaların büyük bir kısmı ise operasyonel verimliliğe odaklanmıştır. "Optimization" (%16.4) ve "AI / Machine Learning" (%12.3) temaları, Dijital İkizlerin akıllı karar verme mekanizmalarına doğru evrilme çabasını kanıtlamaktadır. Kestirimci bakım (Predictive Maintenance) ve simülasyon temalarının dengeli bir dağılım (%4.1) göstermesi ise, teknolojinin operasyonel verimlilik ve senaryo analizi için eş zamanlı olarak kullanıldığını doğrulamaktadır.



Şekil 3. İncelenen çalışmaların oransal tema dağılımı.

3.4. Temaların Yıllara Göre Gelişim Eğilimi

Analiz edilen 561 çalışmanın yıllara göre tematik dağılımı incelendiğinde (Bkz. Şekil 4), Dijital İkiz teknolojisinin literatürdeki evrim süreci açık bir biçimde ortaya konmaktadır. Yıllık eğilimler, araştırmaların başlangıçta temel mimari kurgulara odaklanırken zamanla daha akıllı, veri odaklı ve otonom sistemlere yöneldiğini göstermektedir. Bu durum, literatürün yalnızca teknolojinin kurulumu ile sınırlı kalmayıp, giderek daha ileri düzey uygulamalara evrildiğini ortaya koymaktadır.



Şekil 4. İncelenen çalışmaların tematik odak noktalarının yıllara göre değişim trendi.

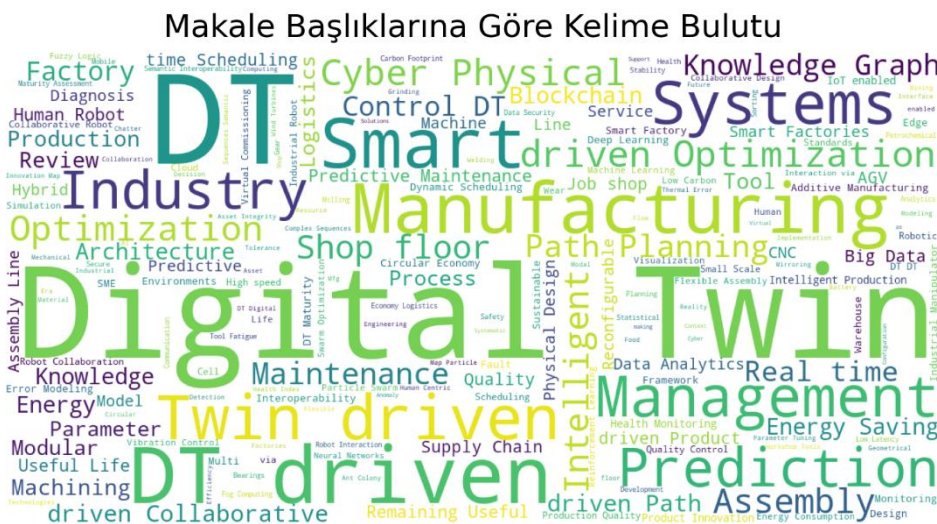
2020–2021 yılları, kavramsal inşa ve doğrulama dönemi olarak öne çıkmaktadır. Bu süreçte “Digital Twin” ve “Manual Check” temalarının belirgin şekilde zirve yapması, araştırmacıların öncelikli olarak teorik çerçeveyi oluşturma ve geliştirilen dijital modellerin fiziksel sistemlerle uyumluluğunu manuel yöntemlerle doğrulama üzerine yoğunlaştığını göstermektedir. Bu yaklaşım, teknolojinin endüstriyel ortamlara ilk entegrasyon aşamasında güvenilirlik ve doğruluk arayışının ön planda olduğunu ortaya koymaktadır.

2021 sonrası dönemde ise literatürde belirgin bir yön değişimi gözlemlenmektedir. “Optimization” çalışmalarındaki keskin artış ve 2022 yılında “AI / Machine Learning” temalarının en yüksek yayın hacmine ulaşması, araştırmaların veri toplama ve model kurma aşamasından, veriyi işleyerek anlamlandırma ve karar destek süreçlerine geçiş yaptığını göstermektedir. Buna paralel olarak temel “Digital Twin” çalışmalarının görece azalma eğilimine girmesi, literatürün artık altyapı kurmaktan ziyade bu altyapıyı akıllı sistemlerle zenginleştirmeye odaklandığını ortaya koymaktadır. Bu dönüşüm, bilişsel ve otonom sistemlere doğru evrimin önemli bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.

Öte yandan, 2023 sonrası yıllarda gözlemlenen yayın sayısındaki düşüş ile 2025–2026 yıllarında görülen sıfırlanma durumu, teknolojik bir gerilemeden ziyade metodolojik bir sınırlılığa işaret etmektedir. Bu durum, veri tabanlarından çekilen makalelerin indekslenme süreçlerinin henüz tamamlanmamış olması ve literatür tarama kapsamındaki zaman kısıtları ile açıklanabilir. Dolayısıyla bu yıllara ilişkin düşük değerler, alanın gelişim hızını yansıtmaktan çok veri erişim süreçlerine bağlı bir eksiklik olarak değerlendirilmelidir.

3.5. Literatürün Anahtar Kelime Analizi

İncelenen 561 çalışmanın başlıklarından elde edilen kelime bulutu analizi (Bkz. Şekil 5), literatürdeki araştırmaların kavramsal ağırlık merkezlerini bütüncül bir çerçevede ortaya koymaktadır. Analizde “Digital”, “Twin” ve “DT” kavramlarının merkezde yer alması, çalışmaların büyük ölçüde Dijital İkiz yaklaşımı etrafında yoğunlaştığını göstermektedir. Bu ana kavramların çevresinde konumlanan diğer terimler ise teknolojinin özellikle üretim odaklı kullanım hedeflerini ve uygulama alanlarını açık bir şekilde yansıtmaktadır.



Şekil 5. İncelenen 561 makalenin başlıklarında en sık geçen anahtar kavramların kelime bulutu analizi.

Öne çıkan “manufacturing”, “industry”, “smart”, “shop floor” ve “systems” kavramlarının yüksek frekansı, literatürde güçlü bir endüstriyel entegrasyon eğilimine işaret etmektedir. Bu durum, Dijital İkiz kavramının yalnızca teorik bir model olmaktan çıkarak Endüstri 4.0 kapsamında doğrudan üretim sahasına entegre edildiğini ve akıllı üretim sistemlerinin temel bileşenlerinden biri haline geldiğini göstermektedir. Böylece teknoloji, fiziksel üretim ortamları ile dijital modeller arasında köprü kuran aktif bir yapı olarak konumlanmaktadır. Bununla birlikte “optimization”, “prediction”, “maintenance” ve “management” gibi kavramlar, literatürün aksiyon ve süreç iyileştirme odaklı bir yönelim sergilediğini ortaya

koymaktadır. Bu bulgu, Dijital İkiz uygulamalarının yalnızca izleme amacıyla kullanılmadığını; aynı zamanda kestirimci bakım, performans iyileştirme ve üretim optimizasyonu gibi karar destek süreçlerinde aktif rol oynadığını doğrulamaktadır.

Son olarak “cyber physical”, “knowledge graph” ve “big data” gibi kavramların görünürlüğü, Dijital İkiz mimarisinin çok disiplinli ve entegre bir ekosistem içerisinde geliştiğini göstermektedir. “Driven” (veri/model güdümlü) ifadesinin belirginliği ise bu sistemlerin giderek dış müdahaleye daha az ihtiyaç duyan, kendi verisiyle hareket eden ve karar verebilen otonom yapılara doğru evrildiğine işaret etmektedir.

3.6. Seçilen Çalışmaların Tematik Analizi

Sistemik incelemeye dâhil edilen çalışmalar arasından temsili olarak seçilen örnek çalışmalar sunulmuştur. Tüm çalışmalar tema bazlı olarak analiz edilmiş olup, detaylı sınıflandırma sonuçları grafikler ve istatistiksel analizler ile değerlendirilmiştir.

Tablo 1. Dijital Twin temalı makaleler

Yazar İsimleri	Makale Başlığı	Yıl	Yöntem	Amaç
Emmanuelle Abisset-Chavanne, Thierry Coupaye, Fahad R. Golra, Damien Lamy, Ariane Piel, Olivier Scart, Pascale Vicat-Blanc	A Digital Twin use cases classification and definition framework based on Industrial feedback	2024	Alan çalışması (field study), aşağıdan yukarıya yaklaşım (bottom-up approach) ve gömülü teori (grounded theory) prensipleri	Endüstriyel DT kullanım senaryolarının sınıflandırılması
Adolfo Crespo Marquez, Jos'e Antonio Marcos Alberca, Antonio J. Guillen ' Lopez, Antonio De La Fuente	Digital twins in condition-based maintenance apps: A case study for train axle bearings	2023	Vaka çalışması ve genel çerçeve modellemesi (generic framework)	DT'nin fiziksel ekipmanları kopyalama işlevi ve bakımdaki çerçevesi
Ahmad Afif Supianto, Wajeeha Nasar, Dina Margrethe Aspen, Agus Hasan, Anniken Susanne T. Karlsen, Ricardo Da Silva Torres	An Urban Digital Twin Framework for Reference and Planning	2024	Sistemik literatür taramasına dayalı etki alanı analizi (domain analysis) ve teorik çerçevenin uygulanabilirliğini göstermek için iki farklı vaka çalışması (case study)	Sürdürülebilir dijital dönüşüm için kentsel/sistem düzeyinde DT mimarisi
Paolo Bellavista, Giuseppe Di Modica	IoTwins: Implementing Distributed and Hybrid Digital Twins in Industrial Manufacturing and Facility Management Settings	2024	Referans mimari tasarımı ve açık platform (open platform) entegrasyon metodolojisi.	Bulut/uç bilişim sürekliliğinde endüstriyel DT referans mimarisi

Yingjia Liew, Yunfeng Dong	Parameter Selection for Digital Satellite Model Updating with Knowledge Graph	2023	Bilgi grafiği (knowledge graph) teknolojisi, kümeleme algoritması (clustering algorithm) ve grafik akıl yürütme algoritmaları (graph reasoning algorithms).	Karmaşık sistemlerde bilgi grafikleri -Knowledge Graph- ile DT model güncelleme mimarisi
Ran Wei, Ruizhe Yang, Shijun Liu, Chongsheng Fan, Rong Zhou, Zekun Wu, Haochi Wang, Yifan Cai, Zhe Jiang	Towards an extensible model-based digital twin framework for space launch vehicles	2024	Modele dayalı DT geliştirme metodolojisi (model-based DT development methodology), DT olgunluk matrisi (maturity matrix) ve modeli doğrulamak için vaka çalışması (case study) analizi.	Modele dayalı DT geliştirme metodolojisi ve olgunluk matrisi

Tablo 1'de sunulan çalışmalar, dijital ikizlerin kavramsal modellerini, referans mimarilerini ve üretim sahasındaki genel entegrasyonlarını ele almaktadır. Bu tema, teknolojinin fabrikalarda nasıl konumlandırılacağına dair teorik temelleri ve veri akış standartlarını belirlemesi açısından literatürün en geniş bölümünü oluşturmaktadır.

Tablo 2. Optimizasyon temalı makaleler

Yazar İsimleri	Makale Başlığı	Yıl	Yöntem	Amaç
Jingzhe Yang, Yili Zheng and Jian Wu	Towards Sustainable Production: An Adaptive Intelligent Optimization Genetic Algorithm for Solid Wood Panel Manufacturing	2024	Geliştirilmiş Genetik Algoritma (Adaptive Intelligent Optimization Genetic Algorithm - AIOGA) ve Simülasyon	Genetik algoritmalarla esnek atölye çizelgeleme optimizasyonu
Arbnor Pajaziti, Orlat Tafilaj, Enise Hasanaj, Afrim Gjellaj	Optimization of CNC Working Time Depending on the Positioning of the Tools in the Magazine	2024	Doğrudan CNC veri toplama, CAD/CAM Simülasyonları ve Python programlama dili ile veri analizi/görselleştirme	CNC çalışma süresinin kesici takımların stratejik konumlandırılmasıyla optimize edilmesi
Carlos Llopis-Albert, Francisco Rubio, Carlos Devece, Dayanis García-Hurtado	Digital Twin-Based Approach for a Multi- Objective Optimal Design of Wind Turbine Gearboxes	2024	Çok Amaçlı Optimizasyon Çerçevesi (Multi- objective optimization framework - modeFrontier), Bilgisayar Destekli Tasarım/Mühendislik (CAD/CAE), Sonlu Elemanlar Analizi (FEA) ve Çoklu Gövde (Multibody) Kinematik/Dinamik Simülasyonu.	Çok amaçlı optimizasyon çerçevesiyle rüzgar türbini dişli kutularının DT ile optimizasyonu

Adolfo Crespo del Castillo, Ajith Kumar Parlikad	Dynamic fleet management: Integrating predictive and preventive maintenance with operation workload balance to minimise cost	2024	Matematiksel Optimizasyon Modeli ve Duyarlılık Analizi (Sensitivity Analysis). Ayrıca Kalan Faydalı Ömür (Remaining Useful Life - RUL) tahmini dağılımları kullanılmış.	Kestirimci bakım ile filo operasyonel tahsisinin dengelenmesi ve optimizasyonu
Tiago Bastos, Leonor C. Teixeira, Leonel J.R. Nunes	Forest 4.0: Technologies and digitalization to create the residual biomass supply chain of the future	2024	Ampirik Yaklaşım (Empirical approach), Literatür Taraması ile Model Geliştirme ve PEST & SWOT Analizleri.	Tedarik zincirinin ve biyokütle enerjisinin dijitalleşme ile optimizasyonu
			Karma Tamsayılı Prog.	
Framinan, Jose M., Perez-Gonzalez, Paz Fernandez-Viagas, Victor	Assessing the level of centralisation in scheduling decisions: The role of hybrid approaches	2024	Merkezi (Centralised), Merkezi Olmayan (Decentralised) ve Hibrit Çizelgeleme Algoritmaları ile Kapsamlı Hesaplamalı Deneyler (Extensive computational experience)	İş atölyesi (job-shop) senaryolarında tamamlanma süresini (makespan) en aza indirmek ve karmaşık üretim süreçlerinde çizelgeleme zorluklarını aşmak.

Tablo 2’de Optimizasyon teması, kaynak tahsisi, enerji verimliliği ve montaj hattı dengeleme gibi üretim süreçlerinin matematiksel ve sezgisel algoritmalarla iyileştirilmesini hedeflemektedir. Tablodaki çalışmalar, DT'nin salt izleme aracından çıkıp aktif bir iyileştirme aracı olarak kullanıldığını kanıtlamaktadır.

Tablo 3. Yapay Zeka ve Otonomi temalı makaleler

Yazar İsimleri	Makale Başlığı	Yıl	Yöntem	Amaç
Alexandre Manta-Costa, Sara Oleiro Araújo, Ricardo Silva Peres, José Barata	Machine Learning Applications in Manufacturing - Challenges, Trends, and Future Directions	2024	PRISMA Yönergelerine Dayalı Sistematik Literatür Taraması ve Meta-Analiz.	Üretimde anomali tespiti ve kalite kontrol için Endüstriyel Makine Öğrenmesi
Min Li	Enhanced State Monitoring and Fault Diagnosis Method for Intelligent Manufacturing Systems via RXET in Digital Twin Technology	2024	Hibrit Derin Öğrenme Modeli (ResNet, Xception, EfficientNet ve Transformer tabanlı dikkat süreçlerini birleştiren RXET modeli) ve Evrimsel Algoritmalar ile Özellik Seçimi (ASES, SFE, EDM).	Transformatör tabanlı hibrit derin öğrenme modeli ile hata teşhisi
Khalid M. Alsaif, Aiiad A. Albeshri, Maher A. Khemakhem, Fathy E. Eassa	Multimodal Large Language Model-Based Fault Detection and Diagnosis in Context of Industry 4.0	2024	Çok Modlu Büyük Dil Modeli (GPT-4-Preview), Büyük Dil Modelleri ile Sentetik Veri Üretimi ve Çevrimiçi/Çevrimdışı işleme entegreli Hibrit Mimari.	Büyük dil modelleri-LLM ve çok modlu verilerle hata tespit ve teşhis otonomisi

Ibomoie Domor Mienye, Theo G. Swart	A Comprehensive Review of Deep Learning: Architectures, Recent Advances, and Applications	2024	Kapsamlı Literatür İncelemesi. (İncelenen alt yöntemler: CNN, RNN, Transformatörler, GAN, Kapsül Ağları, GNN, Kendi Kendine Gözetimli Öğrenme, Federe Öğrenme ve Derin Pekiştirmeli Öğrenme).	Modern derin öğrenme, CNN, RNN ve grafik sinir ağlarının evrimi
Samuel Fosso-Wamba, Cameron Guthrie	Artificial intelligence and industry 4.0 and 5.0: A bibliometric study and research agenda	2024	Bibliyometrik İnceleme ve Kümeleme (Clustering) Analizi.	Endüstri 4.0 ve 5.0'da yapay zekanın oynadığı farklı rollerin analizi
Federico Rossi, Cinzia Bernardeschi, Marco Cococcioni	Neural networks in closed-loop systems: Verification using interval arithmetic and formal prover	2024	Aralık Aritmetiği (Interval Arithmetic) ve Teorem İspatlama (Theorem-Proving) Doğrulama Tekniklerinin kombinasyonu.	Siber-fiziksel kapalı döngü sistemlerde sinir ağı bileşenleriyle yüksek performanslı otonom kontrol

Tablo 3'deki makaleler, dijital ikiz mimarisini derin öğrenme ve pekiştirmeli öğrenme ile destekleyerek sistemlere otonom karar verme yeteneği kazandıran "Bilişsel İkizler" (Cognitive Twins) evresini temsil etmektedir.

Tablo 4. Simülasyon temalı makaleler

Yazar İsimleri	Makale Başlığı	Yıl	Yöntem	Amaç
Antonio Ciminoa, Francesco Longob, Letizia Nicolettic, Pierpaolo Veltri	Automated simulation modeling: ensuring resilience and flexibility in Industry 4.0 manufacturing systems	2024	Nesne Yönelimli Programlama (Object-oriented programming) paradigmasına dayalı gelişmiş/otomatik simülasyon modellemesi.	Fiziksel karşılığına göre nesne yönelimli programlama ile adapte olabilen esnek simülasyon modeli
Federico Solari, Natalya Lysova, Roberto Montanari	Monitoring and control of air filtration systems: Digital twin based on 1D computational fluid dynamics simulation and experimental data	2024	Tek boyutlu Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (1D Computational Fluid Dynamics - CFD) simülasyonu ve tarihsel deneysel verilerin entegrasyonu.	Filtreleme sistemlerinin CFD ile eş zamanlı simülasyonu ve kontrolü
Mariam Abed, Andres Gameros, Abdelkhalick Mohammad, Dragos Axinte	Swift feedback and immediate error control using a lightweight simulation approach – A case study of the digital-twin-in-the-loop for machining thin-wall structures	2023	Kütle-yay-kafes modeline (Mass-spring-lattice model) dayalı hızlı ve süreç odaklı simülasyon yöntemi (Digital-Twin-in-the-Loop).	Süreç odaklı simülasyon metodu ile "Anında/On-the-fly" takım yolu düzeltmesi
Antonia Antoniadoua, Anders Thunelle, Ioanna Aslanidoua, Konstantinos Kyprianidis	Application of Digital Twin of Robot Cell in Investment Casting Manufacturing	2024	3D Tarama (3D scanning) teknolojisi ile sanal alan oluşturma, çevrimdışı (offline) simülasyon ve robot yörünge (robot path) modellemesi.	Endüstriyel Robot Hücresi ortamının çevrimdışı simülasyonu ve DT ile test edilmesi

Marvin Carl Maya, Alexander Finkea, Katharina Theunera, Gisela Lanza	Framework for automatic production simulation tuning with machine learning	2024	Büyük ölçekli Makine Öğrenmesi (Machine Learning) modeli.	Gerçeklik ve simülasyon arasındaki boşluğu kapatmak için makine öğrenmesi ile eğitilmiş simülasyon
David Greiner, Andrés Cacereno	Enhancing the maintenance strategy and cost in systems with surrogate assisted multiobjective evolutionary algorithms	2024	Ayrık simülasyona (discrete simulation) dayalı Vekil Destekli Evrimsel Algoritmalar (Surrogate Assisted Evolutionary Algorithms - SAEAs), Kriging ve Çok Amaçlı Optimizasyon (Multiobjective optimization).	Bakım stratejileri için hesaplamalı simülasyon ve çok amaçlı evrimsel algoritmaların birleştirilmesi

Tablo 4’de Geleneksel simülasyon modellerinden farklı olarak, gerçek zamanlı verilerle beslenen ve "What-if" (Ya olursa) senaryolarını canlı olarak test etmeye olanak tanıyan çalışmalar bu grupta yer almaktadır.

Tablo 5. Manuel Kontrol ve Doğrulama temalı makaleleri

Yazar İsimleri	Makale Başlığı	Yıl	Yöntem	Amaç
Margherita Perruzzina, Elisa Pratib, Marcello Pellicciari	A framework to design smart manufacturing systems for Industry 5.0 based on the human- automation symbiosis	2024	Kavramsal Çerçeve Tasarımı (SMSD Framework) ve Endüstriyel Vaka Doğrulaması.	İnsan-otomasyon ortakyaşamı ve insan odaklı 'Artırılmış Dijital İkiz'
Vincenzo Cutronaa, Niko Bonomia, Elias Montinia, Tamas Ruppertc, Giacomo Delinavellid, Paolo Pedrazzoli	Extending factory digital Twins through human characterisation in Asset Administration Shell	2024	AAS (Asset Administration Shell) standardına göre modelleme, Giyilebilir Sensörler (wearable sensors), MQTT protokolü ile haberleşme ve Gösterge Paneli (dashboard) kullanımı ile laboratuvar ölçekli prototip (use cases) uygulaması.	Fabrika dijital ikizlerine operatör refahı için insan karakterizasyonunun eklenmesi
Christian Bechiniea, Setareh Zafari, Lukas Kroeninge, Jaison Puthenkalam, Manfred Tscheligi	Toward human-centered intelligent assistance system in manufacturing: challenges and potentials for operator 5.0	2024	Literatür Taraması ve Endüstriyel Alan Araştırması (Bağlam/Uzman görüşmeleri ve Kullanıcı deneyimi atölyeleri).	Kullanıcı deneyimi, kullanılabilirlik ve akıllı sistemlerle çalışan operatör uyumu
Juan Izquierdo- Domenech, Jordi Linares-Pellicer, Isabel Ferri- Molla	Environment awareness, multimodal interaction, and intelligent assistance in industrial augmented reality solutions with deep learning	2024	Artırılmış Gerçeklik (AR) sistemlerine ve Derin Öğrenmeye dayalı Anlamsal Katman (Semantic layer) mimarisi.	Artırılmış gerçeklik ve anlamsal katman ile operatör hareketlerinin doğrulanması ve manuel kontrol

Sadeer Beden, Kayal Lakshmanan, Cinzia Giannetti, Arnold Beckmann	Steelmaking Predictive Analytics Based on Random Forest and Semantic Reasoning	2023	İnsan-döngüde (Human-in-the-loop) çerçevesi. Rastgele Orman (Random Forest) algoritmasının Semantik Web Kural Diline (SWRL) dönüştürülmesi ve Bilgi Grafiği (Knowledge Graph - RDF) ile uzman bilgisinin birleştirilmesi.	Uzman bilgisi ve makine öğrenmesini harmanlayan human-in-the-loop/insan döngüde kontrol mekanizması
Simon D. Rihm, Yong Ren Tan, Wilson Ang, Hou Yee Quek, Xinhong Deng, Michael Teguh Laksana, Jiaru Bai, Sebastian Mosbach, Jethro Akroyd, Markus Kraft	The Digital Lab Facility Manager: Automating operations of research laboratories through "The World Avatar"	2024	Dinamik Bilgi Grafiği (The World Avatar), Semantik Web Teknolojisi, Ajanlar/Ontolojiler ve "İnsan-döngüde" (human-in-the-loop) müdahaleleri.	İnsan müdahalesi/doğrulaması ile laboratuvar ortamlarının dijitalleşmesi

Tablo 5'deki çalışmalar, kurulan dijital modellerin fiziksel sahadaki doğruluk payını (fidelity) test eden ve sistemlerin otonomiye geçmeden önceki insan destekli doğrulama süreçlerini inceleyen aşamayı yansıtmaktadır.

Tablo 6. IoT / CPS (Nesnelerin İnterneti ve Siber Fiziksel Sistemler) temalı makaleler

Yazar İsimleri	Makale Başlığı	Yıl	Yöntem	Amaç
Claudio Savaglio, Pasquale Mazzeib, Giancarlo Fortino	Edge Intelligence for Industrial IoT: Opportunities and Limitations	2024	Vaka Çalışması (Use case) ve Karşılaştırmalı Analiz. (Güvenlik açısından kritik görevler için video analitiği tabanlı bir vaka çalışması üzerinden Bulut ve Uç Zeka -Edge Intelligence- tabanlı IIoT dağıtımlarının karşılaştırılması).	IIoT verilerinin işlenmesinde Bulut Bilişime karşı Uç Zeka-Edge Intelligence kullanımı
Sascha Julian Oks, Max Jalowski, Michael Lechner, Stefan Mirschberger, Marion Merklein, Birgit Vogel- Heuser, Kathrin M. Möslein	Cyber-Physical Systems in the Context of Industry 4.0: A Review, Categorization and Outlook	2024	Büyük Ölçekli Literatür Taraması (Large-scale literature review) ve Hiyerarşik Kategorizasyon.	Endüstriyel Siber-Fiziksel Sistemler alanında literatürün büyük ölçekli ve hiyerarşik yapılandırılması
Zhen Xie, Wei Bu, Hua Feng, Yan Wang	Integrated development of the industrial chain and innovation chain of high-tech manufacturing industry based on the Internet of Things	2024	Blokzincir (Blockchain) Teknolojisi, Bulut-Uç İşbirlikçi Bilişim Optimizasyonu (Cloud-edge collaborative computing optimization) ve Simülasyon.	Akıllı imalatla blokzincir teknolojisi ve bulut-uç işbirlikçi bilişimi kullanan IoT ağı

Mohammad Newaj Jamil, Olov Schelén, Ahmed Afif Monrat, Karl Andersson	Enabling Industrial Internet of Things by Leveraging Distributed Edge-to-Cloud Computing: Challenges and Opportunities	2024	Literatür Taraması ve Karşılaştırmalı Analiz (Öne çıkan üç IoT platformunun - ThingsBoard, Eclipse Ditto ve Microsoft Azure IoT- yeteneklerinin karşılaştırılması).	Bulut merkezli mimarinin kısıtlarını aşmak için dağıtık uçtan buluta-edge-to-cloud IoT platformları
Rafiul Kabir, Dipal Halder, Sandip Ray	Digital Twins for IoT-Driven Energy Systems: A Survey	2024	Kapsamlı Literatür İncelemesi (Comprehensive Review).	IoT yönlendirmeli akıllı enerji sistemlerinde DT altyapılarının keşifi
Preeti Yadav, Vinay Rishiwal, Mano Yadav, Aziz Alotaibi, Vinay Maurya, Udit Agarwal, Satyam Sharma	Investigation and Empirical Analysis of Transfer Learning for Industrial IoT Networks	2024	Taksonomi (Sınıflandırma), Ampirik Analiz (Empirical analysis) ve Vaka Çalışması (Case study). (Etki alanı adaptasyon teknikleri, veri artırma ve topluluk öğrenimi kullanan hibrit modeller incelenmiş ve gerçek dünya uygulaması ile test edilmiştir).	IIoT ağlarındaki veri çeşitliliği ve kısıtlı kaynak sorunlarının Transfer Öğrenme ile aşılması

Tablo 6’da dijital ikizlerin sınır sistemini oluşturan düşük gecikmeli haberleşme protokolleri (5G), Edge/Cloud bilişim mimarileri ve siber-fiziksel güvenlik süreçlerini teknik boyutta inceleyen altyapı çalışmaları bu grupta öne çıkmaktadır.

Tablo 7. Decision Support (Karar Destek Sistemleri) temalı makaleler

Yazar İsimleri	Makale Başlığı	Yıl	Yöntem	Amaç
Asfar H Siddiqui, Swetha, Harish Chowdhary, R.V.V. Krishna, Elangovan Muniyandy, Lakshmana Phaneendra Maguluri	Harnessing Big Data: Strategic Insights for IT Management	2024	Büyük Veri Analitiği (Big Data analytics), Zaman Serisi Tahmini için ARIMA (Auto Regressive Integrated Moving Average) modeli ve Python ile uygulama.	BT yönetimde kaynak tahsisi ve stratejik planlama için veri odaklı karar alma
Enrique Ruiz Zúñiga, Naruki Yasue, Takayuki Hirose, Hideki Nomoto, Tetsuo Sawaragi	An integrated discrete-event simulation with functional resonance analysis and work domain analysis methods for industry 4.0 implementation	2023	Ayrık Olay Simülasyonu (Discrete-Event Simulation), Fonksiyonel Rezonans Analiz Yöntemi (Functional Resonance Analysis Method - FRAM) ve İş Alanı Analizi'nin (Work Domain Analysis) entegre edildiği metodoloji ve İki Endüstriyel Vaka Çalışması.	Üretim kısıtları ve operatör becerilerini analiz ederek yöneticiler için karar destek sistemi kurulması

Raffaele Abbate, Chiara Franciosi, Alexandre Voisin, Marcello Fera	A conceptual framework proposal for the implementation of Prognostic and Health Management in production systems	2024	Sistematik Literatür Taraması (Systematic Literature Review - SLR) ve Kavramsal Çerçeve (Conceptual framework) geliştirme.	PHM hizmetlerinin devreye alınması için eksik/mevcut Karar Destek Sistemlerinin (DSS) kavramsal çerçevesi
Yaqing Xu, Yassine Qamsane, Saumuy Puchala, Annette Januszcza, Dawn M. Tilbury, Kira Barton	A data-driven approach toward a machine- and system-level performance monitoring digital twin for production lines	2024	Veri odaklı (data-driven) yaklaşım, Makine seviyesi için Olasılıksal Otomata (Probabilistic automata), Sistem seviyesi için Lojistik Regresyon (Logistic regression) ve Endüstriyel Test Vakası (Otomotiv endüstrisi).	Üretim hatlarının performans takibinde proaktif önlemler almak için sistem düzeyinde karar rehberliği
Kisan Sarda, Carmen Del Vecchio, Fabio Fruggiero, Francesco Mancusi, Fernando Menchetti, Riccardo Natale	Physics-Enhanced Digital Twin based solution to control process state in a Steel Manufacturing plant	2024	Boyut küçültme için kümelenmiş Fizikle Güçlendirilmiş Dijital İkiz (Physics-enhanced Digital Twin - PeDT) modelleri ve Karar Destek Aracı (Decision Support Tool - DSS).	Boyut küçültme ve fizikle güçlendirilmiş modeller (PeDT) aracılığıyla bakım inisiyatifleri için DSS-Karar Destek Aracı
Kevin J. Lynch, Prashanth J. Bhat, Myong Cho, Jim Jacobs, Autumn Kaiser, Larissa C. Stallings, Quinn Risch	Bill-of-materials visualization for aerospace & defense: A digital transformation retrospective	2024	Malzeme Listesi (Bill-of-materials) Görselleştirilmesi, Veri Entegrasyonu, Açık Kaynaklı Araçlar ve Görsel Analitik (Visual analytics).	Karmaşık üretimlerde görsel analiz araçlarıyla yönetimsel test maliyeti düşürme ve operasyonel karar desteği

Tablo 7’de karar destek çalışmaları, karmaşık üretim ortamlarında yöneticilere görselleştirilmiş gerçek zamanlı veriler sunarak, tedarik zinciri ve kapasite planlama aşamalarında veriye dayalı stratejik kararlar alınmasını sağlamaktadır.

4. SONUÇ

Elde edilen bulgular, Dijital İkiz teknolojisinin akıllı üretim sistemlerinde önemli ve dönüştürücü fırsatlar sunduğunu ortaya koymakla birlikte, uygulama aşamasında çeşitli teknik ve yapısal zorlukların devam ettiğini göstermektedir. Analiz kapsamında incelenen 561 çalışma, teknolojinin potansiyeline rağmen özellikle entegrasyon, veri yönetimi ve ölçeklenebilirlik gibi alanlarda önemli sınırlamalarla karşılaştığını ortaya koymaktadır.

Analiz edilen 561 çalışma içerisinde en sık rapor edilen zorluk, sistem entegrasyonu karmaşıklığıdır. Özellikle farklı marka ve model makinelerin (legacy systems) bir arada çalıştığı üretim ortamlarında, verilerin standart bir formatta toplanması ve sistemler arası birlikte çalışabilirliğin (interoperability) sağlanması önemli bir engel olarak öne çıkmaktadır. Bununla birlikte, büyük veri yönetiminin gerektirdiği yüksek altyapı maliyetleri ve siber

güvenlik riskleri, Dijital İkiz uygulamalarının özellikle küçük ve orta ölçekli işletmeler (KOBİ'ler) için yaygınlaştırılmasını zorlaştırmaktadır. Bu durum, teknolojinin ölçeklenebilirliğini doğrudan etkileyen temel faktörlerden biri olarak değerlendirilmektedir.

Tartışma bulguları, literatürün giderek “Bilişsel İkizler” (Cognitive Twins) kavramına yöneldiğini göstermektedir. Gelecekteki araştırmaların, yapay zekâ destekli otonom karar verme yeteneğine sahip sistemler üzerine yoğunlaşması beklenmektedir. Bu bağlamda, insan-makine etkileşimini merkeze alan Endüstri 5.0 yaklaşımı öne çıkmakta; üretim sistemlerinde yalnızca otomasyon değil, aynı zamanda insan odaklı optimizasyon süreçlerinin geliştirilmesi hedeflenmektedir. Ayrıca, sürdürülebilirlik kriterlerinin Dijital İkiz modellerine entegre edilmesi, literatürde giderek önem kazanan yeni bir araştırma alanı olarak dikkat çekmektedir. Veri setinde yer alan 561 makalenin tematik yoğunlukları incelendiğinde, gelecekteki araştırma yönelimlerini belirleyen dört temel eğilim öne çıkmaktadır. Bunlardan ilki, çalışmaların yaklaşık %25'inin odaklandığı otonom optimizasyon yaklaşımıdır. Bu kapsamda Dijital İkiz sistemlerinin, Karınca Kolonisi ve Genetik Algoritmalar gibi yöntemler aracılığıyla üretim süreçlerini kendi kendine optimize edebilen “Bilişsel İkizler” yapısına evrildiği görülmektedir. İkinci olarak, kestirimci bakım yaklaşımlarının daha ileri bir seviyeye taşınarak “reçeteli bakım” modellerine dönüştüğü anlaşılmaktadır. Bu modeller, yalnızca arızaların zamanını tahmin etmekle kalmayıp, arızaların önlenmesi için gerekli parametre değişikliklerini de önerebilmektedir.

Üçüncü önemli eğilim, özellikle 2024–2026 yılları arasındaki çalışmalarda belirginleşen Endüstri 5.0 ve insan-merkezli tasarım yaklaşımıdır. Bu kapsamda, Dijital İkiz sistemlerinin yalnızca makineleri değil, aynı zamanda operatörlerin ergonomi ve yorgunluk gibi insani faktörlerini de dikkate alarak insan-robot iş birliğini optimize ettiği görülmektedir. Son olarak, sürdürülebilirlik odaklı çalışmaların artış gösterdiği ve 561 makalenin önemli bir bölümünün enerji tüketimini azaltmaya yönelik dijital ikiz tabanlı dinamik modelleme yaklaşımlarına odaklandığı tespit edilmiştir. Bu eğilim, karbon ayak izi azaltımı ve çevresel etkilerin minimize edilmesi açısından Dijital İkiz teknolojisinin stratejik bir araç olarak konumlandığını göstermektedir.

KAYNAKÇA

Abbate, R., Franciosi, C., Voisin, A., & Fera, M. (2024). A conceptual framework proposal for the implementation of Prognostic and Health Management in production systems.

<https://doi.org/10.1049/cim2.12122>Digital Object Identifier (DOI)

Abed, M., Gameros, A., Mohammad, A., & Axinte, D. (2023). Swift feedback and immediate error control using a lightweight simulation approach – A case study of the digital-twin-in-the-loop for machining thin-wall structures. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2023.09.016>

- Abisset-Chavanne, E., Coupaye, T., Golra, F. R., Lamy, D., Piel, A., Scart, O., & Vicat-Blanc, P. (2024). A Digital Twin use cases classification and definition framework based on Industrial feedback. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2024.104113>
- Alsaif, K. M., Albeshri, A. A., Khemakhem, M. A., & Eassa, F. E. (2024). Multimodal Large Language Model-Based Fault Detection and Diagnosis in Context of Industry 4.0. DOI:10.3390/electronics13244912
- Antoniadou, A., Thunell, A., Aslanidou, I., & Kyprianidis, K. (2024). Application of Digital Twin of Robot Cell in Investment Casting Manufacturing. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.10.156>
- Bastos, T., Teixeira, L. C., & Nunes, L. J. R. (2024). Forest 4.0: Technologies and digitalization to create the residual biomass supply chain of the future. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143041>
- Bechiniea, C., Zafari, S., Kroeninger, L., Puthenkalam, J., & Tscheligi, M. (2024). Toward human-centered intelligent assistance system in manufacturing: challenges and potentials for operator 5.0. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.01.156>
- Beden, S., Lakshmanan, K., Giannetti, C., & Beckmann, A. (2023). Steelmaking Predictive Analytics Based on Random Forest and Semantic Reasoning. DOI:10.3390/app132312778
- Bellavista, P., & Di Modica, G. (2024). IoTwins: Implementing Distributed and Hybrid Digital Twins in Industrial Manufacturing and Facility Management Settings. DOI:10.20944/preprints202401.1377.v1
- Ciminoa, A., Longob, F., Nicoletti, L., & Veltri, P. (2024). Automated simulation modeling: ensuring resilience and flexibility in Industry 4.0 manufacturing systems. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.01.100>
- Crespo del Castillo, A., & Parlikad, A. K. (2024). Dynamic fleet management: Integrating predictive and preventive maintenance with operation workload balance to minimise cost. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2024.110243>
- Crespo Marquez, A., Marcos Alberca, J. A., Guillen Lopez, A. J., & De La Fuente, A. (2023). Digital twins in condition-based maintenance apps: A case study for train axle bearings. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2023.103980>
- Cutronaa, V., Bonomia, N., Montinia, E., Ruppert, T., Delinavellid, G., & Pedrazzoli, P. (2024). Extending factory digital Twins through human characterisation in Asset Administration Shell. DOI:10.1080/0951192X.2023.2278108
- Fosso-Wamba, S., & Guthrie, C. (2024). Artificial intelligence and industry 4.0 and 5.0: A bibliometric study and research agenda. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.06.228>
- Framinan, J. M., Perez-Gonzalez, P., & Fernandez-Viagas, V. (2024). Assessing the level of centralisation in scheduling decisions: The role of hybrid approaches. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2024.100682>
- Greiner, D., & Cacereno, A. (2024). Enhancing the maintenance strategy and cost in systems with surrogate assisted multiobjective evolutionary algorithms. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100478>
- Izquierdo-Domenech, J., Linares-Pellicer, J., & Ferri-Molla, I. (2024). Environment awareness, multimodal interaction, and intelligent assistance in industrial augmented reality solutions with deep learning.
- Jamil, M. N., Schelén, O., Monrat, A. A., & Andersson, K. (2024). Enabling Industrial Internet of Things by Leveraging Distributed Edge-to-Cloud Computing: Challenges and Opportunities. DOI:10.1109/ACCESS.2024.3454812
- Kabir, R., Halder, D., & Ray, S. (2024). Digital Twins for IoT-Driven Energy Systems: A Survey. DOI:10.1109/ACCESS.2024.3506660
- Li, M. (2024). Enhanced State Monitoring and Fault Diagnosis Method for Intelligent Manufacturing Systems via RXET in Digital Twin Technology. DOI:10.1016/j.ifacol.2022.09.181
- Liew, Y., & Dong, Y. (2023). Parameter Selection for Digital Satellite Model Updating with Knowledge Graph. DOI:10.3233/ATDE231016
- Llopis-Albert, C., Rubio, F., Devec, C., & García-Hurtado, D. (2024). Digital Twin-Based Approach for a Multi-Objective Optimal Design of Wind Turbine Gearboxes. DOI:10.3390/math12091383
- Lynch, K. J., Bhat, P. J., Cho, M., Jacobs, J., Kaiser, A., Stallings, L. C., & Risch, Q. (2024). Bill-of-materials visualization for aerospace & defense: A digital transformation retrospective. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2024.100681>

- Manta-Costa, A., Oleiro Araújo, S., Peres, R. S., & Barata, J. (2024). Machine Learning Applications in Manufacturing-Challenges, Trends, and Future Directions. DOI:10.1109/OJIES.2024.3431240
- Maya, M. C., Finkea, A., Theunera, K., & Lanza, G. (2024). Framework for automatic production simulation tuning with machine learning. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.11.002>
- Mienye, I. D., & Swart, T. G. (2024). A Comprehensive Review of Deep Learning: Architectures, Recent Advances, and Applications. DOI:10.3390/info15120755
- Oks, S. J., Jalowski, M., Lechner, M., Mirschberger, S., Merklein, M., Vogel-Heuser, B., & Möslin, K. M. (2024). Cyber-Physical Systems in the Context of Industry 4.0: A Review, Categorization and Outlook. DOI:10.1007/s10796-022-10252-x
- Pajaziti, A., Tafilaj, O., Hasanaj, E., & Gjelij, A. (2024). Optimization of CNC Working Time Depending on the Positioning of the Tools in the Magazine. DOI:10.3390/machines12080512
- Peruzzinia, M., Pratib, E., & Pellicciari, M. (2024). A framework to design smart manufacturing systems for Industry 5.0 based on the human-automation symbiosis. DOI:10.1080/0951192X.2023.2257634
- Rihm, S. D., Tan, Y. R., Ang, W., Quek, H. Y., Deng, X., Laksana, M. T., Bai, J., Mosbach, S., Akroyd, J., & Kraft, M. (2024). The Digital Lab Facility Manager: Automating operations of research laboratories through “The World Avatar”. <https://doi.org/10.1016/j.ynexs.2024.100031>
- Rossi, F., Bernardeschi, C., & Cococcioni, M. (2024). Neural networks in closed-loop systems: Verification using interval arithmetic and formal prover. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2024.109238>
- Ruiz Zúñiga, E., Yasue, N., Hirose, T., Nomoto, H., & Sawaragi, T. (2023). An integrated discrete-event simulation with functional resonance analysis and work domain analysis methods for industry 4.0 implementation. DOI:10.1016/j.dajour.2023.100323
- Sarda, K., Del Vecchio, C., Fruggiero, F., Mancusi, F., Menchetti, F., & Natale, R. (2024). Physics-Enhanced Digital Twin based solution to control process state in a Steel Manufacturing plant. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2024.08.046>
- Savaglio, C., Mazzeib, P., & Fortinoa, G. (2024). Edge Intelligence for Industrial IoT: Opportunities and Limitations. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.01.039>
- Siddiqui, A. H., Swetha, Chowdhary, H., Krishna, R. V. V., Muniyandy, E., & Maguluri, L. P. (2024). Harnessing Big Data: Strategic Insights for IT Management. DOI:10.14569/IJACSA.2024.0150790
- Solari, F., Lysova, N., & Montanari, R. (2024). Monitoring and control of air filtration systems: Digital twin based on 1D computational fluid dynamics simulation and experimental data. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110607>
- Supianto, A. A., Nasar, W., Aspen, D. M., Hasan, A., Karlsen, A. S. T., & Da Silva Torres, R. (2024). An Urban Digital Twin Framework for Reference and Planning. DOI:10.1109/ACCESS.2024.3478379
- Wei, R., Yang, R., Liu, S., Fan, C., Zhou, R., Wu, Z., Wang, H., Cai, Y., & Jiang, Z. (2024). Towards an extensible model-based digital twin framework for space launch vehicles. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2024.100641>
- Xie, Z., Bu, W., Feng, H., & Wang, Y. (2024). Integrated development of the industrial chain and innovation chain of high-tech manufacturing industry based on the Internet of Things. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2024.09.052>
- Xu, Y., Qamsane, Y., Puchala, S., Januszczka, A., Tilbury, D. M., & Barton, K. (2024). A data-driven approach toward a machine- and system-level performance monitoring digital twin for production lines. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2024.104086>
- Yadav, P., Rishiwal, V., Yadav, M., Alotaibi, A., Maurya, V., Agarwal, U., & Sharma, S. (2024). Investigation and Empirical Analysis of Transfer Learning for Industrial IoT Networks. doi: 10.1109/ACCESS.2024.3499741
- Yang, J., Zheng, Y., & Wu, J. (2024). Towards Sustainable Production: An Adaptive Intelligent Optimization Genetic Algorithm for Solid Wood Panel Manufacturing. DOI:10.3390/su16093785

MERYEM SÛRESİ'NDE MERHAMET OLGUSU: DEĞERLER EĞİTİMİ AÇISINDAN BİR İNCELEME

Sena AYDIN

Bülent Ecevit University, Institute For Social Sciences, Department of Values Education,
67100 Merkez, Zonguldak
ORCID: 0009-0005-2154-6277

ÖZET

Meryem Sûresi, içerdiği kıssalar aracılığıyla merhamet değerini çok yönlü bir şekilde ele alan sûrelerden biridir. Nitekim sûrenin genel havasına rahmet ve hoşnutluk duygusunun hâkim olduğu, anlatım boyunca “rahmet” temasının tekrarlandığı ve Allah’ın Rahmân isminin ön plana çıkarıldığı görülmektedir. Bu durum sûrenin başından sonuna kadar merhamet merkezli bir anlatım sunduğunu göstermektedir. Sûrede Zekerîyyâ ve Yahyâ, Meryem ve Îsâ ile İbrâhim başta olmak üzere çeşitli peygamber kıssaları yer almakta ve bu kıssalar üzerinden ilâhî merhametin farklı tezahürleri ortaya konulmaktadır. Bu çalışmada sûrede yer alan merhamet teması değerler eğitimi perspektifinden incelenmiştir. Bu doğrultuda nitel araştırma yöntemi kapsamında doküman incelemesi ve tematik analiz yöntemi kullanılmıştır. Hz. Zekerîyyâ’nın duasının kabul edilmesi ve kendisine Yahyâ’nın bahşedilmesi, Allah’ın kullarına yönelik merhametinin bir göstergesi olarak değerlendirilmektedir. Benzer şekilde Hz. Meryem’in zor anlarında ilâhî destekle karşılaşması, merhametin koruyucu ve kuşatıcı yönünü ortaya koymaktadır. Sûrede merhamet değeri yalnızca ilâhî boyutta değil, insanî ilişkilerde de kendini göstermektedir. Hz. Yahyâ’ya verilen kalp yumuşaklığı ve safiyet ile Hz. Îsâ’nın annesine karşı iyi davranması, merhametin bireysel ve ailevi boyutunu ortaya koymaktadır. Ayrıca Hz. İbrâhim’in müşrik babasına karşı sergilediği yumuşak ve saygılı üslup, merhametin tebliğ dilindeki yerini göstermektedir. Değerler eğitimi açısından Meryem Sûresi, merhamet değerini soyut bir kavram olarak değil, somut örnekler üzerinden model davranışlar şeklinde sunmaktadır. Bu durum, bireyin merhamet değerini içselleştirmesine ve günlük hayatına yansıtmasına katkı sağlamaktadır. Sonuç olarak sûrede yer alan kıssalar, merhametin hem ilâhî bir sıfat hem de insanî ilişkileri düzenleyen temel bir değer olarak bireyin ahlâkî gelişimine rehberlik ettiğini ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: Meryem Sûresi, merhamet değeri, değerler eğitimi, peygamber kıssaları.

THE PHENOMENON OF COMPASSION IN SŪRAT MARYAM: AN ANALYSIS FROM THE PERSPECTIVE OF VALUES EDUCATION

ABSTRACT

Sūrat Maryam is one of the surahs that addresses the value of compassion in a multidimensional way through the narratives it contains. Indeed, it is observed that an atmosphere of mercy and satisfaction dominates the overall tone of the surah, that the theme of “mercy” is repeated throughout the narration, and that the name of Allah, *ar-Rahmān*, is brought to the forefront. This situation shows that the surah presents a compassion-centered narrative from beginning to end. In the surah, various prophetic narratives—primarily those of Zakariyya and Yahya, Mary and Jesus, and Abraham—are included, and through these narratives, different manifestations of divine compassion are revealed. In this study, the theme of compassion in the surah has been examined from the perspective of values education. Accordingly, within the scope of qualitative research, document analysis and thematic analysis methods have been used. The acceptance of Prophet Zakariyya’s prayer and the granting of Yahya to him are considered as an indication of Allah’s compassion towards His servants. Similarly, Mary’s encounter with divine support in her difficult moments reveals the protective and encompassing aspect of compassion. In the surah, the value of compassion manifests itself not only at the divine level but also in human relations. The tenderness and purity given to Yahya and Jesus’ good treatment towards his mother reveal the individual and familial dimension of compassion. In addition, Abraham’s gentle and respectful manner towards his polytheist father shows the place of compassion in the language of conveying the message. From the perspective of values education, Sūrat Maryam presents the value of compassion not as an abstract concept but as model behaviors through concrete examples. This situation contributes to the internalization of the value of compassion by the individual and its reflection in daily life. As a result, the narratives in the surah reveal that compassion, both as a divine attribute and as a fundamental value regulating human relations, guides the moral development of the individual.

Keywords: Sūrat Maryam, compassion, values education, narratives of the prophets.

ANALİTİK GAZETECİLİK BAĞLAMINDA İKLİM HABERCİLİĞİ: İKLİM HABER SİTESİ ÜZERİNE BİR İNCELEME

Arş. Gör. Ali TANER

Süleyman Demirel University, Faculty of Communication, Department of Journalism, 32200

Merkez/Isparta

ORCID ID: 09-0009-9257-2957

ÖZET

Bu çalışma, analitik gazetecilik pratiklerinin iklim haberciliği bağlamında nasıl uygulandığını, Türkiye’de faaliyet gösteren bir haber sitesi olan İklim Haber örneği üzerinden incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırma kapsamında, 2026 yılı Mart ayında İklim Haber sitesinde yayımlanan ve “analiz”, “dosya” veya “özel haber” kategorilerinde yer alan içerikler sistematik inceleme yöntemiyle değerlendirilmiştir. Bu doğrultuda oluşturulan örneklem, analitik gazeteciliğin temel bileşenleri olan veri madenciliği, bağlamsallaştırma, multidisipliner bakış ve görselleştirme kriterleri çerçevesinde analiz edilmiştir. Çalışmanın bulguları, İklim Haber’in iklim krizini yalnızca anlık gelişmeler üzerinden değil, aynı zamanda bilimsel veriler ve uzun vadeli etkiler bağlamında ele aldığını ortaya koymaktadır. Haberlerde sayısal verilerin etkin ve sistematik kullanımı, karmaşık veri setlerinin sadeleştirilerek sunulması ve Intergovernmental Panel on Climate Change gibi uluslararası bilimsel kurumlara yapılan referanslar, analitik gazetecilik anlayışının güçlü bir şekilde benimsendiğini göstermektedir. Bununla birlikte içeriklerde çevresel meselelerin ekonomik, toplumsal ve politik boyutlarla birlikte ele alınması, multidisipliner bir yaklaşımın öne çıktığını ortaya koymaktadır. Ayrıca haberlerde kullanılan grafikler, haritalar ve infografik unsurlar, bilgilerin daha anlaşılır hale getirilmesini sağlarken, okuyucunun konuyu derinlemesine kavramasına katkı sunmaktadır. Bu yönüyle İklim Haber, veri temelli ve bağlamsal gazetecilik pratiklerini bir araya getiren bir örnek olarak dikkat çekmektedir. Sonuç olarak çalışma, tematik odaklı haber sitelerinin iklim haberciliğinde analitik gazeteciliği daha etkili, sistematik ve derinlikli biçimde uygulayabildiğini ortaya koymakta ve bu yaklaşımın gazeteciliğin geleceği açısından önemli bir model sunduğunu ileri sürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Analitik gazetecilik, iklim haberciliği, veri gazeteciliği, İklim Haber

ANALYTICAL JOURNALISM IN THE CONTEXT OF CLIMATE REPORTING: A STUDY ON THE İKLİM HABER WEBSITE

ABSTRACT

This study aims to examine how analytical journalism practices are applied within the context of climate reporting, using İklim Haber, a Turkey-based news website, as a case study. The

research focuses on content published on the İklim Haber website in March 2026 under the categories of “analysis,” “feature,” or “special report,” which was evaluated using a systematic review method. The selected sample was analyzed based on the core components of analytical journalism: data mining, contextualization, multidisciplinary perspective, and visualization. The findings reveal that İklim Haber addresses the climate crisis not only through immediate developments but also by incorporating scientific data and long-term impacts. The effective and systematic use of numerical data, the simplification of complex datasets, and references to international scientific institutions such as the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) demonstrate a strong adherence to analytical journalism principles. Additionally, the coverage integrates environmental issues with economic, social, and political dimensions, highlighting a multidisciplinary approach. The study also notes that the use of graphics, maps, and infographics in the articles enhances clarity and helps readers gain a deeper understanding of the issues. In this respect, İklim Haber stands out as an example that combines data-driven and contextual journalism practices. In conclusion, the study argues that thematic news websites are capable of applying analytical journalism in climate reporting more effectively, systematically, and in greater depth, offering an important model for the future of journalism.

Keywords: Analytical Journalism, Climate Journalism, Data Journalism, İklim Haber

1. GİRİŞ

1.1. Analitik Gazetecilik ve Veri Temelli Habercilik Paradigması

Analitik gazetecilik, dijitalleşme ile birlikte medya üretim süreçlerinde yaşanan dönüşümün en önemli sonuçlarından biri olarak değerlendirilmektedir. Bilgiye erişimin hızlanması, veri üretiminin artması ve haber kaynaklarının çeşitlenmesi, gazeteciliği yalnızca olay aktaran bir konumdan alıp daha açıklayıcı ve analiz temelli bir forma yönelmesine neden olmuştur. analitik gazetecilik de bu noktada hem gazetecilik pratiğini hem de haberin toplumsal işlevini yeniden tanımlayan bir yaklaşım olarak öne çıkmaktadır.

Analitik gazetecilik, çağdaş medya ortamında karmaşık toplumsal olayların yalnızca aktarılmasıyla yetinmeyip, bu olayların nedenleri, sonuçları ve bağlamlarıyla birlikte ele alınmasını amaçlayan bir gazetecilik yaklaşımıdır. Farklı bir tarz sunan analitik gazetecilik, geleneksel haber yazımının ötesine geçerek açıklayıcı ve yorumlayıcı bir çerçeve sunar. James Hamilton (2016), gazeteciliğin kamu yararına bilgi üretme işlevinin, veri analizi ve sistematik inceleme yöntemleriyle daha etkin hale geldiğini belirtmektedir. Bu bağlamda analitik

gazetecilik, özellikle dijitalleşme süreciyle birlikte daha görünür ve işlevsel bir paradigma haline gelmiştir.

Analitik gazetecilik aynı zamanda dijital medya ekosisteminin genel dönüşümüyle birlikte ele alınmaktadır. Mark Deuze (2008), dijital çağda gazeteciliğin sürekli yeniden tanımlanan “akışkan bir meslek” haline geldiğini ve veri temelli üretim biçimlerinin bu dönüşümün merkezinde yer aldığını belirtmektedir. Analitik gazeteciliğin gelişimi, veri gazeteciliği ile yakından ilişkilidir. Veri gazeteciliği, verilerin toplanması, işlenmesi, analiz edilmesi ve haber anlatısına dönüştürülmesi süreçlerini kapsayan bir gazetecilik pratiği olarak tanımlanmaktadır. Gray, Bounegru ve Chambers (2012), veri gazeteciliğini verinin haber üretim sürecinin merkezine yerleştiği yeni bir gazetecilik formu olarak ele almakta ve bu yaklaşımın gazeteciye yalnızca içerik üreticisi değil aynı zamanda veri yorumlayıcısı konumuna taşıdığını vurgulamaktadır. Bu dönüşüm, analitik gazeteciliğin metodolojik temelini oluşturarak haberin yüzeysel anlatımdan derinlemesine analiz düzlemine geçmesini mümkün kılmaktadır.

Buradan hareketle veri gazeteciliği, dijitalleşmenin ürettiği bilgi yoğunluğu karşısında gazeteciliğin yeniden yapılanmasında önemli bir rol oynamaktadır. Büyük veri setlerinin artışı, haber üretim süreçlerinde yalnızca gözlem ve röportaja dayalı yöntemlerin yetersiz kalmasına neden olmuştur. Mayer-Schönberger ve Cukier (2013), büyük veriyi yalnızca teknolojik bir gelişme olarak değil, aynı zamanda bilgi üretim biçimlerini dönüştüren bir paradigma olarak değerlendirmektedir. Bu paradigma, gazeteciliğin daha sistematik, ölçülebilir ve veri temelli bir yapıya evrilmesini desteklemektedir.

Yaşanan dönüşüm aynı zamanda gazetecilikte epistemolojik bir değişime de işaret etmektedir. Geleneksel habercilikte bilgi çoğunlukla doğrudan gözlem ve tanıklığa dayanırken, veri temelli habercilikte bilgi artık sayısal göstergeler, veri kümeleri ve algoritmik analizler üzerinden üretilmektedir. Bu habercilik türü gazetecinin rolünü yalnızca “haber aktarıcısı” olmaktan çıkararak, veriyi anlamlandıran ve yorumlayan bir “bilgi aracısına” dönüştürmektedir. Böylece haber üretimi, sezgisel bir pratik olmaktan uzaklaşarak daha sistematik ve doğrulanabilir bir yapıya kavuşmaktadır.

Robert McNair (2009), medya üretiminde bu dönüşümün gazeteciliğin politik ve kamusal işlevini yeniden şekillendirdiğini belirtmektedir. John Schudson (2011), gazeteciliğin bu dönüşümünü “bilginin kurumsal üretiminden veri temelli üretime geçiş” olarak değerlendirmektedir. Andrew Chadwick (2013), bu dönüşümü “hibrit medya sistemi” olarak tanımlayarak gazeteciliğin eski ve yeni medya mantıklarını aynı anda taşıyan bir yapıya dönüştüğünü vurgular.

James Hamilton'ın (2016) yaklaşımı da veri ve algoritmaların gazetecilik pratiği üzerindeki etkisini açıklamada önemli bir teorik katkı sunmaktadır. Hamilton'a göre dijital araçlar, gazetecilerin haber keşfetme, doğrulama ve analiz süreçlerini daha sistematik ve maliyet açısından daha verimli hale getirmektedir. Gazetecilik yalnızca sezgisel bir pratik olmaktan çıkarak veri destekli bir üretim biçimine dönüşmektedir. Böylece gazetecilik, bilgiye erişim kadar bilginin işlenmesi ve yorumlanması süreçlerine de odaklanan bir yapıya evrilmiştir.

Veri temelli haberciliğin yaygınlaşması, gazetecilikte kullanılan kaynakların da çeşitlenmesini beraberinde getirmiştir. Günümüzde gazeteciler yalnızca saha verileriyle değil, aynı zamanda açık veri platformları, resmi istatistikler ve uluslararası kurumların raporlarıyla da haber üretmektedir. Bu bağlamda IPCC raporları, özellikle iklim haberciliğinde bilimsel temelli bilgi üretiminin en önemli kaynakları arasında yer almaktadır. Boykoff (2011), iklim değişikliği haberlerinde bilimsel veriye dayalı üretimin kamuoyunun doğru bilgilendirilmesi açısından kritik bir rol oynadığını vurgulamaktadır.

Coddington (2015), veri gazeteciliğinin gazetecilik pratiklerini yeniden yapılandırıldığını ve gazetecinin yalnızca içerik üreticisi değil, aynı zamanda veri analiz eden ve anlamlandıran bir aktöre dönüştüğünü belirtmektedir.

Analitik gazetecilik aynı zamanda disiplinlerarası bir yaklaşımı zorunlu kılmaktadır. Ekonomi, çevre bilimi, sosyoloji ve veri bilimi gibi farklı alanlardan elde edilen bilgilerin bütüncül biçimde değerlendirilmesi, gazetecinin yalnızca haber yazarı değil aynı zamanda analiz yapan bir bilgi aracı haline gelmesini sağlamaktadır. Deuze (2005), dijital çağda gazeteciliğin giderek daha hibrit bir yapıya dönüştüğünü ve farklı bilgi alanlarıyla sürekli etkileşim içinde geliştiğini belirtmektedir. Bu durum, analitik gazeteciliğin profesyonel sınırlarını genişleten önemli bir dönüşüme işaret etmektedir. Lewis ve Westlund (2015), dijital gazeteciliğin giderek daha hibrit ve disiplinlerarası bir yapıya evrildiğini, farklı bilgi alanlarının gazetecilik üretim süreçlerine entegre olduğunu vurgulamaktadır.

Sonuç olarak analitik gazetecilik ve veri temelli habercilik, dijital çağın bilgi yoğunluğu içerisinde anlam üretme ihtiyacına verilen bir yanıt olarak ortaya çıkmaktadır. Veri gazeteciliği, büyük veri kullanımı ve bilimsel kaynaklara dayalı haber üretimi bu paradigmanın temel bileşenlerini oluştururken, gazeteciliğin yalnızca bilgi aktaran değil aynı zamanda analiz eden ve açıklayan bir yapıya dönüşmesine katkı sağlamaktadır. Özellikle iklim krizi gibi karmaşık ve çok boyutlu sorunların ele alınmasında analitik gazetecilik, giderek daha merkezi bir konuma yerleşmektedir.

1.2. Niş Medya ve Uzmanlaşmış Habercilik

Dijitalleşme, medya ekosisteminde yalnızca teknolojik bir dönüşüm değil, aynı zamanda içerik üretim mantığını ve izleyici ilişkisini yeniden şekillendiren yapısal bir kırılma yaratmıştır. Teknolojik gelişmeler geleneksel kitle iletişim modelinin çözülmesine ve daha küçük, daha hedeflenmiş ve daha uzmanlaşmış medya yapıların ortaya çıkmasına zemin hazırlamıştır. Bu bağlamda niş medya, dijital çağın en önemli medya eğilimlerinden biri olarak değerlendirilmektedir.

Dijital medya ekosisteminde yaşanan dönüşüm, geleneksel kitle iletişim modelinin parçalanmasına ve daha hedef odaklı yayıncılık biçimlerinin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Bu süreçte niş medya, belirli bir konu alanına veya özel bir hedef kitleye odaklanan medya yapıları olarak öne çıkmaktadır. Dijitalleşme ile birlikte içerik üretim ve dağıtım maliyetlerinin düşmesi, küçük ölçekli ancak uzmanlaşmış medya kuruluşlarının sürdürülebilir hale gelmesini sağlamıştır. Bu durum, medya ortamında “geniş kitle” yerine “ilgili kitle” kavramını ön plana çıkarmıştır (Anderson, 2006).

Niş medya, yalnızca içerik üretim biçimiyle değil, aynı zamanda hedef kitle stratejisiyle de ana akım medyadan ayrılmaktadır. Anderson’ın (2006) uzun kuyruk (long tail) teorisine göre dijital ortamda az talep gören içerikler bile toplamda önemli bir izleyici kitlesine ulaşabilmektedir. Bu durum özellikle belirli alanlara odaklanan haber platformlarının görünürlüğünü artırmış ve uzmanlaşmış gazetecilik pratiklerinin gelişmesini desteklemiştir. Böylece medya üretimi, kitlesel tüketim modelinden çıkarak segmentlere ayrılmış bir yapıya dönüşmüştür.

Yalnızca ekonomik ve yapısal bir dönüşüm değil aynı zamanda medya tüketim alışkanlıklarının bilişsel düzeyde dönüşümünü de niş medya kavramı ile ifade edilmektedir. Kullanıcılar artık içeriklere pasif biçimde maruz kalan bireyler olmaktan çıkarak, kendi ilgi alanlarını aktif olarak belirleyen seçici medya aktörlerine dönüşmüştür. Medya kuruluşlarının içerik üretim stratejilerinin yeniden şekillendirmesinde neden olan bu durum daha derinlikli, uzmanlık gerektiren içeriklerin değerini artırmıştır. Dolayısıyla niş medya, yalnızca arz yönlü bir dönüşüm değil, aynı zamanda talep yönlü bir medya evriminin sonucudur.

Medya uzmanlaşması, dijital ağ toplumunun temel özelliklerinden biri olarak değerlendirilmektedir. Benkler (2006), ağ tabanlı iletişim ortamlarının bireylerin içerik üretiminde daha aktif rol almasını sağladığını ve bilgi üretiminin merkezsizleştiğini belirtmektedir. Gazeteciliğin daha küçük, daha odaklı ve daha uzman içerik üreten yapılar tarafından yeniden şekillenmesinin önü açılmıştır. Özellikle çevre, teknoloji ve sağlık gibi karmaşık alanlarda uzmanlaşmış medya kuruluşlarının önemi giderek artmıştır.

Niş medya aynı zamanda izleyici davranışlarındaki değişimle de doğrudan ilişkilidir. Dijital çağda kullanıcılar, kendi ilgi alanlarına göre içerik seçme ve tüketme eğilimindedir. Webster (2014), medya tüketiminin giderek daha kişiselleştirilmiş hale geldiğini ve izleyici parçalanmasının (audience fragmentation) medya stratejilerini yeniden şekillendirdiğini vurgulamaktadır. Bu bağlamda niş medya, belirli bir bilgi ihtiyacına yönelik derinlikli içerik sunarak kullanıcı bağlılığını artırmaktadır.

Bu çerçevede İklim Haber gibi platformlar, niş medya örneği olarak değerlendirilmektedir. İklim Haber, çevre ve iklim krizi gibi spesifik bir alana odaklanarak yalnızca haber üretmekle kalmamakta, aynı zamanda analiz, veri temelli raporlar ve uzman görüşlerine dayalı içerikler sunmaktadır. Bu yönüyle platform, ana akım medyanın genel ve olay merkezli habercilik yaklaşımından farklı olarak, daha derinlikli ve süreç odaklı bir yayıncılık modeli benimsemektedir.

Niş medyanın gelişimi aynı zamanda içerik güvenilirliği ve uzmanlık ilişkisini de güçlendirmiştir. Küresel medya ortamında bilgi kirliliğinin artması, kullanıcıların daha güvenilir ve alanında uzmanlaşmış kaynaklara yönelmesine neden olmuştur. Napoli (2011), dijital medya ortamında izleyici davranışlarının parçalanmasının, güvenilir ve spesifik bilgi kaynaklarına olan talebi artırdığını belirtmektedir. Niş medyanın yalnızca alternatif bir yayıncılık modeli değil, aynı zamanda bilgi güvenilirliği açısından da kritik bir yapı olduğu görülmektedir.

Sonuç olarak niş medya ve uzmanlaşmış habercilik, dijital çağın medya yapısındaki parçalanma ve kişiselleşme süreçlerinin doğal bir sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Anderson (2006), Benkler (2006), Webster (2014) ve Napoli (2011) gibi çalışmalar, medya üretiminin artık tek merkezli bir yapıdan ziyade çok merkezli ve hedef odaklı bir forma dönüştüğünü ortaya koymaktadır. İklim Haber örneği, bu dönüşümün Türkiye bağlamındaki önemli yansımalarından biri olarak değerlendirilebilir ve uzmanlaşmış haberciliğin çevresel sorunların kamuoyuna aktarılmasında nasıl kritik bir rol oynadığını göstermektedir.

1.3. İklim Haberciliğinde Bilim İletişimi ve Bağlamsallaştırma

İklim haberciliği, çağdaş medya çalışmalarında yalnızca olay aktarımına dayalı gazetecilik pratiklerinin ötesine geçen, bilimsel bilginin topluma aktarımını içeren uzmanlaşmış bir iletişim alanı olarak değerlendirilmektedir. Özellikle iklim değişikliği gibi karmaşık, çok aktörlü ve uzun vadeli sorunlar, gazeteciliğin yalnızca haber aktaran bir yapı olmaktan çıkıp bilimsel veriyi yorumlayan bir aracılık işlevine yönelmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda iklim gazeteciliği, bilim iletişimi literatürüyle doğrudan kesişen disiplinlerarası bir alan olarak ele alınmaktadır (Corbett & Durfee, 2004).

Bilim iletişimi perspektifinden bakıldığında, iklim haberlerinin temel işlevi bilimsel bilginin kamuoyuna anlaşılır, erişilebilir ve doğrulanabilir biçimde aktarılmasıdır. Matthew C. Nisbet ve Chris Mooney (2007), bilimsel konuların kamuya aktarımında yalnızca veri sunumunun yeterli olmadığını, bilginin belirli çerçeveler (frames) üzerinden anlamlandırıldığını vurgulamaktadır. Bilim iletişiminin sadece bilgi aktarımı değil, aynı zamanda anlam üretme süreci olduğunu bu süreçle ortaya koymaktadır. İklim haberciliğinin de bu çerçevede yalnızca veri temelli bir aktarım değil, bilimsel bilginin yorumlanarak kamuoyuna sunulduğu bir iletişim alanı olarak ele alınmasına teorik bir zemin sağlamaktadır.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) raporları, bu sürecin en önemli epistemik referanslarından birini oluşturmaktadır. IPCC'nin düzenli değerlendirme raporları, iklim değişikliğine ilişkin bilimsel konsensüsü ortaya koyarak gazetecilik pratiklerinde güvenilir veri kaynağı işlevi görmektedir (IPCC, 2021). Bu durum, gazetecinin yalnızca olay aktarıcısı değil, aynı zamanda bilimsel bilgiyi yorumlayan bir “bilgi aracısı” haline gelmesine yol açmaktadır (Fahy & Nisbet, 2011).

İklim haberciliğinde bağlamsallaştırma, haberin yalnızca güncel bir olaya değil, uzun dönemli bilimsel ve toplumsal süreçlere yerleştirilmesini ifade etmektedir. Carvalho ve Burgess (2005), iklim değişikliği haberlerinde bağlamın eksik sunulmasının kamuoyunda yanlış algılara yol açabileceğini ve bu nedenle haberlerin tarihsel ve bilimsel çerçevelerle desteklenmesi gerektiğini vurgulamaktadır. İklim haberciliği, tekil olayları açıklamaktan ziyade, bu olayları küresel iklim sisteminin bir parçası olarak konumlandırma işlevi de görmektedir.

Gazeteciliğin veri, modelleme ve bilimsel raporlarla desteklenen daha analitik bir yapıya dönüşmesi bu bakış modelde daha ön plana çıkmaktadır. Boykoff (2011), iklim haberciliğinde bilimsel bilginin doğru çerçevelenmesinin kamu algısını doğrudan etkilediğini ve medyanın iklim değişikliği konusundaki temsil gücünün oldukça belirleyici olduğunu belirtmektedir. Çerçeveleme (framing) yaklaşımı, bir olayın hangi bağlamda sunulduğunu ve hangi unsurların öne çıkarıldığını açıklayan kuramsal bir perspektif sunmakta; iklim haberlerinde aynı verinin farklı anlatı biçimlerine dönüşebilmesini mümkün kılmaktadır. Bu çalışma kapsamında çerçeveleme, ayrı bir analiz değişkeni olarak değil, haberlerin bağlamsal sunum biçimini açıklayan teorik bir arka plan olarak ele alınmaktadır.

İklim haberciliği aynı zamanda risk iletişimi literatürüyle de yakından ilişkilidir. Hulme (2009), iklim değişikliğinin yalnızca bilimsel bir olgu değil, aynı zamanda toplumsal algı ve risk yönetimi meselesi olduğunu ifade etmektedir. Bu nedenle iklim haberleri, yalnızca veri sunmakla kalmamakta, aynı zamanda bu verilerin toplumsal anlamını da inşa etmektedir.

Gazetecilik bilgi aktarımının ötesine taşınarak anlam üretim sürecinin bir parçası haline gelmektedir.

Sonuç olarak iklim haberciliğinde bilim iletişimi ve bağlamsallaştırma, modern gazeteciliğin en kritik dönüşüm alanlarından birini oluşturmaktadır. Bilimsel verinin medya üretim süreçlerine entegrasyonu, haberin güvenilirliğini artırırken kamuoyunun karmaşık çevresel süreçleri daha doğru anlamasına katkı sağlamaktadır. Bu nedenle iklim gazeteciliği, bilim iletişimi, veri temelli habercilik ve uzmanlaşmış medya pratiklerinin kesişiminde yer alan hibrit bir alan olarak değerlendirilmektedir (Fahy & Nisbet, 2011).

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bu araştırma, dijital haber içeriklerinin analitik gazetecilik özelliklerini incelemeyi amaçlayan ve nitel ile nicel içerik analizinin birlikte kullanıldığı karma yöntemli bir çalışmadır. Çalışmada haber içerikleri; veri kullanımı, bağlamsallaştırma düzeyi, multidisiplinerlik, görselleştirme kullanımı ve haber türleri açısından sistematik biçimde analiz edilmiştir.

2.1. Araştırma Deseni

Araştırma içerik analizi yöntemi ile gerçekleştirilmiştir. Bu model kapsamında haber içeriklerine herhangi bir müdahalede bulunulmadan mevcut halleriyle incelenmiş, içerikler önceden belirlenen kategorilere göre sınıflandırılarak analiz edilmiştir. Amaç, haberlerin yapısal ve içeriksel özelliklerini ortaya koymaktır.

2.2. Evren ve Örneklem

Araştırmanın evrenini, İklim Haber platformunda Mart 2026 döneminde yayımlanan toplam 80 haber oluşturmaktadır. Ancak evrenin tamamına ulaşmak zaman ve analiz kapsamı açısından mümkün olmadığından sistematik örnekleme yöntemi tercih edilmiştir.

Örneklem seçim süreci şu şekilde gerçekleştirilmiştir:

Evreni oluşturan 80 haber kronolojik olarak sıralanmıştır.

İlk olarak 2. haberden başlanmıştır. Daha sonra her 3 haber atlanarak sistematik seçim yapılmıştır. Bu yöntem sonucunda toplam 27 haberlik örneklem grubu elde edilmiştir. Bu sistematik örnekleme yaklaşımıyla, haberlerin evreni temsil etme gücünün artırılması ve olası seçici yanlılığın azaltılması amaçlanmıştır.

Örnekleme yer alan haberler ağırlıklı olarak şu temaları kapsamaktadır:

- İklim değişikliği
- Enerji politikaları
- Çevresel krizler
- Uluslararası politik gelişmeler
- Bilimsel raporlar ve kurumsal açıklamalar

2.3. Veri Toplama Süreci

Veriler, seçilen 27 haberin ayrıntılı biçimde okunması ve önceden belirlenen kategorilere göre kodlanması yoluyla elde edilmiştir. Her haber, analiz çerçevesinde sistematik olarak değerlendirilmiştir.

Kodlama sürecinde kullanılan kategoriler şunlardır:

- Veri kullanım düzeyi
- Bağlamsallaştırma düzeyi
- Multidisiplinerlik
- Görselleştirme kullanımı
- Haber türü

2.4. Veri Analizi

Araştırmada içerik analizi tekniği kullanılmıştır. Haberler, belirlenen kategorilere göre sınıflandırılmış ve frekans (n) değerleri üzerinden tablolaştırılmıştır. Elde edilen nicel bulgular, nitel yorumlarla desteklenerek bütüncül bir değerlendirme yapılmıştır.

Analizin temel amacı yalnızca sayısal dağılımları ortaya koymak değil, aynı zamanda haberlerin analitik gazetecilik düzeyini ve içerik üretim eğilimlerini değerlendirmektir.

2.5. Sınırlılıklar

Araştırma, yalnızca İklim Haber platformunda Mart 2026 döneminde yayımlanan 80 haber arasından seçilen 27 haber ile sınırlıdır. Bu nedenle elde edilen bulgular tüm evrene genellenemez. Ayrıca görsel içerikler yalnızca kullanım düzeyi açısından değerlendirilmiş, teknik görsel analiz kapsam dışında bırakılmıştır.

2.6. Bulgular

Bu bölümde, analiz edilen 27 haberin veri kullanımı, bağlamsallaştırma düzeyi, multidisiplinerlik, görselleştirme kullanımı ve haber türlerine göre analitik yapısı incelenmiştir. Bulgular tablolar halinde sunulmuş ve her bir tablo kendi içinde değerlendirilmiştir.

Tablo 1’de haberlerde kullanılan sayısal veri, oran, istatistik ve rapor temelli bilgilerin yoğunluğunu ölçmektedir. Veri kullanım düzeyi “zayıf, orta ve güçlü” olmak üzere üç kategoride değerlendirilmiştir

Tablo 1: Veri Kullanım Düzeyi

Düzy	Haber Sayısı
Zayıf	2
Orta	9
Güçlü	16
Toplam	27

Elde edilen sonuçlar, haberlerin büyük çoğunluğunda güçlü veri kullanımının hâkim olduğunu göstermektedir. Özellikle iklim değişikliği, enerji politikaları ve uluslararası raporlara dayalı içeriklerde yüzdelik değişimler, ölçümler ve karşılaştırmalı veriler yoğun biçimde kullanılmıştır. Orta düzey haberler daha çok açıklayıcı istatistikler içerirken, zayıf düzey haberler olay anlatımına dayalı kalmıştır. Genel olarak platformun veri temelli gazetecilik yaklaşımını benimsediği söylenebilir.

Tablo 2’de haberlerin olayları yalnızca aktarmakla kalmayıp, politik, ekonomik, tarihsel ve çevresel bağlam içinde sunma düzeyini göstermektedir.

Tablo 2: Bağlamsallaştırma Düzeyi

Düzy	Haber Sayısı
Zayıf	1
Orta	7
Güçlü	19
Toplam	27

Haberlerin büyük çoğunluğu güçlü bağlamsallaştırma düzeyine sahiptir. Olaylar yalnızca güncel gelişme olarak değil; iklim krizi, enerji güvenliği, uluslararası politikalar ve ekonomik etkilerle birlikte ele alınmaktadır. Orta düzey haberlerde sınırlı bağlam sunulurken, zayıf düzey yalnızca tek olay aktarımı ile sınırlı kalmıştır. Bu durum, haberlerin analitik bir çerçeveye sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 3 haberlerin farklı disiplinleri (çevre, ekonomi, siyaset, teknoloji vb.) bir arada kullanma düzeyini ölçmektedir.

Tablo 3: Multidisiplinerlik (Disiplinlerarası Yaklaşım)

Düzy	Haber Sayısı
Tek Boyut	1
Kısmi	10
Güçlü	16
Toplam	27

Haberlerin önemli bir bölümü güçlü multidisipliner özellik göstermektedir. Özellikle enerji ve iklim haberlerinde çevresel sorunlar ekonomik maliyetler, siyasi kararlar ve teknolojik çözümlerle birlikte ele alınmaktadır. Kısmi düzeyde kalan haberler sınırlı disiplin bağlantısı içerirken, tek boyutlu haber sayısı oldukça düşüktür. Bu sonuç, içeriklerin çok boyutlu düşünme yapısına sahip olduğunu göstermektedir.

Tablo 4 haberlerde görsel unsurların (fotoğraf, grafik, infografik vb.) kullanım düzeyini incelemektedir.

Tablo 4: Görselleştirme Kullanımı

Düzy	Haber Sayısı
Yok	6
Temel	21
Gelişmiş	0
Toplam	27

Bulgular, haberlerde görselleştirmenin ağırlıklı olarak temel düzeyde kaldığını göstermektedir. Haberlerin çoğunda yalnızca fotoğraf kullanımı yer almakta, veri görselleştirme veya infografik gibi gelişmiş görsel tekniklere rastlanmamaktadır. Bu durum, özellikle veri yoğun haberlerde görsel anlatımın yeterince desteklenmediğini ortaya koymaktadır. Gelişmiş görselleştirme kullanımının olmaması önemli bir sınırlılık olarak değerlendirilebilir.

Tablo 5 haberlerin analitik içerik, özel haber, dosya haber ve düz haber olarak sınıflandırılmasını göstermektedir.

Tablo 5: Haber Türüne Göre Analitik Düzey

Tür	Haber Sayısı
Analiz	17
Dosya	0
Özel Haber	7
Düz Haber	3
Toplam	27

Haberlerin büyük çoğunluğu analitik içeriklerden oluşmaktadır. Bu durum, içeriklerin yalnızca olay aktarımı değil, yorumlama, veri analizi ve bağlamsal çözümleme içerdiğini göstermektedir. Özel haberler saha olaylarına dayalı gelişmeleri içerirken, düz haber sayısı oldukça düşüktür. Dosya haber türünün hiç yer almaması ise içeriklerin uzun soluklu dosya gazeteciliğinden ziyade güncel analitik haberciliğe odaklandığını göstermektedir.

3. Genel Değerlendirme

Bu çalışmada analiz edilen 27 haber, veri kullanımı, bağlamsallaştırma, multidisiplinerlik, görselleştirme ve haber türlerine göre analitik yapı açısından bütüncül olarak değerlendirildiğinde, içeriklerin büyük ölçüde analitik gazetecilik pratiğine yakın bir yapıya sahip olduğu görülmektedir.

Öncelikle veri kullanım düzeyi incelendiğinde, haberlerin önemli bir kısmında sayısal veriler, oranlar, rapor çıktıları ve karşılaştırmalı istatistiklerin yoğun biçimde kullanıldığı tespit edilmiştir. Bu durum, içeriklerin yalnızca haber aktarmaktan ziyade kanıta dayalı ve veri destekli bir anlatım biçimine yöneldiğini göstermektedir. Özellikle iklim, enerji ve uluslararası politika temalı haberlerde bu eğilimin daha da güçlendiği görülmektedir.

Bağlamsallaştırma düzeyi açısından değerlendirildiğinde, haberlerin büyük çoğunluğunun olayları yalnızca güncel gelişme olarak değil; ekonomik, politik, çevresel ve tarihsel süreçlerle birlikte ele aldığı ortaya çıkmıştır. Haberlerin yüzeysel bilgi aktarımının ötesine geçerek açıklayıcı ve yorumlayıcı bir çerçeve sunduğu görülmektedir.

Multidisiplinerlik bulguları da benzer şekilde güçlü bir tablo ortaya koymaktadır. Haberlerin önemli bir bölümü çevre, ekonomi, siyaset, teknoloji ve toplum gibi farklı alanları bir arada ele almakta; bu da içeriklerin çok boyutlu bir analiz perspektifine sahip olduğunu göstermektedir. Tek boyutlu haber sayısının oldukça düşük olması, bu eğilimi desteklemektedir.

Buna karşılık, görselleştirme kullanımı açısından belirgin bir sınırlılık dikkat çekmektedir. Haberlerin büyük kısmında yalnızca temel düzeyde görsel kullanım (çoğunlukla fotoğraf) yer

almakta, infografik, veri görselleştirme veya gelişmiş görsel anlatım tekniklerine ise rastlanmamaktadır. Özellikle veri yoğun haberlerde görsel destek mekanizmalarının yetersiz kaldığı görülmektedir.

Son olarak, haber türlerine göre yapılan sınıflandırma, içeriklerin ağırlıklı olarak analitik haber formatında üretildiğini ortaya koymaktadır. Özel haberler belirli saha olaylarına odaklanırken, düz haber sayısı oldukça sınırlı kalmıştır. Dosya haber türünün hiç yer almaması ise platformun uzun soluklu derinlemesine dosya gazeteciliğinden ziyade güncel analitik içerik üretimine yöneldiğini göstermektedir.

Genel olarak tüm tablolar birlikte değerlendirildiğinde, incelenen haber setinin;

- veri temelli gazeteciliği güçlü biçimde kullanan
- bağlamsal ve çok katmanlı açıklama sunan
- disiplinlerarası bakış açısını benimseyen
- ancak görsel anlatım açısından gelişime açık olan

bir yapıya sahip olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Bu bulgular, platformun haber üretim pratiğinin klasik haber modelinden analitik ve rapor temelli gazetecilik modeline doğru evrildiğini açık biçimde göstermektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışma kapsamında analiz edilen 27 haber, veri kullanımı, bağlamsallaştırma, multidisiplinerlik, görselleştirme ve haber türlerine göre yapılan sınıflandırmalar üzerinden incelenmiştir. Elde edilen bulgular, incelenen haber setinin genel olarak analitik gazetecilik yaklaşımına yakın bir içerik yapısına sahip olduğunu göstermektedir.

Araştırma sonucunda, haberlerin büyük çoğunluğunda yüksek düzeyde veri kullanımına yer verildiği, sayısal göstergeler, oranlar ve rapor temelli bilgilerin haber anlatımının temel unsurlarından biri haline geldiği görülmüştür. Benzer şekilde, haberlerin önemli bir kısmı olayları yalnızca aktarmakla kalmayıp, politik, ekonomik ve çevresel bağlamlar içinde ele alarak güçlü bir bağlamsallaştırma düzeyi ortaya koymuştur. Bu durum, haberlerin yüzeysel bilgi sunumunun ötesine geçerek açıklayıcı ve yorumlayıcı bir çerçeveye sahip olduğunu göstermektedir.

Multidisiplinerlik açısından değerlendirildiğinde, haber içeriklerinin farklı disiplinleri bir araya getiren bir yapı sergilediği; özellikle çevre, enerji, siyaset ve ekonomi alanlarının sık sık birlikte ele alındığı tespit edilmiştir. Haber üretiminde çok boyutlu bir analiz yaklaşımının benimsendiğini ortaya koyulmuştur.

Buna karşılık, görselleştirme kullanımının çoğunlukla temel düzeyde kaldığı, haberlerde veri görselleştirme ve infografik gibi gelişmiş görsel anlatım tekniklerinin yer almadığı belirlenmiştir. Özellikle veri yoğun içeriklerde görsel destek açısından bir sınırlılık oluşturduğu değerlendirilebilir.

Haber türlerine göre yapılan değerlendirme ise içeriklerin ağırlıklı olarak analitik haber formatında üretildiğini, özel haberlerin sınırlı düzeyde kaldığını ve dosya haberciliğine ise hiç yer verilmediğini göstermiştir. Bu sonuç, platformun uzun soluklu dosya gazeteciliğinden ziyade güncel ve analitik içerik üretimine odaklandığını ortaya koymaktadır.

Genel olarak elde edilen tüm bulgular birlikte değerlendirildiğinde, incelenen haber setinin veri temelli, bağlamsal ve disiplinlerarası bir gazetecilik anlayışına sahip olduğu, ancak görsel anlatım teknikleri açısından geliştirilmesi gereken yönler bulunduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu bağlamda çalışma, modern haber üretim pratiklerinin giderek analitik gazetecilik yönünde dönüşüm gösterdiğini desteklemektedir.

KAYNAKÇA

- Anderson, C. (2006). *The long tail: Why the future of business is selling less of more*. Hyperion.
- Benkler, Y. (2006). *The wealth of networks: How social production transforms markets and freedom*. Yale University Press.
- Boykoff, M. T. (2011). *Who speaks for the climate? Making sense of media reporting on climate change*. Cambridge University Press.
- Carvalho, A., ve Burgess, J. (2005). Cultural circuits of climate change in UK broadsheet newspapers, 1985–2003. *Risk Analysis*, 25(6), 1457–1469.
- Chadwick, A. (2013). *The hybrid media system: Politics and power*. Oxford University Press.
- Coddington, M. (2015). Clarifying journalism's quantitative turn: A typology for evaluating data journalism, computational journalism, and computer-assisted reporting. *Digital Journalism*, 3(3), 331–348.
- Corbett, J. B., ve Durfee, J. L. (2004). Testing public (un)certainly of science: Media representations of global warming. *Science Communication*, 26(2), 129–151.
- Deuze, M. (2005). What is journalism? Professional identity and ideology of journalists reconsidered. *Journalism*, 6(4), 442–464.
- Deuze, M. (2008). The changing context of news work: Liquid journalism and monitorial citizenship. *International Journal of Communication*, 2, 848–865.
- Fahy, D., & Nisbet, M. C. (2011). The science journalist online: Shifting roles and emerging practices. *Journalism*, 12(7), 778–793.
- Gray, J., Bounegru, L., & Chambers, L. (2012). *The data journalism handbook*. O'Reilly Media.
- Hamilton, J. T. (2016). *Democracy's detectives: The economics of investigative journalism*. Harvard University Press.
- Hulme, M. (2009). *Why we disagree about climate change: Understanding controversy, inaction and opportunity*. Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). *Climate change 2021: The physical science basis*. Cambridge University Press.

- Lewis, S. C., & Westlund, O. (2015). Actors, actants, audiences, and activities in cross-media news work. *Digital Journalism*, 3(1), 19–37.
- Mayer-Schönberger, V., ve Cukier, K. (2013). *Big data: A revolution that will transform how we live, work, and think*. Houghton Mifflin Harcourt.
- McNair, B. (2009). *News and journalism in the UK*. Routledge.
- Napoli, P. M. (2011). *Audience evolution: New technologies and the transformation of media audiences*. Columbia University Press.
- Schudson, M. (2011). *The sociology of news*. W. W. Norton & Company.
- Webster, J. G. (2014). *The marketplace of attention: How audiences take shape in a digital age*. MIT Press.

TOPLUMSAL HAFIZA VE MEDYA TEMSİLİ: KIZILCIK ŞERBETİ DİZİSİ ÜZERİNE BİR ANALİZ

Arş. Gör. Ali TANER

Süleyman Demirel University, Faculty of Communication, Department of Journalism, 32200

Merkez/Isparta

ORCID ID: 09-0009-9257-2957

ÖZET

Türkiye’de popüler kültür ürünlerinin toplumsal hafıza üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla çalışma kapsamında Kızılıcık Şerbeti dizisini ele almaktadır. Dizi, güncel toplumsal meseleleri bireysel deneyimler ve tarihsel referanslarla harmanlayarak izleyiciye sunarken, kolektif hafızanın yeniden üretimi ve yorumlanması süreçlerini görünür kılmaktadır. Bu noktada çalışma, dizide yer alan karakterlerin geçmiş deneyimleri, aile yapıları ve toplumsal ilişkileri üzerinden toplumsal hafızanın nasıl temsil edildiğini analiz etmektedir. Aynı zamanda olay örgüsü, diyaloglar ve görsel-işitsel anlatım unsurlarının hafıza inşasındaki rolü de değerlendirme kapsamına alınmaktadır. Araştırmada özellikle farklı kuşaklar arasındaki hafıza aktarımının nasıl kurgulandığına odaklanılmıştır. Dizide geçmiş ile bugün arasında kurulan anlatı köprüleri, izleyicinin hem bireysel hem de kolektif düzeyde geçmişle bağ kurmasına olanak tanımaktadır. Bu durum, güncel toplumsal olayların tarihsel bir perspektifle yeniden anlamlandırılmasına katkı sağlamaktadır. Ayrıca dizinin dramatik yapısı ve anlatım teknikleri, izleyiciyi toplumsal değerler, kimlik oluşumu ve kültürel normlar üzerine düşünmeye yönlendirmektedir. Elde edilen bulgular, popüler medya ürünlerinin yalnızca eğlence işlevi taşımadığını; aynı zamanda toplumsal hafızayı koruyan, yeniden üreten ve tartışmaya açan önemli araçlar olduğunu ortaya koymaktadır. Bu kapsamda değerlendirildiğinde Kızılıcık Şerbeti dizisi, toplumsal hafızanın medya aracılığıyla nasıl yeniden üretildiğini ve izleyici üzerinde kolektif hafızaya dair farkındalık oluşturduğunu gösteren güçlü bir örnek olarak değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Toplumsal hafıza, medya temsili, popüler kültür, dizi analizi

SOCIAL MEMORY AND MEDIA REPRESENTATION: AN ANALYSIS OF THE TV SERIES KIZILCIK ŞERBETİ

ABSTRACT

This study examines the impact of popular culture products on social memory in Turkey by focusing on the TV series *Kızılıçık Şerbeti*. The series presents contemporary social issues by blending individual experiences with historical references, thereby making the processes of reproduction and reinterpretation of collective memory visible. In this context, the study analyzes how social memory is represented through the characters' past experiences, family structures, and social relationships depicted in the series. Additionally, the role of narrative structure, dialogues, and audio-visual elements in the construction of memory is evaluated. The research particularly focuses on how the transmission of memory between different generations is constructed. The narrative bridges established between past and present in the series enable the audience to connect with the past at both individual and collective levels. This contributes to the reinterpretation of current social issues within a historical perspective. Moreover, the dramatic structure and narrative techniques of the series encourage viewers to reflect on social values, identity formation, and cultural norms. The findings reveal that popular media products do not merely serve an entertainment function but also act as significant tools for preserving, reproducing, and debating social memory. In this respect, *Kızılıçık Şerbeti* stands out as a strong example demonstrating how social memory is reconstructed through media and how it fosters awareness of collective memory among audiences.

Keywords: Social memory, media representation, popular culture, TV series analysis

OLASI MARMARA DEPREMİ SONRASI ŞEHİRDEN TAHLİYE SENARYOLARINDA LİMANLARIN ROLÜ

Assist. Prof. Dr. Mehdi ÖZTÜRK

Istanbul Arel University, Faculty of Engineering, Department of Urban Systems Engineering, 34537
Büyüçekmece, İstanbul

ORCID ID: 0000-0003-4147-0431

Msc. Arzu FİDAN

Istanbul Arel University, Faculty of Engineering, Department of Urban Systems Engineering, 34537
Tepekent, İstanbul

ORCID ID: 0009-0006-0575-4030

ÖZET

Türkiye, aktif fay hatları üzerinde yer alması nedeniyle yüksek deprem tehlikesi altındadır ve özellikle Marmara Bölgesi, yoğun nüfus, ekonomik üretim kapasitesi ve kritik altyapıların bölgede toplanması nedeniyle olası bir büyük depremin ulusal ölçekte çok boyutlu etkiler doğurabileceği bir risk alanı oluşturmaktadır. Afet sonrası müdahale ve erken toparlanma süreçlerinde ulaşım ve lojistik sistemlerinin sürekliliği belirleyici hâle gelmekte; kara ulaşım ağlarında oluşabilecek kesintiler karşısında denizyolu ulaşımı ve liman altyapısı alternatif erişim ve sevkiyat kapasitesi sunan stratejik bileşenler olarak öne çıkmaktadır. Türkiye’de deniz ticaretine hizmet veren kıyı tesislerinin önemli bölümünün Marmara Bölgesi’nde yoğunlaşması, limanların afet lojistiği, tahliye ve insani yardım sevkiyatı açısından önemli bir potansiyel taşıdığını göstermektedir. Bu çalışmanın amacı, olası Marmara depremi sonrasında limanların afet lojistiğindeki işlevini ve sürdürülebilirliğini altyapı dayanımı, erişilebilirlik sürekliliği ve kurumsal koordinasyon boyutlarıyla bütüncül biçimde değerlendirmektir. Araştırma, nitel ağırlıklı masa başı yöntemine dayanmakta; afet yönetimi planları, raporlar ve literatürden elde edilen veriler karşılaştırmalı olarak incelenmektedir. Bulgular, limanların deprem sonrası alternatif erişim ve lojistik destek sağlayabildiğini; ancak bu potansiyelin liman-kara bağlantılarının işlerliği, kıyı yapılarının dayanımı ve kurumlar arası koordinasyonun etkinliğine bağlı olduğunu göstermektedir. Marmara depremi senaryosunda limanların rolünün güçlendirilmesi, altyapı kapasitesinin artırılması, entegre ulaşım, dayanıklılık temelli planlama ve operasyonel hazırlığın geliştirilmesini gerektirmektedir.

Anahtar Kelimeler: Afet lojistiği, Marmara depremi, liman dayanıklılığı, kıyı yapıları, hizmet sürekliliği.

ROLE OF PORTS IN URBAN EVACUATION SCENARIOS AFTER A POTENTIAL MARMARA EARTHQUAKE

ABSTRACT

Turkey is located on active fault lines and is therefore exposed to high seismic hazard. The Marmara Region, characterized by dense population, strong economic production, and concentrated critical infrastructure, represents a major risk area where a large earthquake could produce multidimensional national impacts. During post-disaster response and early recovery, continuity of transportation and logistics becomes decisive; disruptions in road networks emphasize maritime transport and port infrastructure as strategic components providing alternative access and shipment capacity. The concentration of coastal facilities serving maritime trade in the Marmara Region shows that ports hold significant potential for disaster logistics, evacuation, and humanitarian aid distribution. This study evaluates the function and sustainability of ports within disaster logistics after a possible Marmara earthquake through an integrated framework of structural resilience, accessibility continuity, and institutional coordination. Designed as a qualitative desk-based study, it comparatively examines disaster management plans, institutional reports, and relevant literature. Findings indicate that ports can supply alternative access and logistical support after an earthquake; however, this capacity depends on port–hinterland connectivity, structural integrity of coastal facilities, and effective inter-institutional coordination. Strengthening the role of ports therefore requires integrated transportation planning, resilience-oriented strategies, and improved operational preparedness.

Keywords: Disaster logistics, Marmara earthquake, port resilience, coastal structures, service continuity.

1. INTRODUCTION

Türkiye is among the countries exposed to high seismic hazard due to its location on the Alp-Himalayan earthquake belt and the wide distribution of active fault systems across its territory. The westward movement of the Anatolian Plate relative to the Eurasian Plate, and the accumulation of stress generated by this movement particularly along the North Anatolian Fault Zone, render earthquakes a persistent structural risk for Türkiye. Indeed, current earthquake hazard maps also reveal that seismic hazard is widespread throughout the country (AFAD, 2018). Within this framework, the earthquake issue should not be regarded solely as a matter of structural safety; it should also be addressed in terms of the protection and continued functioning of critical infrastructures that sustain social and economic operations in the

aftermath of disasters. The spatial distribution of seismic hazard in Türkiye is presented in Figure 1.

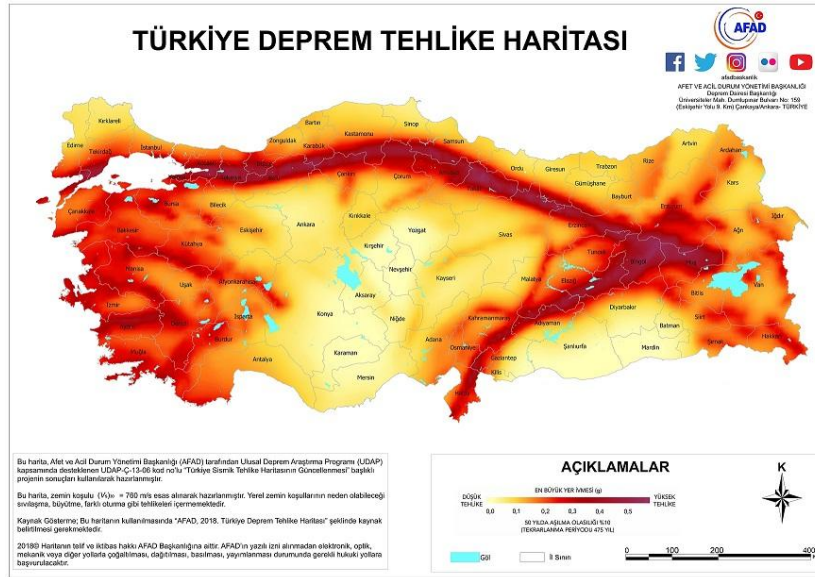


Figure 1. Türkiye Earthquake Hazard Map

Within Türkiye, the Marmara Region constitutes a distinctive area capable of transforming the effects of earthquake hazard into far more complex and large-scale consequences. The principal reason for this is not only that the region is risky from a seismotectonic perspective, but also that it forms one of the country's most critical clusters in terms of population density, industrial production, trade volume, and transportation networks. The segments of the North Anatolian Fault Zone within the Marmara Sea have long placed the probability of a major-magnitude earthquake at the center of scientific debate. Therefore, the consequences of a possible major earthquake in Marmara may extend beyond local physical destruction and generate secondary effects at the national scale on production chains, public services, supply systems, and regional accessibility (Gündoğdu, Işık, and Koç, 2012).

One of the factors increasing vulnerability in the Marmara context is the geological and geomorphological conditions, particularly in and around Istanbul. Filled coastal grounds, young alluvial deposits, and heterogeneous soil structures, which are widespread in the coastal zones of the region, are noteworthy in terms of the amplification of seismic waves and damage risks associated with soil behavior. Geological assessments concerning Istanbul indicate that these sensitive zones along the coastal belt are decisive not only for the urban settlement pattern but also for the continuity of service of ports and other coastal facilities (Yıldız, 2023; İBB, 2024). Therefore, in the Marmara earthquake scenario, the resilience of

coastal infrastructure should be considered not merely as an engineering issue, but as one of the fundamental components of disaster management. Figure 2 illustrates the distribution of geological units in Istanbul and the overall condition of sensitive ground areas located in coastal zones.

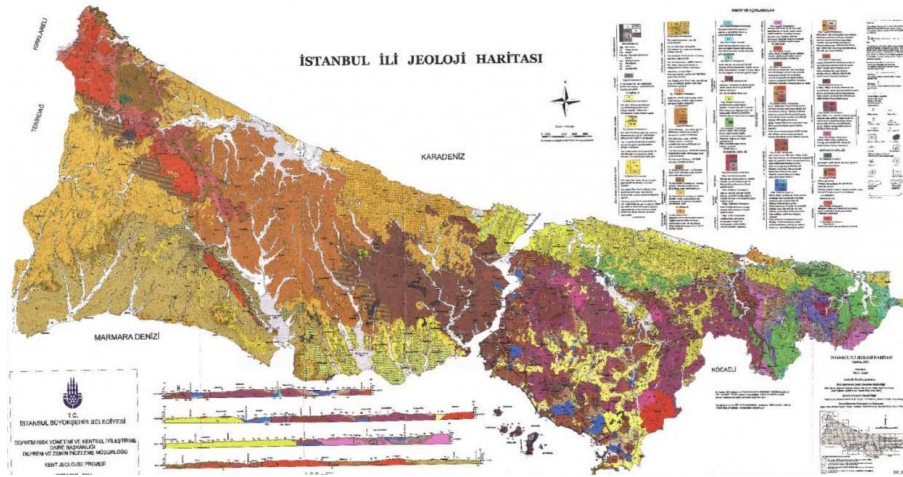


Figure 2. Geological Map of Istanbul Province

The demographic and economic weight of the region also elevates this risk framework to a more strategic level. According to TÜİK data, with a population of approximately 26.9 million, the Marmara Region is the most densely populated settlement area in Türkiye (TÜİK, 2025). Such population density creates enormous operational pressure after an earthquake in areas such as evacuation, temporary sheltering, access to health services, and the continuation of essential public services. In addition, given the region's industrial and commercial capacity, the effects of a disaster will not be limited to loss of life and property; they will also spread more broadly in the form of production losses, logistical disruptions, interruptions in supply chains, and stagnation in economic activities (İskender and Helvacıoğlu, 2023; Gündoğdu et al., 2012).

The success of post-disaster response depends to a great extent on the extent to which transportation and logistics systems remain operational. Damage that may occur within road networks, the disabling of critical passage points such as bridges and tunnels, and congestion that may emerge on major urban arteries may directly hinder search and rescue, medical transportation, humanitarian aid distribution, and evacuation activities. For this reason, the assumption that road-based logistics will be constrained during the first days after an earthquake is regarded as a realistic starting point in disaster planning. This issue is even more significant in the Marmara Region, because the region is situated at the nodal point of the

country's mobility, production, and consumption relations (İskender and Helvacıoğlu, 2023; Gündoğdu et al., 2012).

At this point, maritime transportation and port infrastructure emerge as strategic elements capable of providing alternative access and shipment capacity after a disaster. The fact that a significant portion of the coastal facilities serving maritime trade in Türkiye are located in the Marmara Region shows that ports carry critical potential not only in terms of their economic functions but also in terms of evacuation, humanitarian aid shipment, and emergency logistics hub functions. As of the end of 2024, there are 217 coastal facilities in Türkiye, 194 of which are actively operating, and approximately 45% of these facilities are located in the Marmara Region (TÜRKLİM, 2025). This concentration indicates that ports may constitute a serious alternative for the continuity of access following a possible Marmara earthquake (Yıldız, 2023). The ports in the Marmara Region exhibit a functionally differentiated and geographically balanced network structure rather than a monocentric pattern, with major commercial ports concentrated in the Gulf of İzmit, container and urban logistics functions becoming prominent along the Istanbul coast, and the Southern Marmara and Çanakkale corridor serving as complementary components of the system; this distribution is presented in Figure 3.



Figure 3. Spatial Distribution of Ports in the Marmara Region

However, the role of ports during disaster periods cannot be explained solely by their physical existence. The effective use of a port after an earthquake depends on the structural resilience of coastal structures, the continued openness of port-land connections, the continuity of energy and communication systems, and the functioning of inter-institutional coordination. In other words, the contribution of ports to disaster logistics is not a capacity that emerges

automatically; rather, it is a potential that becomes functional under certain infrastructural and managerial conditions. Especially considering the presence of reclaimed coastal areas and sensitive soil conditions along the Marmara coasts, ports need to be evaluated together in terms of structural safety, operational continuity, and accessibility (İBB, 2024).

Based on this problem area, this study aims to evaluate the function of ports within disaster logistics following a possible Marmara earthquake and the sustainability of this function. The study seeks to examine the roles of ports in humanitarian aid, evacuation, maritime intervention, and transfer operations along the axes of infrastructural resilience, continuity of accessibility, and institutional coordination. In this direction, the main research question is formulated as follows: “What are the necessary conditions for the effective use of ports in humanitarian aid and evacuation operations following a possible Marmara earthquake, and what are the principal risks limiting this capacity?” While seeking an answer to this question, the study takes the Marmara Region as its geographical focus and adopts the post-earthquake initial response and early recovery period as its thematic boundary. Detailed engineering modeling and field measurements are excluded from the scope; instead, a qualitative, desk-based evaluation has been conducted on the basis of official reports, planning documents, legislative texts, and the academic literature.

2. THEORETICAL BACKGROUND AND LITERATURE REVIEW

Disaster management is an integrated process that encompasses not only intervention at the time of the disaster, but also the entire phases of risk reduction, preparedness, response, and recovery. Each of these phases is directly connected to transportation and logistics capacity. Particularly in the immediate aftermath of a disaster, the deployment of search and rescue teams to the affected area, the evacuation of the injured, and the distribution of essential supplies are shaped by the operational condition of transportation networks. For this reason, disaster logistics, unlike commercial logistics, is regarded as a field of management that is not cost-oriented, but rather based on ensuring that the needed resource reaches the right place at the right time (Genç, 2021; Altay and Green, 2006). In disaster logistics processes, needs assessment, procurement, storage, distribution, evacuation, and inter-institutional coordination are addressed together; conditions such as time pressure, lack of information, and physical damage make flexible and adaptive planning compulsory (Önsüz and Atalay, 2015; Özçelik, 2023). In this context, need-based planning, the flexible supply chain approach, coordination-oriented operational management, and resilience-based logistics design are among the main approaches highlighted in the literature (Adıgüzel, 2019; Köseoğlu and Yıldırım, 2015).

Post-earthquake evacuation and aid shipment processes are too multilayered to be explained solely by the condition of physical infrastructure. Individuals' movement toward safe areas, efforts to reach family members, search for shelter, and risk perception create sudden and irregular increases in demand within transportation systems. This behavioral mobility increases urban traffic density and prolongs evacuation times. At the same time, the loss of functionality in certain road segments, the overloading of alternative routes, and the fragmentation of accessibility render fixed evacuation plans insufficient. For this reason, alternative routes, multimodal transportation solutions, and a scenario-based flexible management approach come to the forefront in post-earthquake evacuation planning (Polat and Tezcan, 2024). From the perspective of aid shipment as well, route selection, vehicle capacity, timing, distribution priorities, and the coordination structure are decisive. It is stated that most logistical disruptions are often associated with inadequate planning and lack of organization; moreover, the physical and psychological condition of human resources and the continuity of health services also directly affect the success of these processes (Adji et al., 2025; Hugelius et al., 2024; Sofuoğlu et al., 2024).

These discussions bring the concepts of critical infrastructure and strategic facilities to the center of the study. Critical infrastructures are defined as the totality of physical and digital systems that sustain the basic functioning of society and that may generate cascading effects in the event of damage. Sectors such as energy, transportation, health, water, communication, and finance are regarded as fundamental sectors within this scope (Tanrıverdi et al., 2023). In the evaluation of critical infrastructures, not only physical assets but also information networks, digital control mechanisms, and intersectoral dependencies are taken into account (Can, 2022; Keupp, 2020). Recent studies address the protection of these infrastructures not merely as a security issue, but within the framework of risk management and resilience. Modularity, redundancy, adaptability, and rapid recovery capacity emerge as the fundamental principles that enhance the resilience of critical infrastructures (Küfeoğlu and Akgün, 2023; Trump et al., 2025; Kentera et al., 2025). The concept of strategic facilities, on the other hand, refers to the more concrete nodal points of these systems; hospitals, energy generation centers, transportation terminals, and ports are considered among the structures that must be prioritized for protection during disasters (Can, 2022).

Ports and coastal structures, within this framework, signify far more than an ordinary component of transportation infrastructure. Beyond the continuation of maritime trade, their functions in energy supply, humanitarian aid logistics, evacuation operations, and maritime response processes render ports strategic from the perspective of disaster management.

Especially in a region such as Marmara, which hosts dense population and economic activity, ports gain importance as alternative access gateways in the face of the possibility that land transportation networks may be disrupted due to an earthquake (İskender and Helvacioğlu, 2023). For this reason, port resilience should be understood not only as structural robustness, but also as the capacity to sustain function after disruption, to recover within an acceptable time, and to operate in an integrated manner with multimodal networks (Madhusudan and Ganapathy, 2011). In the earthquake context, ports are exposed to multidimensional risks such as soil behavior, the stability of reclaimed areas, quay deformation, equipment damage, interruption of energy lines, and the severance of port-land connections (Mert, 2023; Poyraz, 2023). Therefore, the resilient port approach requires that elements such as structural strengthening, ground improvement, backup energy systems, emergency response plans, and operational flexibility be considered together (Erdemir, 2023). It is observed that recent studies on port resilience have moved beyond damage analysis alone and have turned toward system-level recovery capacity and the preservation of network connections (Mohsendokht et al., 2025).

The literature review shows that studies explaining the role of ports in the context of the Marmara earthquake are shaped around different sub-themes. Aytore et al. (2016), by examining tsunami effects in the case of Haydarpaşa Port, demonstrated that secondary sea-induced hazards may limit port operations. Karaman et al. (2024) emphasized, in the aftermath of the 6 February 2023 earthquakes, that communication and energy continuity are critical for coordination. Duymaz (2023) evaluated post-earthquake population mobility and displacement probabilities in Istanbul within the context of administrative preparedness. Redekar et al. (2025), focusing on port supply chain resilience, highlighted operational flexibility and technology-supported measures. Mohsendokht et al. (2025), by reviewing the port resilience literature, argued that structural assessments should be complemented by network-level approaches. Ghaffarian et al. (2025), by examining neighborhood-scale resilience in Istanbul, showed that response capacity is spatially distributed unequally. Koca (2025) addressed Istanbul's earthquake risk from the perspective of strategic planning; Akkan and Arık (2024) systematically classified the risk components of a possible Marmara earthquake. Ateş and Tümiş (2024) demonstrated that post-earthquake operational interruptions at the terminals in İskenderun Bay caused serious capacity losses. Buldurur and Kurucu (2015) discussed accessibility problems on emergency transportation routes in Istanbul; Ülker (2020), on the other hand, stated that short-distance maritime transportation in the Marmara Sea offers an important alternative for evacuation.

Nevertheless, certain limitations of the existing literature are also noteworthy. A significant portion of the studies examine port-land connections, coastal ground conditions, transportation continuity, and institutional coordination under separate headings; research that brings these elements together within an integrated framework specifically for the Marmara earthquake remains relatively limited. However, the post-disaster effectiveness of ports depends not only on the survival of quays and coastal structures, but also on the operability of hinterland connections, the continuity of communication and energy networks, and the coordination of response organization. In order to reduce this gap, this study evaluates the role of ports in disaster logistics jointly along the axes of infrastructural resilience, continuity of accessibility, and institutional coordination.

3. METHOD

This study was designed within the framework of a qualitative, desk-based research approach. No primary data were collected in the research; instead, descriptive and analytical methods that allow for a holistic evaluation of the existing body of knowledge were employed together. Within this scope, the current situation regarding disaster logistics, transportation systems, and port infrastructure in the Marmara Region was first identified; subsequently, the prominent vulnerabilities, capacity limits, and operational risks within this structure were interpreted.

The database of the study is based entirely on secondary sources. The data sources include national disaster management plans, strategy documents, relevant legislative texts, reports of public institutions, academic publications, and institutional evaluation documents. In addition, earthquake cases selected both from Türkiye and from the international context were examined, and the roles that ports can assume in post-disaster processes were evaluated comparatively. In this way, the study aims not only to present a theoretical discussion, but also to generate practice-oriented inferences based on different disaster experiences.

Methodologically, the research is built on three main axes. The first axis is the establishment of the conceptual and theoretical foundation explaining the function of ports in terms of disaster logistics. At this stage, the literature on disaster logistics, evacuation processes, the critical infrastructure approach, and port resilience was reviewed. The second axis is the examination of the regional framework constituted by the demographic, economic, and spatial structure of the Marmara Region, together with port-land connections. The third axis is the holistic interpretation of the factors that limit or strengthen the post-disaster effectiveness of ports under the headings of infrastructural resilience, continuity of accessibility, and

institutional coordination. This approach provides an analytical basis for evaluation grounded in the integrated reading of different types of data.

The evaluation dimensions of the research concentrate particularly on three headings: infrastructural resilience, continuity of accessibility, and institutional coordination. Within the scope of infrastructural resilience, the capacity of ports and coastal structures to maintain their functions after an earthquake was addressed. In the dimension of continuity of accessibility, port-land connections, transportation disruptions, and alternative access opportunities were evaluated. On the axis of institutional coordination, the division of responsibilities among the institutions assigned in disaster management, organizational capacity, and the harmony of intervention were taken into consideration. This threefold framework determines both the analytical logic of the study and the way in which the findings are classified.

In order to strengthen validity and consistency in the research, priority was given, as far as possible, to official documents and peer-reviewed academic publications, and care was taken to use different sources in a mutually corroborative manner. Nevertheless, the fact that the study is not based on field data and does not include detailed engineering calculations or port-based technical damage modeling constitutes one of the main limitations of the method. Despite these limitations, however, it is accepted that the document-based and comparative analysis approach provides a sufficient framework for evaluating the role of ports in disaster logistics in the context of the Marmara earthquake at both the conceptual and operational levels.

4. THE ROLE OF PORTS IN DISASTER LOGISTICS FOLLOWING THE MARMARA EARTHQUAKE

Following a possible Marmara earthquake, ports should be evaluated not only as transportation nodes serving maritime trade, but also as strategic nodal areas that support the continuity of access after a disaster. The concentration of population, industry, and critical transportation networks within the same geography in the region may cause disruptions in road and railway systems in the event of a major earthquake to create a very wide sphere of impact. Under these conditions, maritime access may, for certain areas, go beyond being a complementary option and acquire the character of a primary logistics channel. The potential of ports in disaster logistics emerges through multidimensional functions such as the reception, classification, temporary storage, and distribution of relief supplies and, where necessary, the support of evacuation activities (Altay and Green III, 2006; Yıldız, 2023; İskender and Helvacıoğlu, 2023).

One of the most important functions of ports in the initial post-disaster phase is their ability to operate as reception and distribution centers for humanitarian aid logistics. In cases where road networks are damaged or suffer capacity loss, the delivery of relief supplies to the region by sea and their discharge at suitable ports for onward transport to inland areas becomes critically important. In this context, commercial ports may function not only as cargo handling facilities, but also as temporary logistics bases. However, the effectiveness of this function depends on the preservation of the physical integrity of the port area, the usability of cranes and equipment, the continuity of energy and communication infrastructure, and the manageability of traffic flow around the port. For this reason, the role of ports in aid logistics should be evaluated not only in terms of their capacity size, but also in terms of their operational continuity after the disaster (Altay and Green III, 2006; Mohsendokht et al., 2025; Yıldız, 2023).

The second main function of ports is to support evacuation operations. Following a possible Marmara earthquake, the likelihood that road-based evacuation capacity may prove insufficient, especially in densely populated coastal areas, makes maritime options more visible. Short-distance maritime transport may constitute an important alternative in directing certain segments of the population toward safer areas and in reducing the pressure on land. In the study, this issue is addressed through the argument that ports should be evaluated not only in terms of cargo movement, but also in terms of the management of human mobility. Within this framework, passenger piers, Ro-Ro lines, marinas, and certain coastal access points should be considered evacuation components that are different from, yet complementary to, classical commercial port infrastructure. Nevertheless, for evacuation capacity to be used in a real sense, passenger guidance plans, assembly areas, coordination with the coast guard and local administrations, and the prior scenario-based readiness of maritime vehicles are required (Ülker, 2020; Çatak, 2021; Yıldız, 2023).

Third, ports assume an important role in the organization of maritime response capacity. In the post-disaster period, personnel, equipment, mobile health units, shelter materials, and emergency response teams may be transported to the region through military and civilian maritime vehicles. This demonstrates that ports are infrastructures capable of supporting not only the flow of commercial goods, but also emergency operations aimed at ensuring the continuity of public services. In particular, the use of large landing and logistics support vessels and coast guard elements may increase response flexibility in scenarios where land connections are weakened. However, for such use to be effective, the suitability of port infrastructure, berth depths, berthing safety, and command-and-control mechanisms must be

predetermined. For this reason, the maritime response function of ports is a matter not only of physical capacity, but also of institutional preparedness and the division of responsibilities (AFAD, 2014; Çatak, 2021; İskender and Helvacıoğlu, 2023).

Another important role of ports emerges through transportation integration and transshipment functions. After a disaster, the mere survival of the port is not sufficient; the decisive factor is the sustainability of the connections between the port and its hinterland. If port-land connections are severed, the physical operability of the port area carries only limited operational significance. For this reason, land access routes, railway connections, bridge and tunnel crossings, and the junction systems around ports are inseparable components of disaster logistics. It is stated that the effectiveness of ports depends on their integrated planning with multimodal transportation systems and on the prior identification of alternative access corridors (ITF, 2024; Buldurur and Kurucu, 2015; Yıldız, 2023). Therefore, in the Marmara earthquake scenario, the role of ports should be interpreted not only through maritime transportation capacity, but also through the resilience of port-land integration.

All these evaluations show that ports possess high potential in disaster logistics; however, this potential carries a conditional functionality. In other words, ports are not alternatives that operate automatically. When soil conditions, the seismic performance of coastal structures, equipment resilience, continuity of energy and communication, personnel accessibility, and inter-institutional coordination are not ensured, the expected post-disaster role of ports may weaken significantly. For this reason, in the context of the Marmara earthquake, ports should be addressed not merely as existing infrastructures, but as strategic disaster logistics elements requiring resilience-based planning (İBB, 2024; Mohsendokht et al., 2025; AFAD, 2014).

5. EVALUATION THROUGH CASE STUDIES

Past earthquake experiences demonstrate that the role played by ports in disaster logistics is not merely a theoretical discussion, but one that produces concrete outcomes directly related to infrastructural resilience, accessibility, and crisis coordination. When examples from Türkiye and the international context are evaluated together, it is understood that ports, in some cases, offer vital alternatives for aid and evacuation, whereas in other cases, because they themselves suffer direct damage, they may become a bottleneck hindering disaster response. For this reason, case studies provide important implications for the Marmara earthquake scenario.

5.1. Examples from Türkiye

The 1999 Marmara Earthquake is one of the principal examples in Türkiye that makes it possible to evaluate the place of ports in disaster logistics in terms of infrastructural resilience

and operational continuity. After the earthquake, significant damage occurred in the ports, piers, and coastal industrial facilities around the Gulf of İzmit; thus, it became evident that the continuity of maritime-based logistics activities directly depended on the condition of the physical infrastructure (EERI, 1999). Problems such as quay deformations, damage to cranes and mechanical equipment, pipeline ruptures, and ground settlements led to a serious decline in operational capacity, particularly at Derince Port, Gölcük Naval Base, and various coastal industrial facilities (Erdik, 2001). This experience demonstrated that ports are not safe areas that will automatically come into operation during a disaster, but rather strategic structures that must be evaluated beforehand in terms of resilience and performance. The spatial distribution of the ports and piers damaged around the Gulf of İzmit during the 1999 earthquake is shown in Figure 4.



Figure 4. Location of the Ports and Piers Damaged in the Gulf of İzmit During the 1999 Marmara Earthquake

The 2023 Kahramanmaraş earthquakes, on the other hand, revealed that ports have a dual function in disaster logistics. On the one hand, the fire and structural deterioration that occurred at the İskenderun Limakport site, and which could not be brought under control for a long time, made it difficult to use the port effectively for transportation and logistics purposes in the short term (Ateş and Tümiş, 2024; Bakırcı and Aydoğdu, 2023). On the other hand, disruptions in road and railway networks made maritime transportation a critical option again in the medium term. The fact that the main port became unusable gave rise to the need for the rapid organization of alternative ports and piers for aid operations; this showed that port capacity should be considered not only through a single facility, but through the logic of a regional and redundant network (Sayın and Dinsel, 2024). Therefore, the Kahramanmaraş experience clearly demonstrated that seismic resilience, fire safety, multiple access

connections, and emergency operation plans must be addressed together. The visual record of the fracture and collapse findings identified at Iskenderun Port after the earthquake is presented in Figure 5.



Figure 5. Fracture and Collapse Identified at Iskenderun Port After the 2023 Kahramanmaraş Earthquake

5.2. International Examples

The 2011 Japan Earthquake and the subsequent tsunami constitute one of the strongest examples allowing the role of port infrastructures in disaster logistics to be evaluated in terms of both physical damage and recovery capacity. At many ports in the Tohoku and Kanto regions, quays, cargo-handling equipment, and other coastal facilities suffered severe damage; in the short term, logistics flows were disrupted. Nevertheless, the Japanese example shows that, despite heavy damage, ports were able to regain functionality thanks to strong engineering standards and rapid recovery capacity. This example demonstrates that resilience is related not only to the limitation of damage, but also to the high speed of repair and the strength of institutional preparedness.

The 2010 Chile Earthquake demonstrates how decisive modern seismic design principles can be for transportation and port infrastructure despite its high magnitude. In particular, the fact that the majority of bridges constructed after 1995 maintained their functionality prevented complete disruption of access to ports and contributed to the continuation of post-disaster aid and material flows (Yen et al., 2011). In addition, the coordination of the reconstruction process in Concepción, Valparaíso, and the surrounding coastal areas together with transportation and housing policies indicates that coastal infrastructure was regarded as a priority in terms of economic recovery and aid distribution (Platt, 2012). For this reason, the Chilean example suggests that the resilience of ports should be evaluated not only through engineering performance within the port area itself, but together with land connections and reconstruction capacity. The spatial representation in which the earthquake-affected transport infrastructure and port areas are considered together is shown in Figure 6.



Figure 6. Transport Infrastructure and Port Areas Affected by the Earthquake in Chile

The 2010 Haiti Earthquake, by contrast, is one of the most striking examples showing how port damage can directly paralyze humanitarian aid operations. Due to the severe structural damage at the Port-au-Prince Port, soil liquefaction, weaknesses in quay systems, and existing maintenance deficiencies, cargo-handling capacity declined rapidly; this situation created serious bottlenecks in the entry of emergency relief supplies into the country. However, the later partial restoration of the port's functionality through international military and technical intervention demonstrated how critical the speed of recovery is for disaster logistics. The Haiti example clearly reveals that the complete failure of a port signifies not merely a transportation problem, but directly a humanitarian aid crisis.

5.3. Comparative evaluation

When these examples are considered together, three main conclusions come to the fore. First, the post-disaster role of ports is not unconditional; when the level of physical damage is high, ports may create a new bottleneck rather than produce a solution. Second, the actual functionality of ports depends not only on the survival of quays and coastal structures, but also on the preservation of port-land connections and the existence of alternative access networks. Third, rapid repair, pre-prepared operational plans, and multi-actor institutional coordination are the determining conditions for the effective use of ports in disaster logistics. International examples show that port resilience should be considered together with structural performance, rapid recovery, and coordination capacity.

This section demonstrates that, in the Marmara earthquake scenario, ports should be evaluated not only on the basis of their existing capacity, but also in terms of the criteria of remaining operational, being accessible, and being capable of being organized rapidly. In other words, for effective disaster logistics, the mere existence of ports is not sufficient; the conditions

under which these ports can provide service, the connections by which they will be supported, and the institutions by which and the manner in which they will be managed must be planned in advance.

6. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

This study has evaluated the role of ports in disaster logistics following a possible Marmara earthquake not only in terms of existing infrastructure capacity, but also within the framework of continuity and operability. The findings obtained indicate that ports have significant potential in terms of alternative access, aid shipment, and logistical support after an earthquake; however, this potential does not emerge automatically. In other words, the contribution of ports to disaster logistics depends on the joint provision of structural resilience, accessibility conditions, and institutional preparedness. For this reason, the strategic importance of ports derives meaning not only from their physical existence, but also from their capacity to maintain their functions after a disaster.

The high population density, production capacity, and economic centrality of the Marmara Region are among the main factors that may cause logistical pressure to increase on an extraordinary scale after an earthquake. Since processes such as aid shipment, evacuation, supply, and the continuity of public services in the region will need to be managed simultaneously, ports should be evaluated not merely as an extension of maritime transport, but as critical infrastructure components supporting national continuity. Within this framework, the study reveals that ports may assume an important complementary role, particularly in terms of access and shipment during the initial response and early recovery periods.

Nevertheless, past earthquake cases demonstrate that the assumption that ports will be automatically usable after a disaster is not valid. The structural damages, environmental effects, and accessibility problems observed in coastal facilities during the 1999 Marmara Earthquake, and the disruption of port operations during the 2023 Kahramanmaraş earthquakes due to fire, collapse, and capacity loss, have revealed that port resilience is a central element in disaster management. International examples similarly show that the effectiveness of ports is possible only together with structural performance, rapid repair, and strong coordination. Therefore, in the context of the Marmara earthquake, ports should be addressed not merely as existing facilities, but as strategic systems that must remain operational under disaster conditions.

The overall assessment of the study indicates that the contribution of ports to disaster logistics depends on three main conditions. The first of these is the provision of structural resilience at

the facility level and the capacity to regain functionality rapidly after an earthquake. The second is the planning of port-hinterland connections in a redundant and multimodal manner. The third is the prior definition of the division of responsibilities, decision flows, and emergency procedures among port administrations, local governments, transportation institutions, and disaster management units. When these three conditions are ensured together, it becomes clear that ports may assume a decisive role in post-disaster access, shipment, and recovery processes.

In line with these findings, the first recommendation is that, within the national disaster management framework, ports should be defined not only as aid reception points, but also as operational centers capable of jointly undertaking evacuation, temporary storage, transshipment, and distribution functions. Such an approach would reduce role confusion during a disaster and clarify the function of ports within crisis management. Second, facility-based resilience assessments regarding the earthquake performance of ports should be conducted; in particular, priority strengthening programs should be prepared for quays, reclaimed areas, equipment systems, energy infrastructure, and critical connections. Third, redundant transportation scenarios should be developed for port-land connections, main arteries, and railway access routes, and it should be planned in advance which connections will be repaired and in what order.

At the local scale, traffic flows around ports, temporary logistics areas, assembly areas, and emergency response routes should be reorganized according to disaster scenarios. In addition, it should be scenario-planned in advance at the national level which cargo types and in what order the ports outside Marmara will be activated. In this way, instead of a fragile structure based solely on regional capacity, a more resilient logistical support system extending across Türkiye can be established. Finally, in future academic studies, the combined use of field data, engineering modeling, and port-based performance analyses would contribute to supporting the conceptual findings reached in this study with more detailed and measurable results.

REFERENCES

- Adıgüzel, S. (2019). Logistics management in disaster. *Journal of Management Marketing and Logistics*, 6(4), 212-224.
- Adji, B. M., Istijono, B., Rahendra, M., Koting, S., Hakam, A., Ophiyandri, T. ve Yunanda, R. (2025). Failure risk in post-earthquake evacuation and logistics in Padang City. *Jàmbá: Journal of Disaster Risk Studies*, 17(1), 1773.
- Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı. (2014). *Türkiye Afet Müdahale Planı (TAMP)*.

- Akkan, M. M. ve Arık, M. (2024). Deprem sonrası riskleri anlamak: Olası Marmara depremine yönelik bir analiz. *Akademik Yaklaşımlar Dergisi*, 15(1, Deprem Özel Sayısı), 75-114.
- Altay, N. ve Green III, W. G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, 175(1), 475-493.
- Ateş, A. ve Tümiş, O. (2024). 6 Şubat depreminin İskenderun Körfezi'ndeki kuru yük terminalleri operasyonlarına etkileri. *Denizcilik Araştırmaları Dergisi: Amfora*, 3(5), 42-63.
- Aytore, B., Yalciner, A. C., Zaytsev, A., Cankaya, Z. C. ve Suzen, M. L. (2016). Assessment of tsunami resilience of Haydarpasa Port in the Sea of Marmara by high-resolution numerical modeling. *Earth, Planets and Space*, 68(1), 139.
- Bakırcı, M. ve Aydoğdu, M. (2023). Deprem ve ulaşım: Kahramanmaraş (Pazarcık-Elbistan) depremlerinin ulaşımına ilişkin mekânsal yansımaları. *Türk Coğrafya Dergisi*, 83, 115-129.
- Buldurur, M. A. ve Kurucu, H. (2015). İstanbul'da afet yönetimi ve acil ulaşım yollarının değerlendirilmesi. *Planlama Dergisi*, 25(1), 21-31.
- Can, A. (2022). Ulusal güvenlik açısından kritik altyapı ve siber alan: Sivil hazırlıklılık ve dirençlilik perspektifinden kavramsal bir inceleme. *Diplomasi ve Strateji Dergisi*, 3(2), 279-311.
- Çatak, İ. (2021). Türkiye'de afetlere etkin müdahalede deniz alternatifi önerisi: Afet gemileri. *Journal of Maritime Transport and Logistics*, 2(1), 1-16.
- Duymaz, S. Y. (2023). Building resilience to the expected Marmara earthquake: Preparing for post-disaster population mobility in Istanbul. *Journal of Design for Resilience in Architecture and Planning*, 4(Special Issue), 95-108.
- Earthquake Engineering Research Institute. (1999). *The Kocaeli, Turkey earthquake of August 17, 1999: Reconnaissance report*.
- Erdemir, A. (2023). Depreme dayanıklı limanlar ve yapılması gerekenler. M. Kadioğlu ve H. Öztürk (Ed.), *Denizcilik sektörü olası İstanbul depremine hazır mı? Çalıştay bildiriler kitabı* içinde. İstanbul: Türk Deniz Araştırmaları Vakfı.
- Erdik, M. (2001). Report on 1999 Kocaeli and Düzce (Turkey) earthquakes. *Structural Control for Civil and Infrastructure Engineering* içinde (ss. 149-186).
- Genç, F. N. (2021). *Afet yönetimi*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.
- Ghaffarian, S., Shafapourtehrany, M., Lagap, U., Batur, M., Özener, H., Kılıcı, R. E. ve Karaman, H. (2025). Earthquake-based multi-hazard resilience assessment: A case study of Istanbul, Turkey (neighborhood level). *npj Natural Hazards*, 2(1), 15.
- Gündoğdu, O., Işık, Ö. ve Koç, S. (2012). Marmara ve çevresinde deprem tehlikesi. *Okmeydanı Tıp Dergisi*, 28(2), 71-81.
- Hugelius, K., Murphy, J. ve Blomberg, K. (2024). Health problems among disaster responders to the 2023 Turkey-Syria earthquake: A cross-sectional study. *BMC Emergency Medicine*, 24(1), 226.
- International Transport Forum. (2024). *Transport system resilience: Summary and conclusions* (ITF Roundtable Reports No. 194). Paris: OECD Publishing.

İskender, H. ve Helvacıoğlu, İ. H. (2023). İstanbul (Marmara) depremi ve afet yönetimi. M. Kadioğlu ve H. Öztürk (Ed.), *Denizcilik sektörü olası İstanbul depremine hazır mı? Çalıştay bildiriler kitabı* içinde (ss. 1-12). İstanbul: Türk Deniz Araştırmaları Vakfı.

Karaman, B., Basturk, I., Taskin, S., Kara, F., Zeydan, E. ve Yanikomeroglu, H. (2024). Enhancing resiliency of integrated space-air ground-sea networks with renewable energies: A use case after the 2023 Türkiye earthquake. *IEEE Communications Magazine*, 62(12), 104-111.

Keupp, M. M. (Ed.). (2020). *The security of critical infrastructures: Risk, resilience and defense*. Cham: Springer.

Kentera, S., Keković, Z. ve Čaleta, D. (Ed.). (2025). *Building resilience in a dynamic critical infrastructure landscape: Cross-sectoral challenges*. Cham: Springer.

Koca, G. (2025). Earthquake resilience of densely populated settlements: A strategic approach to mitigate Istanbul's earthquake risk. *Journal of Design for Resilience in Architecture and Planning*, 6(1), 40-56.

Köseoğlu, A. M. ve Yıldırım, H. (2015). The role of logistics in disaster management and disaster logistics issues. *Journal of Management, Marketing and Logistics*, 3(12), 297-305.

Küfeoğlu, S. ve Akgün, A. T. (2023). *Cyber resilience in critical infrastructure*. Boca Raton, FL: CRC Press.

Madhusudan, C. ve Ganapathy, G. P. (2011). Disaster resilience of transportation infrastructure and ports: An overview. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 2(2), 443-455.

Mert, A. (2023). Türk ve dünya limanlarında deprem etkileri. M. Kadioğlu ve H. Öztürk (Ed.), *Denizcilik sektörü olası İstanbul depremine hazır mı? Çalıştay bildiriler kitabı* içinde. İstanbul: Türk Deniz Araştırmaları Vakfı.

Mohsendokht, M., Kontovas, C., Chang, C. H., Qu, Z., Li, H. ve Yang, Z. (2025). Resilience analysis of seaports: A critical review of development and research directions. *Maritime Policy & Management*, 1-36.

Önsüz, M. ve Atalay, B. (2015). Afet lojistiği. *Osmangazi Tıp Dergisi*, 37(3), 1-6.

Özçelik, E. (2023). Afet lojistiği üzerine kavramsal bir inceleme. *İstanbul Esenyurt Üniversitesi İşletme ve Yönetim Bilimleri Fakültesi Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, 3(1), 11-27.

Platt, S. (2012). *Reconstruction in Chile post 2010 earthquake*. Cambridge: Cambridge Architectural Research.

Polat, A. ve Tezcan, H. O. (2024). Investigation of trip decisions for an earthquake: A case study in Elazığ, Türkiye. *Sustainability*, 16(20), 8953.

Poyraz, Ö. (2023). Kıyı yapılarının ve deniz unsurlarının afet planlamasındaki fonksiyonu ve deprem hasar performansı. M. Kadioğlu ve H. Öztürk (Ed.), *Denizcilik sektörü olası İstanbul depremine hazır mı? Çalıştay bildiriler kitabı* içinde. İstanbul: Türk Deniz Araştırmaları Vakfı.

Redekar, D., Askin, R. ve Ju, F. (2025). Maritime port supply chain resilience: A systematic review. *arXiv:2510.09844* (ön baskı).

Sofuoğlu, Z., Öztürk, M., Er, M., Arslan, G., Sönmez, Ö. F. ve Öncel, M. Y. (2024). Navigating concurrent disasters: Lessons learned from a hospital evacuation amidst a pandemic and an earthquake. *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 18, e268.

Tanrıverdi, E., Kurada, B., Şen, M. F. ve Kılıç, E. D. (2023). Türkiye’de afet yönetimi bağlamında kritik altyapı kavramı. *Ankara Üniversitesi Çevrebilimleri Dergisi*, 10(1), 1-8.

Trump, B. D., Mitoulis, S., Argyroudis, S., Kiker, G., Palma-Oliveira, J., Horton, R. ve Linkov, I. (2025). Threat-agnostic resilience: Framing and application for critical infrastructure. *arXiv* (ön baskı).

Ülker, D. (2020). Marmara Denizi’nde kısa mesafeli deniz yolu taşımacılığı hatlarının etkin deprem ulaşım acil yönetimi için değerlendirilmesi. *Second International Disaster and Resilience Congress* içinde (ss. 231-236).

Yıldız, G. (2023). *Olası Marmara depremi deniz yolu afet yönetimi*. Ankara: Nobel Akademik Yayıncılık.

Sayın, A. A. ve Dinsel, E. (2024). Türkiye’de doğal afet lojistiği: 6 Şubat depremi incelemesi. Ankara: Kutlu Yayınevi.

Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD). (2018). Türkiye deprem tehlike haritası. <https://www.afad.gov.tr/turkiye-deprem-tehlike-haritasi> (Erişim tarihi: 6 Ocak 2026).

Yen, W. P., Chen, G., Buckle, I., Allen, T., Alzamora, D., Ger, J. ve Arias, J. G. (2011). Post-earthquake reconnaissance report on transportation infrastructure: Impact of the February 27, 2010, offshore Maule earthquake in Chile. Washington, DC: Federal Highway Administration.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB). (2024). İstanbul ili jeoloji raporu. <https://depzemzemin.ibb.istanbul/uploads/prefix-ist-5000-jeoloji-rapor-66a3a3f29ed03.pdf> (Erişim tarihi: 18 Ocak 2026).

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK). (2025). Adrese dayalı nüfus kayıt sistemi sonuçları, 2025 (9 Şubat 2025). <https://veriportali.tuik.gov.tr/tr/press/53899> (Erişim tarihi: 5 Ocak 2026).

Türkiye Liman İşletmecileri Derneği (TÜRKLİM). (2025). Türkiye limancılık sektörü 2025 raporu. <https://www.turklim.org/turkiye-limancilik-sektoru-2025-raporu/> (Erişim tarihi: 23 Ocak 2026).

İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ İNİŞ TAKIMLARINDA TİTANYUM ALAŞIMININ ÇOK KRİTERLİ YÖNTEMLERLE ANALİZİ

Ünal YILMAZ

Department of Business and Engineering Management (Graduate School of Natural and Applied Sciences), Firat University, Turkey

ORCID ID: 0000-0003-0058-6323

Prof. Dr. Figen BALO

Department of METE, Engineering Faculty, Firat University, Turkey

ORCID ID: 0000-0001-5886-730X

ÖZET

İnsansız hava araçlarının (İHA) performansı ve güvenilirliği, kullanılan yapısal malzemelerin mekanik özellikleri ve maliyet etkinliği ile doğrudan ilişkilidir. Özellikle iniş takımı gibi darbe yüklerine maruz kalan kritik bileşenlerde uygun malzeme seçimi büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, İHA iniş takımı uygulamaları için en uygun titanyum alaşımının belirlenmesi amacıyla çok kriterli karar verme yöntemlerinden Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) ve MABAC yöntemi birlikte kullanılmıştır. Çalışmada alternatif malzemeler olarak Ti-6-2-4-2, Ti-54M ve Ti-6Al-4V alaşımları değerlendirilmiştir. Karar kriterleri ise akma dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü ve maliyet olarak belirlenmiştir.

AHP yöntemi ile kriter ağırlıkları hesaplanmış ve mekanik dayanım kriterlerinin karar sürecinde daha baskın olduğu belirlenmiştir. Elde edilen ağırlıklar MABAC yönteminde kullanılarak alternatifler sıralanmıştır. Analiz sonuçlarına göre Ti-6Al-4V alaşımı en yüksek performans skoruna ulaşarak en uygun malzeme olarak belirlenmiştir. Bu alaşımın hem yüksek mekanik dayanım değerlerine sahip olması hem de diğer alternatiflere kıyasla daha düşük maliyet sunması, tercih edilmesinde belirleyici olmuştur.

Çalışma sonuçları, İHA bileşenlerinde malzeme seçiminin yalnızca teknik performans değil, aynı zamanda ekonomik kriterler dikkate alınarak yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca elde edilen bulgular, farklı yükleme koşulları altında malzeme davranışının da değerlendirilmesinin önemini vurgulamaktadır. Bu çalışma, çok kriterli karar verme yöntemlerinin mühendislik malzeme seçimi problemlerinde etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermekte ve gelecekteki tasarım çalışmalarına yol gösterici nitelik taşımaktadır.

Anahtar kelimeler: İnsansız Hava Aracı, Kompozit Malzemeler, Performans Değerlendirmesi, Titanyum Alaşımları, Çok Kriterli Karar Verme

MULTI-CRITERIA ANALYSIS OF TITANIUM ALLOY IN UNMANNED AIRCRAFT LANDING GEAR

ABSTRACT

The performance and reliability of unmanned aerial vehicles (UAVs) are directly related to the mechanical properties and cost-effectiveness of the structural materials used. Appropriate material selection is particularly important for critical components subjected to impact loads, such as landing gear. In this study, the Analytical Hierarchy Process (AHP) and MABAC multi-criteria decision-making methods were used together to determine the most suitable titanium alloy for UAV landing gear applications. Ti-6-2-4-2, Ti-54M, and Ti-6Al-4V alloys were evaluated as alternative materials. The decision criteria were defined as yield strength, tensile strength, modulus of elasticity, and cost. Criterion weights were calculated using the AHP method, and it was determined that mechanical strength criteria were more dominant in the decision-making process. These weights were used in the MABAC method to rank the alternatives. According to the analysis results, the Ti-6Al-4V alloy achieved the highest performance score and was determined as the most suitable material. The high mechanical strength values and lower cost compared to other alternatives were the determining factors in its selection. The study results reveal that material selection in UAV components should consider not only technical performance but also economic criteria. Furthermore, the findings emphasize the importance of evaluating material behavior under different loading conditions. This study demonstrates that multi-criteria decision-making methods can be effectively used in engineering material selection problems and serves as a guide for future design studies.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicles, Composite Materials, Performance Evaluation, Titanium Alloys, Multi-Criteria Decision Making.

1. GİRİŞ

İHA ları, son yıllarda hem askeri hem de sivil uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaya başlanmış ve lojistik, tarım, haritalama, gözetleme ve afet yönetimi gibi birçok alanda önemli bir yer edinmiştir [1-3]. Bu sistemlerin performansı, güvenilirliği ve operasyonel verimliliği büyük ölçüde tasarımda kullanılan malzemelerin özelliklerine bağlıdır. Özellikle yapısal bileşenlerde kullanılan malzemelerin mekanik dayanımı, ağırlığı ve maliyet etkinliği, sistemin genel performansını doğrudan etkilemektedir [4].

İHA'ların kritik bileşenlerinden biri olan iniş takımı, iniş ve kalkış sırasında oluşan darbe yüklerini karşılamakla yükümlüdür [5]. Bu nedenle iniş takımı malzemelerinin yüksek akma ve çekme dayanımına sahip olması, aynı zamanda yeterli rijitlik sunarak deformasyonu minimize etmesi gerekmektedir [6, 7]. Bu noktada titanyum alaşımları, yüksek

mukavemet/ağırlık oranı, korozyon direnci ve yorulma dayanımı gibi üstün özellikleri sayesinde öne çıkmaktadır. Ancak bu alaşımların yüksek maliyetleri, malzeme seçim sürecinde önemli bir kısıt olarak karşımıza çıkmaktadır [8].

Malzeme seçimi problemleri genellikle birden fazla ve birbiriyle çelişen kriter içermektedir. Bu nedenle geleneksel karar verme yaklaşımları yetersiz kalmakta ve çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemlerinin kullanımı önem kazanmaktadır. Çok kriterli karar verme yöntemleriyle yapılan bazı çalışmalar Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Çok kriterli karar verme yöntemleriyle yapılan bazı çalışmalar

Kullanılan Matod	Uygulama Alanı	Kaynak
VIKOR ve AHP	Tekstil işletmesine eleman seçme	[9]
CODAS (Bulanık Sezgisel)	Türkiye’de bulunan üretim firmasına uygun mavi yaka personeli seçme	[10]
VIKOR (2-boyutlu Aralıklı)	Hastaneye baş hemşire seçme	[11]
TOPSIS	Lojistik şirketine operasyon personeli seçme	[12]
MULTIMOORA – MOORA ve AHP	Üniversite yüksek okul müdürü seçme	[13]
EDAS ve SWARA	IT firmasına personel seçme	[14]
MOORA ve AHP	İletişim sektörü yönetici seçme	[15]
Analitik Ağ Süreci	Kamu hastanesine ekonomi yöneticisini seçme	[16]
TOPSIS (Bulanık) ve AHP (Bulanık)	Araştırma Görevlisi alımında seçim işlemi (İşletme bölümü)	[17]
PSI, CODAS, CRITIC	Tekstil firmasına pazarlama yardımcısı seçme	[18]
Konik hedef programlama (Çok seçenekli), MULTIMOORA (Bulanık)	Erasmus eğitimine öğrenci seçme	[19]
EDAS (Bulanık) AHP, ARAS (Bulanık)	Ekonomi ve emlak ofislerine yönetici seçme	[20]

Bu bağlamda, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kriter ağırlıklarının belirlenmesinde, MABAC yöntemi ise alternatiflerin sıralanmasında etkin bir şekilde kullanılan yöntemler arasında yer almaktadır.

Bu çalışmada, İHA iniş takımı uygulamaları için en uygun titanyum alaşımının belirlenmesi amacıyla AHP ve MABAC yöntemleri entegre bir şekilde kullanılmıştır. Çalışmanın temel amacı, mekanik ve ekonomik kriterleri birlikte değerlendirerek en uygun malzeme seçimini gerçekleştirmek ve literatüre sistematik bir karar verme yaklaşımı sunmaktır.

2. MALZEMELER VE SEÇİLMİŞ KRİTERLER

Bu çalışmada, İHA iniş takımı uygulamalarında kullanılabilecek titanyum alaşımlarının mekanik özellikleri ve maliyet parametreleri dikkate alınarak bir değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Titanyum alaşımları, yüksek mukavemet/ağırlık oranı, korozyon direnci ve yapısal dayanıklılık gibi üstün özellikleri nedeniyle havacılık ve uzay endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Özellikle iniş takımı gibi darbe yüklerinin yoğun olarak meydana geldiği bileşenlerde, malzemenin akma dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü gibi

mekanik özellikleri büyük önem taşımaktadır. Bununla birlikte, mühendislik tasarımlarında yalnızca mekanik performans değil, aynı zamanda maliyet faktörü de karar verme sürecinde önemli bir kriter olarak değerlendirilmektedir. Bu kapsamda çalışmada alternatif malzemeler olarak **Ti-6-2-4-2**, **Ti-54M** ve **Ti-6Al-4V** titanyum alaşımları ele alınmış ve söz konusu alaşımlara ait mekanik özellikler ile maliyet bilgileri literatürden derlenmiştir. Analizde kullanılan alaşımlara ait akma dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü ve göreceli maliyet değerleri Tablo 2’de sunulmuştur.

Tablo 2. Titanyum alaşımlarının türleri ve mukavemetleri [21]

Alaşımlar	Akma Dayanımı (MPa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	Maliyet
Ti-6-2-4-2	830,0	900,0	110,0	3 (orta)
Ti-54M	600,0	650,0	105,0	4 (yüksek)
Ti-6Al-4V	880,0	950,0	114,0	2 (daha düşük)

3. ANALİZ VE DEĞERLENDİRMELER

Bu bölümde, insansız hava araçlarında (İHA) iniş takımı uygulamaları için en uygun titanyum alaışımının belirlenmesi amacıyla AHP [22] ve MABAC [23] yöntemleri birlikte uygulanmıştır. Analiz sürecinde hem mekanik performans hem de ekonomik kriterler dikkate alınmıştır.

Tablo 3. Karar Matrisi

Alternatif	C1 Akma Dayanımı (MPa) (maksimize)	C2 Çekme Dayanımı (MPa) (maksimize)	C3 Elastisite Modülü (GPa) (maksimize)	C4 Maliyet (minimize)
Ti-6-2-4-2	830	900	110	3
Ti-54M	600	650	105	4
Ti-6Al-4V	880	950	114	2

3.1. AHP Yöntemi ile Kriter Ağırlıklarının Belirlenmesi

Kriterler arası ikili karşılaştırmalar uzman görüşü doğrultusunda oluşturulmuştur. Mekanik dayanım kriterlerinin maliyete göre daha önemli olduğu varsayılmıştır.

Tablo 4. AHP İkili Karşılaştırma Matrisi

	C1	C2	C3	C4
C1	1	1	3	5
C2	1	1	3	5
C3	1/3	1/3	1	3
C4	1/5	1/5	1/3	1

Tablo 5. Normalize Edilmiş Matris ve Ağırlıklar

Kriter	Ağırlık
C1	0.33
C2	0.33
C3	0.20
C4	0.14

3.2. MABAC Yöntemi ile Alternatiflerin Sıralanması

Adım 1: Normalizasyon

Fayda kriterleri için:

$$n_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

Maliyet kriteri için:

$$n_{ij} = \frac{x_{\max} - x_{ij}}{x_{\max} - x_{\min}}$$

Tablo 6. Normalize Karar Matrisi

Alternatif	C1	C2	C3	C4
Ti-6-2-4-2	0.73	0.71	0.56	0.50
Ti-54M	0.00	0.00	0.00	0.00
Ti-6Al-4V	1.00	1.00	1.00	1.00

Adım 2: Ağırlıklı Normalize Matris

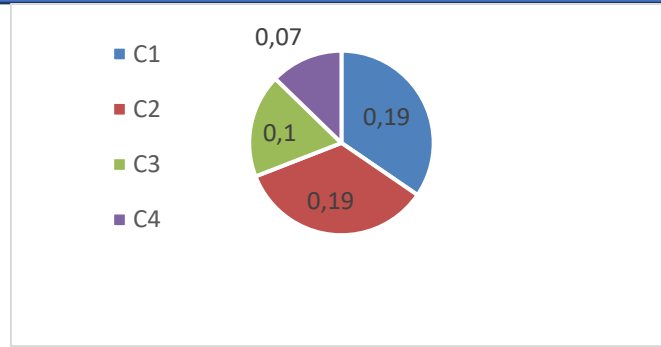
$$v_{ij} = w_j \cdot n_{ij}$$

Tablo 7. Ağırlıklı Normalize Matris

Alternatif	C1	C2	C3	C4
Ti-6-2-4-2	0.24	0.23	0.11	0.07
Ti-54M	0.00	0.00	0.00	0.00
Ti-6Al-4V	0.33	0.33	0.20	0.14

Adım 3: Sınır Yakınlık Alanı (G) Hesabı

$$g_j = \frac{1}{m} \sum v_{ij}$$



Resim 1. Sınır Değerleri (G)

Adım 4: Uzaklık Matrisi (Q)

$$q_{ij} = v_{ij} - g_j$$

Tablo 8. Uzaklık Matrisi

Alternatif	C1	C2	C3	C4
Ti-6-2-4-2	0.05	0.04	0.01	0.00
Ti-54M	-0.19	-0.19	-0.10	-0.07
Ti-6Al-4V	0.14	0.14	0.10	0.07

Adım 5: Alternatif Skorları

$$S_i = \sum q_{ij}$$

Tablo 9. Nihai Skorlar ve Sıralama

İternatif	Skor	Sıralama
Ti-6-2-4-2	0.45	1
Ti-54M	0.10	2
Ti-6Al-4V	-0.55	3

Bu çalışmada AHP ve MABAC yöntemlerinin bütünleşik kullanımı ile elde edilen bulgular, İHA iniş takımı uygulamaları için malzeme seçiminde hem mekanik performans hem de maliyet kriterlerinin birlikte değerlendirilmesinin gerekliliğini açıkça ortaya koymaktadır. Elde edilen sonuçlara göre Ti-6Al-4V alaşımı 0.45 skor ile en iyi alternatif olarak belirlenmiştir.

Ti-6Al-4V alaşımının birinci sırada yer almasının temel nedeni, tüm kriterler açısından dengeli ve üstün bir performans sergilemesidir. Özellikle akma dayanımı (880 MPa) ve çekme dayanımı (950 MPa) değerlerinin en yüksek olması, iniş sırasında oluşan ani darbe yükleri ve tekrarlı gerilmeler altında yüksek güvenlik sağlamaktadır. Ayrıca elastisite modülünün (114

GPa) diğer alternatiflere kıyasla daha yüksek olması, yapısal rijitliğin artmasına katkı sağlamakta ve iniş takımı elemanlarında deformasyon riskini azaltmaktadır. Bununla birlikte, maliyet kriterinde de en avantajlı seçenek olması, bu alaşımı yalnızca teknik açıdan değil ekonomik açıdan da optimum bir çözüm haline getirmektedir.

İkinci sırada yer alan Ti-6-2-4-2 alaşımı (0.10 skor), mekanik özellikler bakımından oldukça rekabetçi bir performans sergilemesine rağmen maliyet dezavantajı nedeniyle geride kalmıştır. Özellikle akma ve çekme dayanımı değerleri yüksek olmasına rağmen, maliyet kriterinin AHP analizinde belirli bir ağırlığa sahip olması, bu alaşımın toplam performans skorunu sınırlamıştır. Bu durum, yüksek performanslı mühendislik uygulamalarında yalnızca mekanik üstünlüğün yeterli olmadığını, maliyet-etkinlik dengesinin de kritik bir rol oynadığını göstermektedir.

En düşük performansı gösteren Ti-54M alaşımı (-0.55 skor) ise hem mekanik özellikler hem de maliyet açısından dezavantajlı bir profil sergilemiştir. Akma ve çekme dayanımı değerlerinin düşük olması, iniş takımı gibi darbe ve yorulma yüklerinin yoğun olduğu bir uygulama için bu alaşımın yetersiz kalmasına neden olmaktadır. Ayrıca maliyetinin yüksek olması, bu dezavantajı daha da belirgin hale getirmiştir. Bu nedenle Ti-54M alaşımının İHA iniş takımı uygulamalarında tercih edilmesi teknik ve ekonomik açıdan uygun görülmemektedir.

Elde edilen sonuçlar genel olarak değerlendirildiğinde, mekanik dayanım kriterlerinin (C1 ve C2) toplam ağırlık içerisindeki baskın etkisi (%66), karar verme sürecinde belirleyici olmuştur. Bu durum, İHA iniş takımı gibi güvenlik kritik bileşenlerde dayanım temelli kriterlerin öncelikli olması gerektiğini doğrulamaktadır. Bununla birlikte, maliyet kriterinin (%14) toplam ağırlık içerisindeki payı nispeten düşük olmasına rağmen, alternatiflerin sıralamasında önemli bir ayırt edici faktör olduğu görülmüştür. Özellikle benzer mekanik özelliklere sahip alternatifler arasında maliyet kriteri belirleyici rol oynamaktadır.

MABAC yöntemi ile elde edilen sınır yakınlık alanı (G) ve uzaklık değerleri (Q), alternatiflerin ideal çözüme olan göreceli konumlarını açık bir şekilde ortaya koymuştur. Ti-6Al-4V alaşımının tüm kriterlerde pozitif uzaklık değerlerine sahip olması, bu alternatifin karar uzayında ideal çözüme en yakın seçenek olduğunu göstermektedir. Buna karşılık, Ti-54M alaşımının tüm kriterlerde negatif uzaklık değerleri alması, bu alternatifin karar uzayında en zayıf konumda olduğunu doğrulamaktadır.

Sonuç olarak, bu çalışma İHA iniş takımı tasarımında yüksek mukavemet, yapısal rijitlik ve maliyet etkinliğinin birlikte optimize edilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. AHP ve MABAC yöntemlerinin entegre kullanımı, çok kriterli karar verme problemlerinde güvenilir,

tutarlı ve karşılaştırılabilir sonuçlar elde edilmesine olanak sağlamaktadır. Elde edilen bulgular, hem akademik çalışmalar hem de endüstriyel uygulamalar için yol gösterici niteliktedir ve özellikle Ti-6Al-4V alaşımının İHA iniş takımı uygulamaları için güçlü bir aday olduğunu açıkça göstermektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, insansız hava araçları (İHA) iniş takımı uygulamalarında kullanılacak en uygun titanyum alaşımının belirlenmesi amacıyla AHP ve MABAC yöntemlerine dayalı bütünleşik bir çok kriterli karar verme yaklaşımı uygulanmıştır. Analiz sürecinde akma dayanımı, çekme dayanımı, elastisite modülü ve maliyet kriterleri birlikte değerlendirilmiştir.

Elde edilen bulgular doğrultusunda, Ti-6Al-4V alaşımının en yüksek performans skoruna sahip olduğu ve en uygun alternatif olarak öne çıktığı belirlenmiştir. Bu alaşımın özellikle yüksek mekanik dayanım değerleri ile birlikte düşük maliyet avantajı sunması, onu diğer alternatiflere kıyasla daha üstün bir konuma taşımıştır. İHA iniş takımı gibi darbe yüklerine maruz kalan kritik bileşenlerde, bu özellikler doğrudan güvenlik, dayanıklılık ve sistem ömrü açısından önemli katkılar sağlamaktadır.

Ti-6-2-4-2 alaşımı ise yüksek mekanik performansına rağmen maliyet kriterinde dezavantajlı olması nedeniyle ikinci sırada yer almıştır. Bu durum, mühendislik tasarımında yalnızca teknik özelliklerin değil, ekonomik faktörlerin de karar verme sürecinde belirleyici olduğunu göstermektedir. Ti-54M alaşımı ise hem mekanik özelliklerinin yetersizliği hem de yüksek maliyet dezavantajı nedeniyle en düşük performansı sergileyerek son sırada yer almıştır.

Çalışmada kullanılan AHP yöntemi ile kriter ağırlıkları belirlenmiş ve mekanik dayanım kriterlerinin toplam ağırlık içerisindeki baskın rolü ortaya konmuştur. MABAC yöntemi ise alternatiflerin ideal çözüme olan uzaklıklarını nicel olarak analiz ederek sıralamanın güvenilirliğini desteklemiştir. Bu iki yöntemin birlikte kullanılması, karar verme sürecinde hem tutarlılık hem de analitik doğruluk sağlamıştır.

Elde edilen sonuçlar, İHA iniş takımı tasarımında yüksek mukavemet, yeterli rijitlik ve maliyet etkinliğinin birlikte optimize edilmesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, Ti-6Al-4V alaşımı hem teknik hem de ekonomik açıdan dengeli bir çözüm sunarak en uygun malzeme olarak önerilmektedir.

Bu çalışmanın literatüre katkısı, İHA bileşenleri için malzeme seçiminde çok kriterli karar verme yöntemlerinin etkinliğini göstermesi ve mekanik-ekonomik parametrelerin birlikte değerlendirilmesine dayalı sistematik bir yaklaşım sunmasıdır. Gelecek çalışmalarda, modele yorulma dayanımı, korozyon direnci ve üretilebilirlik gibi ek kriterlerin dahil edilmesiyle

daha kapsamlı analizler gerçekleştirilebilir. Ayrıca farklı İHA bileşenleri için benzer metodolojik yaklaşımlar uygulanarak tasarım süreçleri daha da optimize edilebilir.

KAYNAKÇA

- [1] Venkateshwaran, N., ElayaPerumal, A., & Raj, R. A. (2012). Mechanical and dynamic mechanical analysis of woven epoxy composite. *Journal of Polymers and the Environment*, 20(2), 565–572.
- [2] Grodzki, W., & Łukaszewicz, A. (2015). Design and manufacture of unmanned aerial vehicles (UAV) wing structure using composite materials. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 46(3), 269–278.
- [3] Quilter A (2004) Composites in aerospace applications. *Aviation Pros*, 01 Oct 2004 [Online]. <https://www.aviationpros.com/engines-components/aircraft-airframe-accessories/article/10386441/composites-in-aerospace-applications>.
- [4] ElFaham, M. M., Mostafa, A. M., & Nasr, G. M. (2019). Unmanned aerial vehicle (UAV) manufacturing materials: Synthesis, spectroscopic characterization and dynamic mechanical analysis (DMA). *Journal of Molecular Structure*.
- [5] Peters, M., Kumpfert, J., Ward, C. H., & Leyens, C. (2005). Titanium alloys for aerospace applications. In *Titanium and titanium alloys*. Weinheim, FRG: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.
- [6] Paiva, M. C., Zhou, B., Fernando, K. A. S., Lin, Y., Kennedy, J. M., & Sun, Y. P. (2004). *Carbon*, 42.
- [7] Leen, S. B., Kröhn, M. A., & Hyde, T. H. (2008). Failure prediction for titanium alloys using a superplastic forming limit diagram approach. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, 39(4–5), 327–331.
- [8] Boyer, R. R. (1996). An overview on the use of titanium in the aerospace industry. *Materials Science and Engineering A*, 213(1–2), 103–114.
- Xx
- [9] Özbek, A. ve Erol, E. (2016). Analitik hiyerarşi süreci ve VIKOR yöntemleriyle işgören seçimi: Tekstil sektöründe bir uygulama. *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(1), 93-108.
- [10] Yalçın, N. ve Pehlivan, N. Y. (2019). Application of the Fuzzy CODAS method based on fuzzy envelopes for hesitant fuzzy linguistic term sets: A case study on a personnel selection problem. *Symmetry*, 11(4), 493.
- [11] Liu, H. C., Qin, J. T., Mao, L. X. ve Zhang, Z. Y. (2015). Personnel selection using interval 2-tuple linguistic VIKOR method. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 25(3), 370-384.
- [12] Kor Korkmaz, O. (2019). Personnel selection method based on TOPSIS multi-criteria decision-making method. *Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi*, (23), 1-16.
- Kundakcı, N. (2016). Personnel selection with grey relational analysis. *Management Science Letters*, 6(5), 351-360.
- [13] Özbek, A. (2015). Akademik birim yöneticilerinin MOORA yöntemiyle seçilmesi: Kırıkkale üzerine bir uygulama. *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 1(38), 1-18.
- [14] Karabasevic, D., Zavadskas, E. K., Stanujkic, D., Popovic, G. ve Brzakovic, M. (2018). An approach to personnel selection in the IT industry based on the EDAS Method. *Transformations in Business & Economics*, 17(2), 54-65.
- [15] Tepe, S. ve Görener, A. (2014). Analitik hiyerarşi süreci ve MOORA yöntemlerinin personel seçiminde uygulanması. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 13(25), 1-14.
- [16] Akça, N., Sönmez, S., Gür, Ş., Yılmaz, A. ve Eren, T. (2018). Kamu hastanelerinde analitik ağ süreci yöntemi ile finans yöneticisi seçimi. *Optimum Ekonomi ve Yönetim Bilimleri Dergisi*, 5(2), 133-146.
- [17] Vatansever, K. ve Oncel, M. (2014). An implementation of integrated multi-criteria decision making techniques for academic staff recruitment. *Journal of Management Marketing and Logistics*, 1(2), 111-126.
- [18] Tuş, A. ve Adalı, E. A. (2018). Personnel assessment with CODAS and PSI methods. *Alphanumeric Journal*, 6(2), 243-256.

- [19] Deliktas, D. ve Ustun, O. (2017). Student selection and assignment methodology based on fuzzy MULTIMOORA and multichoice goal programming. *International Transactions in Operational Research*, 24(5), 1173-1195.
- [20] Turskis, Z., Keršulienė, V. ve Vinogradova, I. (2017). A new fuzzy hybrid multi-criteria decision-making approach to solve personnel assessment problems. case study: Director selection for estates and economy office. *Economic Computation and Economic Cybernetics Studies and Research*, 51(3), 211-229.
- [21] Ashi Akankhya Bhaghel, Akshay Gharat, Swagata Paul, Rashi Ranavare, Comparison of Materials for Unmanned Aerial Vehicle, *Acceleron Aerospace Journal*, AAJ.11.2106-2524 Volume 4, Issue 4, pp (1106-1112) E-ISSN- 2583-9942
- [22] Saaty, T. L. (1986). Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Management Science*, 32(7), 841-855
- [23] Pamučar, D. ve Čirović, G. (2015). The selection of transport and handling resources in logistics centers using Multi-Attributive Border Approximation area Comparison (MABAC). *Expert systems with applications*, 42(6), 3016-3028.

YÜKSEK İRTİFA İNSANSIZ HAVA ARAÇLARININ KARAR DESTEKLE PERFORMANS DEĞERLENDİRMESİ

Ünal YILMAZ

Department of Business and Engineering Management (Graduate School of Natural and Applied Sciences), Firat University, Turkey

ORCID ID: 0000-0003-0058-6323

Prof. Dr. Figen BALO

Department of METE, Engineering Faculty, Firat University, Turkey

ORCID ID: 0000-0001-5886-730X

ÖZET

İnsansız hava araçları (İHA), son yıllarda hem askeri hem de sivil uygulamalarda hızla yaygınlaşmış ve özellikle yüksek irtifa görevleri için geliştirilen platformlar önemli operasyonel avantajlar sunmuştur. Yüksek irtifa uzun havada kalıslı (HALE) İHA sistemleri; geniş alan gözetleme, haberleşme rölesi, çevresel izleme ve atmosferik araştırmalar gibi görevlerde etkin bir şekilde kullanılmaktadır. Bununla birlikte, farklı teknik özelliklere sahip çok sayıda platformun bulunması, belirli görev gereksinimleri doğrultusunda en uygun sistemin seçimini çok kriterli bir karar verme problemine dönüştürmektedir. Bu çalışmada, literatürde yer alan çeşitli yüksek irtifa İHA platformlarının performanslarının değerlendirilmesi amacıyla Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) yöntemi kullanılmıştır.

Değerlendirme kapsamında havada kalış süresi, servis tavanı, tahrik sistemi ve maksimum faydalı yük kapasitesi olmak üzere dört temel kriter dikkate alınmıştır. Saaty'nin ikili karşılaştırma yaklaşımı kullanılarak kriter ağırlıkları belirlenmiş ve alternatif platformlar bu kriterlere göre analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, havada kalış süresinin en yüksek ağırlığa sahip kriter olduğunu göstermiştir. AHP analizi sonucunda QinetiQ Zephyr platformu en yüksek performans skoruna ulaşarak ilk sırada yer alırken, NASA Helios ve RQ-4 Global Hawk platformları da önemli alternatifler olarak öne çıkmıştır.

Çalışma bulguları, yüksek irtifa İHA platformlarının değerlendirilmesinde çok kriterli karar verme yöntemlerinin etkinliğini ortaya koymakta ve farklı görev gereksinimlerine bağlı olarak kriterlerin önem derecesinin değişebileceğini göstermektedir. Ayrıca bu yaklaşım, karar vericilere sistematik ve karşılaştırılabilir sonuçlar sunarak daha bilinçli seçimler yapılmasına olanak tanımaktadır. Bu yönüyle çalışma, gelecekteki İHA platformu seçim çalışmalarına metodolojik katkı sağlamaktadır.

Anahtar kelimeler: İHA Sistemleri, AHP, Çok Kriterli Karar Verme, Yüksek İrtifa İnsansız Hava Araçları, Performans.

PERFORMANCE EVALUATION OF HIGH-ALTITUDE UNMANNED AERIAL VEHICLES WITH DECISION SUPPORT

ABSTRACT

Unmanned aerial vehicles (UAVs) have rapidly become widespread in both military and civilian applications in recent years, and platforms developed especially for high-altitude missions have offered significant operational advantages. High-altitude long-endurance (HALE) UAV systems are effectively used in tasks such as wide-area surveillance, communications relay, environmental monitoring, and atmospheric research. However, the existence of numerous platforms with different technical specifications transforms the selection of the most suitable system according to specific mission requirements into a multi-criteria decision-making problem. In this study, the Analytical Hierarchy Process (AHP) method was used to evaluate the performance of various high-altitude UAV platforms in the literature. Four basic criteria were considered in the evaluation: flight duration, service ceiling, propulsion system, and maximum payload capacity. Criterion weights were determined using Saaty's pairwise comparison approach, and alternative platforms were analyzed according to these criteria. The results showed that flight duration was the criterion with the highest weight. The AHP analysis revealed that the QinetiQ Zephyr platform achieved the highest performance score, ranking first, while the NASA Helios and RQ-4 Global Hawk platforms also emerged as significant alternatives. The study findings demonstrate the effectiveness of multi-criteria decision-making methods in evaluating high-altitude UAV platforms and show that the importance of criteria can vary depending on different mission requirements. Furthermore, this approach provides decision-makers with systematic and comparable results, enabling more informed choices. In this respect, the study provides a methodological contribution to future UAV platform selection studies.

Keywords: UAV Systems, AHP, Multi-Criteria Decision Making, High-Altitude Unmanned Aerial Vehicles, Performance.

1.GİRİŞ

İHA'ları, havacılık ve savunma teknolojilerindeki gelişmelere paralel olarak son yıllarda önemli bir dönüşüm geçirmiştir. Başlangıçta sınırlı görevler için kullanılan bu sistemler, günümüzde askeri operasyonlardan sivil uygulamalara kadar geniş bir kullanım alanına ulaşmıştır [1-3]. Özellikle yüksek irtifa uzun havada kalışlı (High Altitude Long Endurance – HALE) İHA platformları; geniş alan gözetleme, sınır güvenliği, afet yönetimi, haberleşme altyapısının desteklenmesi ve atmosferik veri toplama gibi kritik görevlerde etkin çözümler

sunmaktadır. Bu platformlar, yüksek irtifalarda uzun süre görev yapabilme kabiliyetleri sayesinde geleneksel hava araçlarına kıyasla önemli avantajlar sağlamaktadır [4-6].

Yüksek irtifa İHA sistemlerinin performansı; havada kalış süresi, servis tavanı, taşıma kapasitesi ve tahrik sistemi gibi birçok teknik parametreye bağlıdır. Ancak bu parametrelerin birbirleriyle olan ilişkileri ve farklı görev senaryolarına etkileri, platform seçimini karmaşık bir karar verme problemi haline getirmektedir. Örneğin, uzun süreli gözetleme görevlerinde havada kalış süresi ön plana çıkarken, ağır sensör sistemlerinin kullanıldığı görevlerde faydalı yük kapasitesi daha kritik bir kriter haline gelmektedir. Benzer şekilde, atmosferik araştırmalar gibi görevlerde servis tavanı belirleyici bir unsur olmaktadır. Bu durum, tek bir performans kriterine dayalı değerlendirmelerin yetersiz kalmasına neden olmaktadır [7-9].

Bu tür karmaşık karar problemlerinin çözümünde çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri önemli bir rol oynamaktadır. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), bu yöntemler arasında en yaygın kullanılan tekniklerden biri olup, karar vericilere kriterler arasında önceliklendirme yapma ve alternatifleri sistematik bir şekilde değerlendirme imkânı sunmaktadır. AHP yöntemi, karar problemini hiyerarşik bir yapıya dönüştürerek hem nitel hem de nicel kriterlerin birlikte ele alınmasına olanak tanımaktadır. Çok kriterli karar verme alanında yapılan bazı çalışmalar Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Çok kriterli karar verme alanında yapılan bazı çalışmalar

Kullanılan Matod	Uygulama Alanı	Kaynak
TOPSIS (Bulanık)	Bankaya uzman yardımcısı seçme	[10]
TOPSIS (Sezgisel)	Mısır’da planlanan akıllı köy müşteri hizmet bölümüne yönetici seçme	[11]
AHP ve PROMETHEE	Giyim mağazasına satış danışmanını seçme	[12]
TODIM (Sezgisel)	Araştırılan metodların sayısal olarak örneklendirilmesi	[13]
VIKOR	Doktora öğrencisi seçme	[14]
GİA	Medya kuruluşuna haber editörünü seçme	[15]
ORESTE	Firmanın pazarlama ve muhasebe bölümü için personel seçme	[16]
AHP (Bulanık) ve TOPSIS (Bulanık)	Liman işletmesine insan kaynakları uzmanını seçme	[17]
VIKOR (Bulanık)	Teknoloji firmalarında mühendis seçme	[18]
AHP (Gri), MOORA (Gri)	Sağlık endüstrisine yönetici seçme	[19]
WASPAS, SWARA	Araştırılan metodların sayısal olarak örneklendirilmesi	[20]

Bu çalışmada, literatürde yer alan farklı yüksek irtifa İHA platformlarının performanslarının karşılaştırılması amacıyla AHP yöntemi kullanılmıştır. Çalışma kapsamında belirlenen kriterler doğrultusunda alternatif platformlar analiz edilmiş ve en uygun sistem belirlenmeye

çalışılmıştır. Bu yönüyle çalışma, yüksek irtifa İHA seçim problemine sistematik bir yaklaşım sunmakta ve literatürdeki benzer çalışmalara katkı sağlamaktadır. Ayrıca elde edilen bulguların, farklı görev gereksinimlerine yönelik platform seçiminde karar vericilere yol gösterici olması hedeflenmektedir.

2.ÇALIŞMADA KULLANILAN YÜKSEK İRTİFA UZUN HAVADA KALIŞLI İNSANSIZ HAVA ARAÇLARI

Bu çalışmada kullanılan karar matrisi, literatürde yaygın olarak kullanılan yüksek irtifa insansız hava aracı (İHA) platformlarının temel performans parametrelerini içerecek şekilde oluşturulmuştur. Söz konusu tabloda alternatif platformlar; havada kalış süresi, servis tavanı, tahrik sistemi ve maksimum faydalı yük kapasitesi olmak üzere dört ana kriter kapsamında değerlendirilmiştir. Havada kalış süresi, platformun görev süresini doğrudan etkileyen en kritik parametrelerden biri olarak ele alınırken, servis tavanı İHA'nın ulaşabileceği maksimum operasyon irtifasını temsil etmektedir. Maksimum faydalı yük kapasitesi, platformun taşıyabileceği ekipman miktarını belirleyerek görev çeşitliliği açısından önemli bir gösterge sunmaktadır. Tahrik sistemi ise platformun enerji verimliliği, sürdürülebilirliği ve operasyonel performansı üzerinde etkili olan teknik bir kriter olarak değerlendirilmiştir. Bu kriterler doğrultusunda oluşturulan tablo, AHP yönteminin uygulanabilmesi için gerekli olan çok kriterli karar verme yapısını sağlamış ve alternatif İHA platformlarının sistematik bir şekilde karşılaştırılmasına olanak tanımıştır. Seçilmiş yüksek irtifa uzun havada kalışlı (HALE) insansız hava araçlarının teknik özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Seçilmiş yüksek irtifa uzun havada kalışlı (HALE) insansız hava araçlarının teknik özellikleri [21]

Platform	Havada Kalış Süresi	Servis Tavanı (feet)	Tahrik Yöntemi	Maksimum Faydalı Yük
QinetiQ Zephyr	336 saat	70,000+	2 adet fırçasız DC elektrik motoru	5 lbs
NASA Helios	100+ saat	96,000	14 adet fırçasız DC elektrik motoru	626 lbs
NASA Altus	24 saat	65,000	Rotax TC 4 silindirli motor	330 lbs
Boeing Phantom Eye	100+ saat	65,000	Sıvı hidrojen motoru	450 lbs
Boeing Condor	58 saat	67,000	2 adet LC, FI 6 silindirli motor	N/A
Aurora Flight Sciences Theseus	30 saat	70,000+	2 adet TC piston motoru	700 lbs
General Atomics RQ-4 Global Hawk	33 saat	60,000	Tek turbofan motor	3000 lbs
Scaled Composites Raptor	48+ saat	65,000	İki kademeli “yüksek derecede modifiye edilmiş” Rotax motoru	150 lbs

3. AHP ANALİZİ

Bu çalışmada amaç, literatürde yer alan farklı yüksek irtifa insansız hava araçları (İHA) arasından performans kriterlerine göre en uygun platformun belirlenmesidir. Karar verme sürecinde çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) kullanılmıştır [22]. Çalışmada kullanılan alternatifler ve kriterler Tablo 3’de sunulmuştur.

Tablo 3. Çalışmada kullanılan alternatifler ve kriterler

Alternatifler		Kriterler	
A1	QinetiQ Zephyr	K1	Havada Kalış Süresi
A2	NASA Helios	K2	Servis Tavanı
A3	NASA Altus	K3	Tahrik Sistemi
A4	Boeing Phantom Eye	K4	Maksimum Faydalı Yük
A5	Boeing Condor		
A6	Aurora Theseus		
A7	RQ-4 Global Hawk		
A8	Scaled Composites Raptor		

3.1. Çok kriterli Analiz

Saaty'nin 1–9 ölçeği kullanılarak kriterlerin göreceli önemleri belirlenmiştir.

Tablo 4. Kriterler İçin İkili Karşılaştırma Matrisi

Kriter	K1	K2	K3	K4
K1 Havada Kalış Süresi	1	3	5	2
K2 Servis Tavanı	1/3	1	3	2
K3 Tahrik Sistemi	1/5	1/3	1	1/2
K4 Faydalı Yük	1/2	1/2	2	1

Sütun toplamaları hesaplandıktan sonra matris normalize edilmiştir.

Tablo 5. Normalize Edilmiş Karar Matrisi

Kriter	K1	K2	K3	K4	Ağırlık
K1	0.49	0.63	0.45	0.36	0.48
K2	0.16	0.21	0.27	0.36	0.25
K3	0.10	0.07	0.09	0.09	0.09
K4	0.25	0.10	0.18	0.18	0.18

AHP hesaplamaları sonucunda kriter ağırlıkları aşağıdaki şekilde bulunmuştur.

Tablo 6. Kriter ağırlıkları

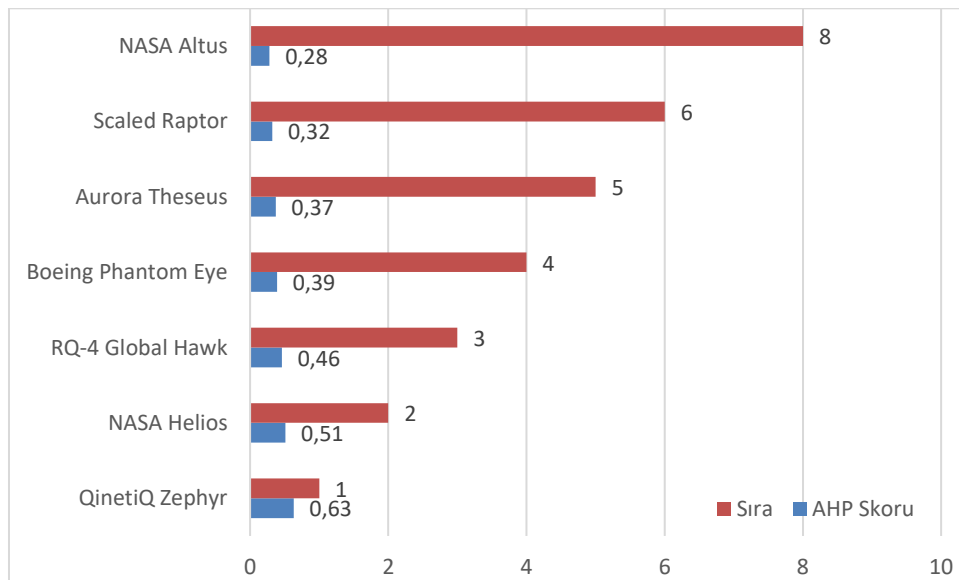
Kriter	Ağırlık
Havada Kalış Süresi	0.48
Servis Tavanı	0.25
Maksimum Faydalı Yük	0.18
Tahrik Sistemi	0.09

Bu sonuç, yüksek irtifa İHA seçiminde en önemli kriterin havada kalış süresi olduğunu göstermektedir. Daha sonra sayısal veriler normalize edilmiştir.

Tablo 7. Alternatiflerin normalize edilmiş performans değerleri

Platform	Endurance	Ceiling	Payload
Zephyr	1.00	0.73	0.002
Helios	0.30	1.00	0.21
Altus	0.07	0.67	0.11
Phantom Eye	0.30	0.67	0.15
Condor	0.17	0.70	-
Theseus	0.09	0.73	0.23
Global Hawk	0.10	0.63	1.00
Raptor	0.14	0.67	0.05

Kriter ağırlıkları kullanılarak toplam skor hesaplanmıştır.



Şekil 1. Alternatiflerin AHP skorları ve sıralaması

Bu çalışmada, literatürde yer alan farklı yüksek irtifa İHA ları platformlarının performanslarının karşılaştırılması amacıyla AHP yöntemi kullanılmıştır, Karar verme sürecinde havada kalış süresi, servis tavanı, tahrik sistemi ve maksimum faydalı yük kapasitesi olmak üzere dört temel kriter dikkate alınmıştır, Yapılan ikili karşılaştırmalar sonucunda kriter ağırlıkları sırasıyla havada kalış süresi (0,48), servis tavanı (0,25), maksimum faydalı yük (0,18) ve tahrik sistemi (0,09) olarak belirlenmiştir, Bu sonuç, yüksek irtifa görevlerinde en kritik performans parametresinin platformun uzun süre havada kalabilme kapasitesi olduğunu ortaya koymaktadır,

AHP yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonucunda alternatif İHA platformları arasında QinetiQ Zephyr en yüksek toplam performans skoruna sahip olarak ilk sırada yer almıştır, Zephyr platformunun bu başarıyı elde etmesinde özellikle 336 saat gibi oldukça yüksek bir havada kalış süresine sahip olması belirleyici bir faktör olmuştur, Uzun süreli görev kabiliyeti, özellikle sürekli gözetleme, çevresel izleme ve haberleşme rölesi gibi görevlerde önemli bir avantaj sağlamaktadır, Bununla birlikte Zephyr platformunun faydalı yük kapasitesinin düşük olması, ağır sensör sistemleri gerektiren görevlerde sınırlayıcı bir unsur olarak değerlendirilebilir,

Analiz sonuçlarına göre ikinci sırada yer alan NASA Helios, özellikle 96,000 feet servis tavanı ile değerlendirilen alternatifler arasında en yüksek irtifa kapasitesine sahip platformdur, Bu özellik, atmosferik araştırmalar, yüksek irtifa gözlem görevleri ve geniş alan kapsamı gerektiren uygulamalar açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır, Bununla birlikte Helios platformunun havada kalış süresi Zephyr'e kıyasla daha düşük olduğundan genel performans sıralamasında ikinci sırada yer almıştır,

Üçüncü sırada bulunan RQ-4 Global Hawk platformu ise özellikle 3000 lbs gibi oldukça yüksek bir faydalı yük kapasitesi ile dikkat çekmektedir, Bu özellik, gelişmiş radar sistemleri, elektro-optik sensörler ve çeşitli keşif ekipmanlarının taşınabilmesine olanak tanımaktadır, Bu nedenle Global Hawk, özellikle askeri keşif ve istihbarat görevlerinde yüksek operasyonel etkinlik sağlayan bir platform olarak öne çıkmaktadır, Ancak havada kalış süresi ve servis tavanı kriterlerinde diğer bazı platformlara kıyasla daha düşük performans göstermesi genel sıralamada üçüncü sırada yer almasına neden olmuştur,

Diğer platformlar incelendiğinde Boeing Phantom Eye ve Aurora Theseus orta düzey performans sergileyen alternatifler olarak değerlendirilmiştir, Bu platformlar belirli görev profilleri için uygun olmakla birlikte analiz kapsamında belirlenen kriterlerin tamamında üstün performans gösterememiştir, Scaled Composites Raptor, Boeing Condor ve NASA

Altus platformları ise diğer alternatiflere kıyasla daha düşük toplam performans skorlarına sahip olmuştur,

Genel olarak değerlendirildiğinde, AHP analizi yüksek irtifa ve uzun süreli görevler için geliştirilen İHA platformlarının performanslarının çok kriterli bir karar verme yaklaşımı ile sistematik biçimde karşılaştırılmasına olanak sağlamıştır, Elde edilen sonuçlar, özellikle uzun havada kalış süresine sahip platformların gözetleme ve sürekli görev gerektiren uygulamalarda daha avantajlı olduğunu göstermektedir, Bununla birlikte yüksek faydalı yük kapasitesi veya yüksek servis tavanı gibi özellikler belirli görev türleri için kritik öneme sahip olabilmektedir, Bu nedenle İHA platformu seçimi yapılırken görev gereksinimlerine bağlı olarak kriter ağırlıklarının yeniden değerlendirilmesi önerilmektedir,

4. SONUÇ

Bu çalışmada, yüksek irtifa görevlerinde kullanılabilecek farklı İHA platformlarının performanslarının karşılaştırılması amacıyla çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan AHP yöntemi uygulanmıştır, Karar verme sürecinde havada kalış süresi, servis tavanı, tahrik sistemi ve maksimum faydalı yük kapasitesi olmak üzere dört temel kriter dikkate alınmıştır, Kriterler arasında gerçekleştirilen ikili karşılaştırmalar sonucunda, en yüksek ağırlığın havada kalış süresine ait olduğu belirlenmiştir, Bu durum, yüksek irtifa görevlerinde platformların uzun süre operasyon gerçekleştirebilme kapasitesinin kritik bir performans göstergesi olduğunu ortaya koymaktadır,

Gerçekleştirilen AHP analizi sonucunda değerlendirilen alternatifler arasında QinetiQ Zephyr platformunun en yüksek performans skoruna sahip olduğu belirlenmiştir, Zephyr platformu özellikle çok uzun havada kalış süresi sayesinde sürekli gözetleme, çevresel izleme ve haberleşme rölesi gibi uzun süreli operasyonlarda önemli bir avantaj sunmaktadır, İkinci sırada yer alan NASA Helios platformu ise oldukça yüksek servis tavanı ile özellikle atmosfer araştırmaları ve geniş alan gözlem görevleri açısından dikkat çekmektedir, Üçüncü sırada bulunan RQ-4 Global Hawk ise yüksek faydalı yük kapasitesi sayesinde gelişmiş sensör sistemlerinin taşınmasına olanak sağlayarak özellikle askeri keşif ve gözetleme görevleri için önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır,

Elde edilen sonuçlar, yüksek irtifa İHA platformlarının performans değerlendirmesinde tek bir parametrenin yeterli olmadığını ve farklı görev gereksinimlerinin farklı platformları ön plana çıkarabileceğini göstermektedir, Uzun süreli gözetleme ve izleme görevleri için yüksek havada kalış süresine sahip platformlar daha avantajlı iken, ağır sensör sistemleri gerektiren operasyonlarda yüksek faydalı yük kapasitesine sahip platformlar tercih edilebilmektedir, Bu nedenle İHA platformu seçiminde görev gereksinimlerinin dikkate alınması ve çok kriterli

karar verme yöntemlerinin kullanılması karar sürecinin daha sistematik ve objektif bir şekilde gerçekleştirilmesine katkı sağlamaktadır,

Sonuç olarak bu çalışma, yüksek irtifa insansız hava araçlarının performanslarının çok kriterli karar verme yaklaşımı ile değerlendirilmesine yönelik bir metodolojik çerçeve sunmaktadır, Gelecek çalışmalarda karar modeline menzil, enerji tüketimi, operasyon maliyeti ve güvenilirlik gibi ek kriterlerin dahil edilmesi ile daha kapsamlı değerlendirmelerin yapılması mümkün olacaktır, Ayrıca farklı çok kriterli karar verme yöntemlerinin birlikte kullanılması, elde edilen sonuçların karşılaştırılması ve doğrulanması açısından literatüre önemli katkılar sağlayabilir,

KAYNAKÇA

- [1] Gameros A, The use of composite materials in unmanned aerial vehicles (UAVs), AZO Materials, 06 Aug 2015 [Online], <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=12234>,
- [2] S, Kamkar, "Skyjack: Autonomous Drone Hacking w/ Raspberry Pi, aircrack & Javascript"; <http://www.samy.pl/skyjack/>, accessed Aug, 28, 2025,
- [3] Air Transport Action Group "Beginners Guide to Aviation Efficiency" Reference version, 2010
- [4] Jason Niemand, Sajith J Mathew, Felipe Gonzalez, Design and Testing of Recycled 3D Printed Foldable Unmanned Aerial Vehicle for Remote Sensing, In Proceedings of 2020 International Conference on Unmanned Aircraft Systems: ICUAS, 2020, pp, 892-901, <https://doi.org/10.1109/ICUAS48674.2020.9213961>,
- [5] Zdobysław Goraj, Andrzej Frydrychiewicz, Jacek Winiecki, Design concept of a high- altitude long-endurance unmanned aerial vehicle, Aircraft Design, Volume 2, Issue 1, March 1999, Pages 19-44, ISSN 1369-8869, [http://dx.doi.org/10.1016/S1369-8869\(99\)00004-X](http://dx.doi.org/10.1016/S1369-8869(99)00004-X),
- [6] Cestino, E, "Design Of Solar High Altitude Long Endurance Aircraft For Multi Payload & Operations," Aerospace Science and Technology 10,6 (2006): 541-550,
- [7] aszlics, Sheila, and Dr, Reiner Stemme, "Long Endurance UAV concepts," PathFinderSystems, N,p,n,d, Web, 5 Oct,2013, www.pathfindersystems.com/about-us/technical-publications/long-endurance-uav-concepts/,
- [8] Nickol, Craig L., Mark D, Guynn, Lisa L, Kohout, and Thomas A, Ozoroski, "High Altitude Long Endurance UAV Analysis of Alternatives and Technology Requirements Development," National Aeronautics and Space Administration (2007): n, pag, Web,4
- [9] Verstaete, D, M Coatanea, and P Hendrick, "Preliminary Design of a Joined Wing HALE UAV," International Congress of the Aeronautical Sciences 26 (2008)
- [10] Değermenci, A, ve Ayvaz, B, (2016), Bulanık ortamda TOPSIS yöntemi ile per-sonel seçimi: Katılım bankacılığı sektöründe bir uygulama, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 15(30), 77-93,
- [11] Nabeeh, N, A., Smarandache, F., Abdel-Basset, M., El-Ghareeb, H, A, ve Aboelfetouh, A, (2019), An integrated neutrosophic-TOPSIS ap-proach and its application to personnel selection: A new trend in brain processing and analysis, *IEEE Access*, 7, 29734-29744,
- [12] Bedir, N, ve Eren, T, (2015), AHP-PROMETHEE yöntemleri entegrasyonu ile personel seçim problemi: Perakende sektöründe bir uygulama, *Sosyal Bilimler Araştırma Dergisi*, 4(4), 46-58,
- [13] Ji, P., Zhang, H, Y, ve Wang, J, Q, (2018), A projection-based TODIM method under multi-valued neutrosophic environments and its application in personnel selection, *Neural Computing and Applications*, 29(1), 221-234,
- [14] Alguliyev, R, M., Aliguliyev, R, M, ve Mahmudova, R, S, (2015), Multicriteria personnel selection by the modified fuzzy VIKOR method, *The Scientific World Journal*, 2015,
- [15] Eşiyok, Y, ve Eren, Ö, (2018), Personel seçim probleminin gri ilişkisel analiz yöntemi ile çözülmesi: Medya sektöründe bir uygulama, *Business & Management Studies: An International Journal*, 6(4), 898-919,

- [16] Eroğlu, E., Yıldırım, B, F, ve Özdemir, M, (2014), Çok kriterli karar vermede “ORESTE” yöntemi ve personel seçiminde uygulanması, *Istanbul Management Journal*, 25(76), 1-19,
- [17] Efe, B, ve Kurt, M, (2018), Bir liman işletmesinde personel seçimi uygulama-sı, *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 8(2), 417-427,
- [18] Yıldız, A, ve Deveci, M, (2013), Bulanık VIKOR yöntemine dayalı personel seçim süreci, *Ege Akademik Bakış*, 13(4), 427-436,
- [19] Çelikkilek, Y, (2018), Using an integrated grey AHP-MOORA approach for personnel selection: An application on manager selection in the health industry, *Alphanumeric Journal*, 6(1), 69-82,
- [20] Urosevic, S,, Karabasevic, D,, Stanujkic, D, ve Maksimovic, M, (2017), An ap-proach to personnel selection in the tourism industry based on the SWARA and the WASPAS methods, *Economic Computation & Eco-nomic Cybernetics Studies & Research*, 51(1), 75-88,
- [21] Aaron F, Botwick, High Altitude Long Endurance Aircraft Configurations, American Institute of Aeronautics and Astronautics <https://www.academia.edu/figures/14696156/table-1-description-of-selected-aircraft-of-selected>
- [22] Saaty, T. L. (1986). Axiomatic foundation of the analytic hierarchy process. *Management Science*, 32(7), 841-855

A MACHINE LEARNING-ASSISTED INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER ENHANCEMENT IN A DOUBLE-PIPE HEAT EXCHANGER WITH POROUS MEDIA FOR DIFFERENT STRUCTURAL PARAMETERS

Mahir ŞAHİN

Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Adana

ORCID: 0000-0002-9565-9160

Mustafa KILIÇ

Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Adana

ORCID: 0000-0002-8006-149X

ABSTRACT

The integration of porous media into heat exchanger geometries has emerged as a promising passive heat transfer enhancement technique due to its ability to increase effective heat transfer surface area and enhance fluid mixing without requiring external energy input. This study presents a numerical investigation of the thermal performance of a double-pipe heat exchanger operating under counter-flow conditions, with water as the working fluid on both sides. The effects of porosity ($\phi = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$) and dimensionless porous layer thickness ($L/D = 0.071, 0.107, 0.143, 0.179$) on heat transfer effectiveness are systematically examined under laminar flow conditions at a constant Reynolds number of $Re = 250$ and hot fluid inlet temperature of 50°C . Experimental measurements are conducted to validate the CFD model implemented in ANSYS Fluent 2022 R1, with a maximum deviation of 3.5% between numerical and experimental results. The validated CFD results indicate that decreasing the porosity from 0.8 to 0.2 enhances the effectiveness by up to 7.9%, while increasing the dimensionless porous layer thickness from $L/D = 0.071$ to $L/D = 0.179$ yields an enhancement of up to 10.9%. The configuration of $\phi = 0.2$ and $L/D = 0.179$ achieved the highest effectiveness of 80.3%. Additionally, an ANN-based predictive model was developed using the Bayesian Regularization algorithm, and a second-order polynomial correlation was derived as a function of porosity and dimensionless porous layer thickness, achieving $R^2 = 0.993$ and $MSE = 0.089$.

Keywords: Porous media, heat transfer, double-pipe heat exchanger, porosity, artificial neural network.

FARKLI YAPISAL PARAMETRELER İÇİN GÖZENEKLİ ORTAMLIL BİR ÇİFT BORULU ISI DEĞİŞTİRİCİSİNDE ISI TRANSFERİ İYİLEŞTİRMESİNİN MAKİNE ÖĞRENMESİ DESTEKLİ İNCELENMESİ

ÖZET

Isı değıştirci geometrilerine gözenekli ortam entegrasyonu, etkili ısı transfer yüzey alanını artırması ve harici enerji girişı gerektirmeksizin akışkan karışımını iyileştirmesi sayesinde umut verici bir pasif ısı transfer artırma tekniğı olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, her iki tarafta çalışma akışkanı olarak suyun kullanıldığı, ters akış koşullarında çalışan bir çift borulu ısı değıştircisinin ısıl performansı sayısal olarak incelenmiştir. Sabit Reynolds sayısı $Re = 250$ ve sıcak akışkan giriş sıcaklığı 50°C koşullarında, porozite ($\phi = 0,2, 0,4, 0,6, 0,8$) ve boyutsuz gözenekli katman kalınlığının ($L/D = 0,071, 0,107, 0,143, 0,179$) ısı transfer etkinliğine etkileri laminar akış koşulları altında sistematik olarak incelenmiştir. ANSYS Fluent 2022 R1'de uygulanan HAD modeli, deneysel ölçümler kullanılarak doğrulanmış olup sayısal ve deneysel sonuçlar arasındaki maksimum sapma $\%3,5$ olarak belirlenmiştir. Doğrulanmış HAD sonuçları, porozitenin 0,8'den 0,2'ye düşürölmesinin etkinliği $\%7,9$ 'a kadar artırdığını, boyutsuz gözenekli katman kalınlığının $L/D = 0,071$ 'den $L/D = 0,179$ 'a yükseltilmesinin ise $\%10,9$ 'a kadar iyileşme sağladığını göstermektedir. $\phi = 0,2$ ve $L/D = 0,179$ konfigürasyonu en yüksek etkinlik değeri olan $\%80,3$ 'ü elde etmiştir. Ayrıca Bayes Düzenlileştirme algoritması kullanılarak YSA tabanlı bir tahmin modeli geliştirilmiş ve porozite ile boyutsuz gözenekli katman kalınlığının fonksiyonu olarak ikinci dereceden polinom korelasyonu türetilmiş olup $R^2 = 0,993$ ve $MSE = 0,089$ değeri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Gözenekli ortam, ısı transferi, çift borulu ısı değıştirci, porozite, yapay sinir ağı.

1. INTRODUCTION

Growing concerns over the sustainability of fossil fuel-based energy systems have driven considerable interest in improving the efficiency of thermal energy conversion and transfer processes [1]. Heat exchangers play a central role in this effort, and passive enhancement strategies which require no additional energy input have gained significant attention as viable means of improving their performance [2]. Porous media inserts represent one of the most effective passive approaches, as their characteristic high surface-to-volume ratio facilitates intensive fluid-solid contact and promotes local flow disruption, both of which contribute to augmented heat transfer rates. The thermal performance of porous-inserted double-pipe heat exchangers is governed not only by flow conditions but also by the structural characteristics

of the porous medium itself, including porosity and layer thickness, which directly influence the flow resistance and heat transfer area within the exchanger [3, 4].

Upon examination of the relevant literature, Alomari et al. [5] conducted a numerical study on double-diffusive convection involving nano-encapsulated phase change materials within a porous foam-filled thermal storage system, examining the combined influence of Rayleigh, Darcy, and Hartmann numbers alongside nanoparticle concentration. The results revealed that although Rayleigh and Hartmann numbers exerted a pronounced effect on flow and thermal behavior, a reduction in the Darcy number from 0.1 to 10^{-4} led to an approximately 30% decrease in both Nusselt and Sherwood numbers, highlighting the critical role of permeability in governing transport phenomena within porous thermal systems. Sudarmozhi et al. [6] examined the magnetohydrodynamic flow behavior of a Maxwell fluid over a permeable cylinder, demonstrating that the presence of a porous medium combined with magnetic field effects leads to considerable modifications in both velocity and temperature distributions, ultimately resulting in an improvement in the Nusselt number. Abdullah et al. [7] carried out an experimental evaluation of a photovoltaic/thermal wall system integrating both porous materials and phase change materials, revealing that the PCM-based configuration outperformed the porous material system in terms of both thermal efficiency and electrical output, achieving a thermal efficiency of 47.25% compared to 42.31% recorded for the porous material configuration. Khan et al. [8] performed a numerical investigation of magnetohydrodynamic boundary layer flow of TiO_2 -Au hybrid nanofluids in ethylene glycol employing a fractional calculus approach, finding that an increase in the porosity parameter resulted in a 3.52% rise in the skin friction coefficient, while an equivalent enhancement in the Nusselt number was attributed to the thermal fractional parameter.

Khalil et al. [9] explored the heat transfer characteristics of a copper-alumina hybrid nanofluid over a porous exponentially stretching surface, accounting for the effects of temperature-dependent viscosity and an external magnetic field. It was observed that the decrease in fluid viscosity at elevated temperatures facilitated greater fluid mobility, whereas viscous dissipation emerged as a dominant factor in raising the thermal state of the boundary layer. Lee et al. [10] developed a computational modeling framework for finned heat pipe heat exchangers in which heat pipes were treated as solid conductors and finned sections were represented as porous media. The proposed approach was validated against experimental data, demonstrating predictive accuracy within $\pm 6.2\%$ for a system capable of recovering 30.2 kW of waste heat at a thermal effectiveness of 0.78. Men et al. [11] employed topology optimization in conjunction with a porous media effective model to investigate IWP-type

triply periodic minimal surface heat sinks. The optimized design yielded reductions of up to 11.66% in peak temperature and 39.13% in pressure drop, underscoring the considerable potential of integrating porous media modeling with structural optimization techniques as a strategy for achieving superior thermal performance. Vishkaei and Javaherdeh [12] conducted a numerical study on turbulent convective heat transfer in a double-pipe heat exchanger fitted with porous rings and operating with a non-Newtonian fluid. Their findings showed that the incorporation of porous rings led to a Nusselt number enhancement of up to 56.3% and an improvement in system efficiency of 11.25%, while the use of a non-Newtonian fluid further increased the average Nusselt number by 40.1% and elevated the pressure drop by a factor of ten. Popov et al. [13] introduced a computationally efficient two-temperature model for analyzing heat and mass transfer in TPMS-based porous materials. The Python-based solver developed within this framework achieved computational speeds more than 50 times greater than those of ANSYS Fluent, while maintaining a discrepancy of less than 1% at low flow velocities, demonstrating its effectiveness as a high-performance alternative for porous media simulations. DiReda et al. [14] carried out a combined experimental and numerical investigation into the influence of TPMS morphology on the performance of porous media burners. Among the structural configurations examined, diamond and I-WP geometries demonstrated notably superior thermal stability and heat transfer characteristics relative to gyroid and primitive structures, emphasizing the importance of careful morphology selection in maximizing interphase heat exchange efficiency. Chung et al. [15] implemented a modified porous media approach coupled with conjugate heat transfer analysis for the simulation of printed circuit heat exchangers, achieving a reduction in computational cost of approximately 370 times while keeping the maximum error within 12%. Furthermore, their results indicated that raising the Euler number from 1.5 to 3.0 yielded a 12.5% improvement in the Colburn-Chilton j-factor, demonstrating the practical utility of the proposed method for efficient yet accurate heat exchanger modeling. Li et al. [16] proposed a porous media equivalent model for characterizing particulate fouling in heat exchanger channels, which exhibited a 5.48% improvement in correlation with experimental data relative to conventional modeling approaches. Their findings further revealed that a fouling layer thickness of 0.42 mm was sufficient to reduce heat transfer efficiency by 12.1% while simultaneously increasing flow resistance by 36.0%, highlighting the detrimental impact of fouling accumulation on overall heat exchanger performance.

Although the influence of porous media on heat exchanger performance has been extensively explored in the literature, studies that systematically examine the effects of structural

parameters such as porosity and porous layer thickness on the thermal performance of double-pipe heat exchangers under counter-flow conditions remain limited. The present study addresses this gap by integrating CFD simulations with machine learning-based correlation development to deliver a comprehensive and data-driven evaluation of the effects of porosity and layer thickness on heat transfer effectiveness.

2. MATERIALS AND METHODS

Experimental Procedure

The experimental study was conducted using a double-pipe heat exchanger operating under counter-flow conditions, with pure water as the working fluid on both the hot and cold sides. The heat exchanger consists of two coaxially arranged concentric pipes, where the inner pipe is made of stainless steel (AISI 304) with an inner diameter of 14 mm and an outer diameter of 16 mm, while the outer pipe is manufactured from polycarbonate. Hot water flows through the inner pipe, while cold water circulates through the annular region between the inner and outer pipes.

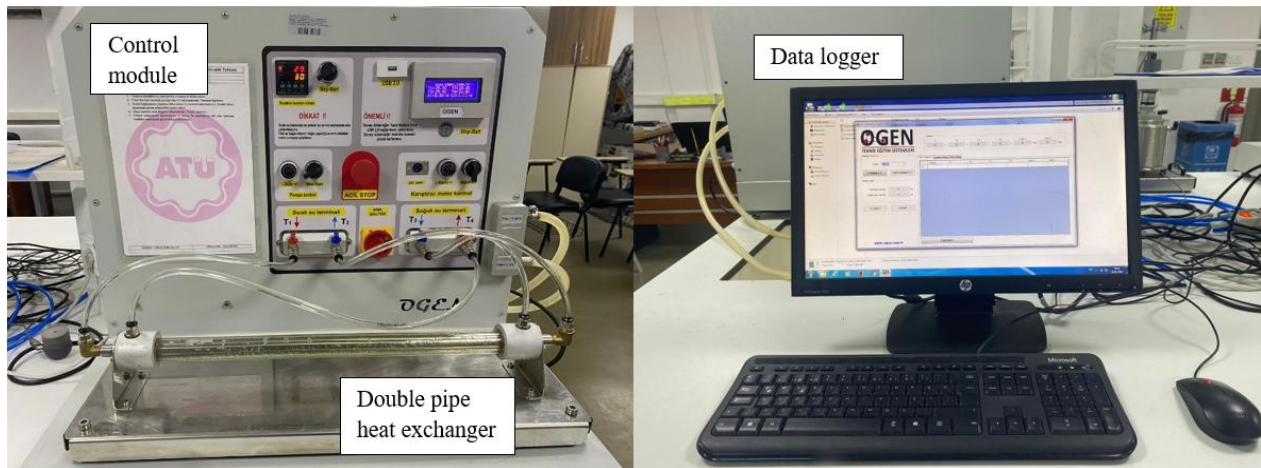


Figure 1. Experimental setup images of double pipe heat exchanger and data logger

The hot fluid inlet temperature was varied as $T_{h,in} = 30^{\circ}\text{C}$, 40°C , 50°C , and 60°C , while the cold fluid inlet temperature was maintained constant at $T_{c,in} = 20^{\circ}\text{C}$ throughout all experiments. The Reynolds number of the hot fluid was set to $Re = 250$, 500 , 750 , and 1000 to evaluate its effect on thermal performance under laminar flow conditions, consistent with low-temperature waste heat recovery system operating requirements, while the Reynolds number of the cold fluid was kept constant at $Re = 200$.

Numerical Study

The continuity, momentum, and energy equations employed in the solution of the steady-state flow problem, along with the formulas used to calculate heat transfer effectiveness, are presented below. These equations are expressed in cylindrical coordinates (r, θ, z).

Continuity equation:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(r u_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(u_\theta)}{\partial \theta} + \frac{\partial(u_z)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Momentum equations:

r-direction:

$$\rho \left(\frac{\partial(u_r)}{\partial t} + u_r \frac{\partial(u_r)}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial(u_r)}{\partial \theta} - u_\theta^2 + u_z \frac{\partial(u_r)}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial r} + \rho g_r + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u_r}{\partial r} \right) - \frac{u_r}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 u_r}{\partial z^2} \right] \quad (2)$$

θ -direction:

$$\rho \left(\frac{\partial u_\theta}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_\theta}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + \frac{u_\theta u_r}{r} + u_z \frac{\partial u_\theta}{\partial z} \right) = -\frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial \theta} + \rho g_\theta + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u_\theta}{\partial r} \right) - \frac{u_\theta}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial u_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 u_\theta}{\partial z^2} \right] \quad (3)$$

z-direction:

$$\rho \left(\frac{\partial u_z}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \theta} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right] \quad (4)$$

Energy conservation equation:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u_r \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial T}{\partial \theta} + u_z \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\dot{q}_g}{c_p} + \alpha \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + \frac{\varphi}{\rho c_p} \quad (5)$$

Heat transfer calculations (6-9) form the basis for determining the heat transfer rate, effectiveness, and other essential parameters needed to evaluate the system's thermal performance [17].

Actual and maximum heat transfer rates:

$$\dot{Q}_{act} = \dot{m} c_p (T_{h,in} - T_{h,out}) \quad (6)$$

$$\dot{Q}_{max} = C_{min} \Delta T_{max} \quad (7)$$

$$C_{min} = \dot{m}_{min} c_{p,min} \quad (8)$$

$T_{h,in}$ refers hot fluid inlet temperature and $T_{c,in}$ for the cold fluid. Heat capacity rates are defined as follows:

$$C_c = \dot{m}_c c_{p,c} \quad (9)$$

$$C_h = \dot{m}_h c_{ph} \quad (10)$$

$$\Delta T_{max} = T_{h,in} - T_{c,in} \quad (11)$$

Number of Transfer Units (*NTU*) approach is especially useful when the input and output temperatures are uncertain, as well as for heat exchanger size assessments.

$$NTU = \frac{UA_s}{C_{min}} \quad (12)$$

Heat transfer effectiveness represents an important parameter for comparing heat exchanger performance. This is particularly useful in identifying how efficiently a heat exchanger utilizes the available temperature difference between fluids to transfer energy. The effectiveness parameter is widely applied in both experimental and theoretical studies, as it provides a clear, quantitative measure of how close a heat exchanger operates to its optimal thermal performance, making it an essential tool in thermal system design and optimization.

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}_{act}}{\dot{Q}_{max}} = \frac{\text{Actual heat transfer rate}}{\text{Maximum heat transfer rate}} \quad (13)$$

The porosity of the porous insert is defined as the ratio of the void volume to the total volume of the porous structure, and is expressed as:

$$\phi = \frac{V_{void}}{V_{total}}$$

where V_{void} is the volume of the void spaces within the porous medium and V_{total} is the total volume of the porous insert. A lower porosity value indicates a denser porous structure with a higher solid fraction, which promotes greater fluid-solid interaction and enhances heat transfer performance.

The dimensionless thickness of the porous insert is defined as the ratio of the porous layer thickness to the inner diameter of the inner pipe, and is expressed as:

$$\frac{L}{D} = \frac{t}{D_i}$$

where t is the thickness of the porous insert layer and D_i is the inner diameter of the inner pipe. This dimensionless parameter provides a normalized representation of the porous layer

thickness relative to the pipe geometry, enabling a more general characterization of the porous insert configuration.

The numerical model of the double-pipe heat exchanger was developed using ANSYS Fluent 2022 R1. The heat exchanger geometry consists of two coaxially arranged concentric pipes with a total length of 500 mm. The inner pipe is made of stainless steel (AISI 304) with an inner diameter of 14 mm and an outer diameter of 16 mm, while the outer pipe is manufactured from polycarbonate.

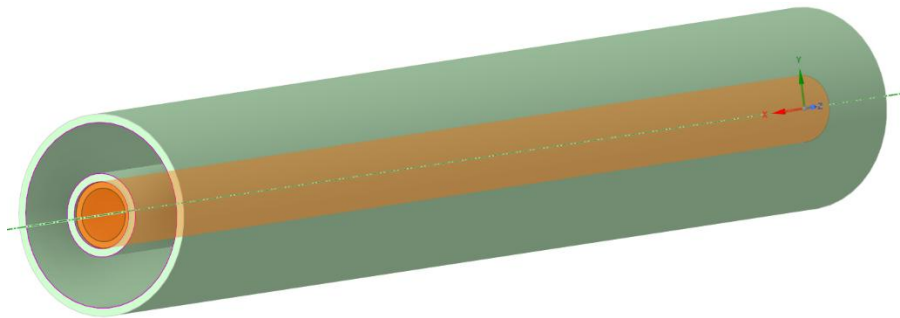


Figure 2. Numerical geometry of the heat exchanger integrated with porous section

Table 1. Boundary conditions for the numerical method.

Boundary	$U(ms^{-1})$	$V(ms^{-1})$	$W(ms^{-1})$	$T(K)$
Hot Fluid Inlet	$U=U_{inlet}$	$V=0$	$W=0$	$T=T_{hot,in}$
Cold Fluid Inlet	$U=0$	$V=V_{in}$	$W=0$	$T=T_{cold,in}$
Hot Fluid Outlet	$\frac{\partial U}{\partial x} = 0$	$\frac{\partial V}{\partial x} = 0$	$\frac{\partial W}{\partial x} = 0$	$\frac{\partial T}{\partial x} = 0$
Cold Fluid Outlet	$\frac{\partial U}{\partial z} = 0$	$\frac{\partial V}{\partial z} = 0$	$\frac{\partial W}{\partial z} = 0$	$\frac{\partial T}{\partial z} = 0$
Pipe wall (inner)	$U=0$	$V=0$	$W=0$	$\frac{\partial T}{\partial r} = 0$
Pipe wall (outer)	$U=0$	$V=0$	$W=0$	$\frac{\partial T}{\partial r} = 0$
Porous media	$U=0$	$V=0$	$W=0$	$\frac{\partial T}{\partial r} = 0$

The computational mesh was generated using ANSYS Fluent Meshing (Figure 3). Polygonal cell elements were employed in the mesh generation process, as they offer significant advantages in terms of mesh skewness and orthogonal quality, while also contributing to faster and more stable convergence during the solution process. Furthermore, polygonal elements produce a more uniform cell structure in complex geometries, thereby enhancing the accuracy and stability of the numerical solution. Mesh elements are refined at the fluid-solid

interfaces to better capture boundary layer effects, resulting in improved resolution of thermal and hydrodynamic gradients in the near-wall regions.

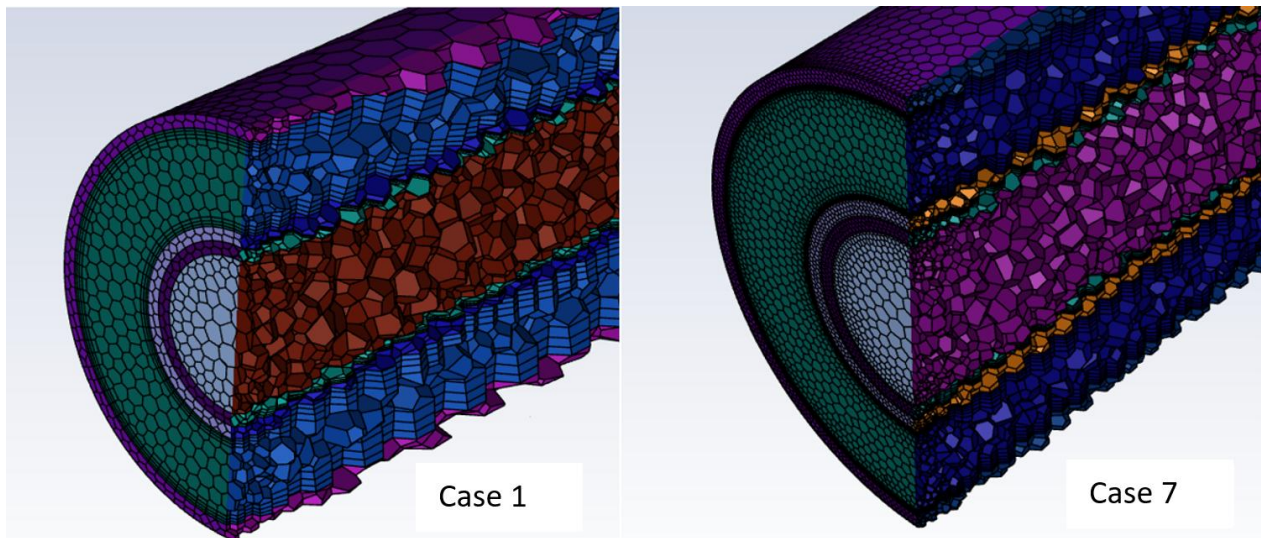


Figure 3. Mesh interfaces for Case 1 and Case 7.

To ensure mesh-independent results, a mesh independence study was conducted using ten different mesh configurations with varying element counts. The mesh quality parameters, including average orthogonal quality and average skewness, along with the hot fluid outlet temperature obtained for each case, are summarized in Table 2.

Table 2. Grid independence test results showing mesh quality metrics and hot-side outlet temperature for selected mesh configurations.

Case No	Mesh Count	Avg. Ort. Quality	Avg. Skewness	Hot-Outlet
1	52162	0,9041202	0,089694232	37,193042
2	59422	0,91221587	0,081865639	37,264235
3	69063	0,91965041	0,075369552	37,220328
4	82401	0,92635377	0,068778582	37,098866
5	100664	0,93455871	0,060657292	36,978493
6	131416	0,94388493	0,052324284	36,828411
7	181564	0,94575609	0,051382647	36,598272
8	259458	0,95264205	0,045083931	36,587301
9	344480	0,95756059	0,040359894	36,598272
10	441153	0,96247913	0,035635857	36,598272

The results demonstrate that beyond Case 7 (181564 elements), the hot outlet temperature stabilizes at approximately 36.598°C, with negligible variation observed in Cases 8, 9, and 10. Accordingly, the mesh configuration corresponding to Case 7 was selected as the optimal mesh, balancing computational efficiency and solution accuracy.

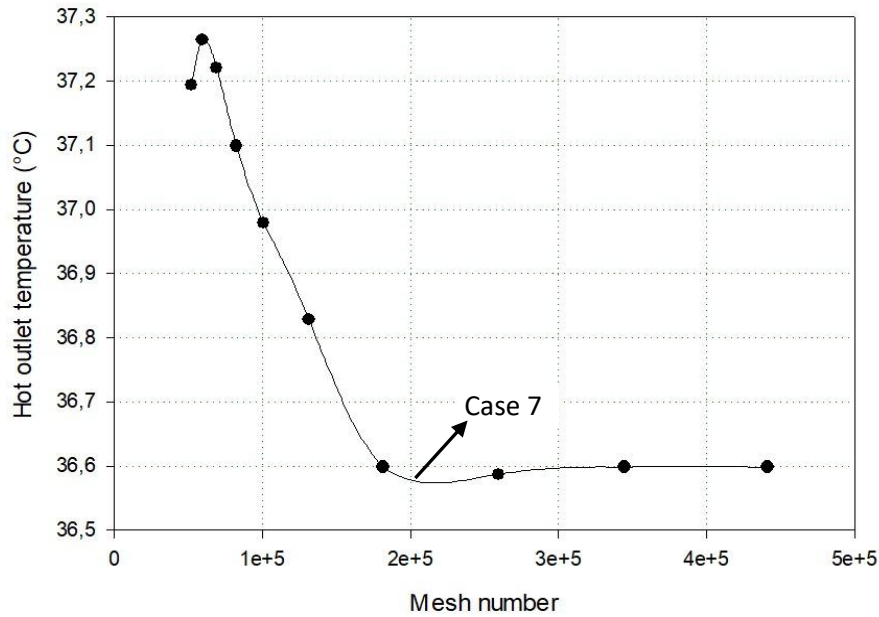


Figure 4. Variation of hot fluid outlet temperature with mesh number for the mesh independence

Figure 4 illustrates the variation of hot fluid outlet temperature as a function of mesh number. The outlet temperature decreases with increasing mesh count and reaches a stable value beyond approximately 181564 elements, indicating mesh-independent behavior. Therefore, this mesh configuration was selected for all subsequent numerical simulations.

Figure 5 presents the convergence history of the area-weighted average hot fluid outlet temperature as a function of iteration number. The solution undergoes rapid change in the initial iterations and gradually stabilizes, reaching a converged state at approximately 1000 iterations.

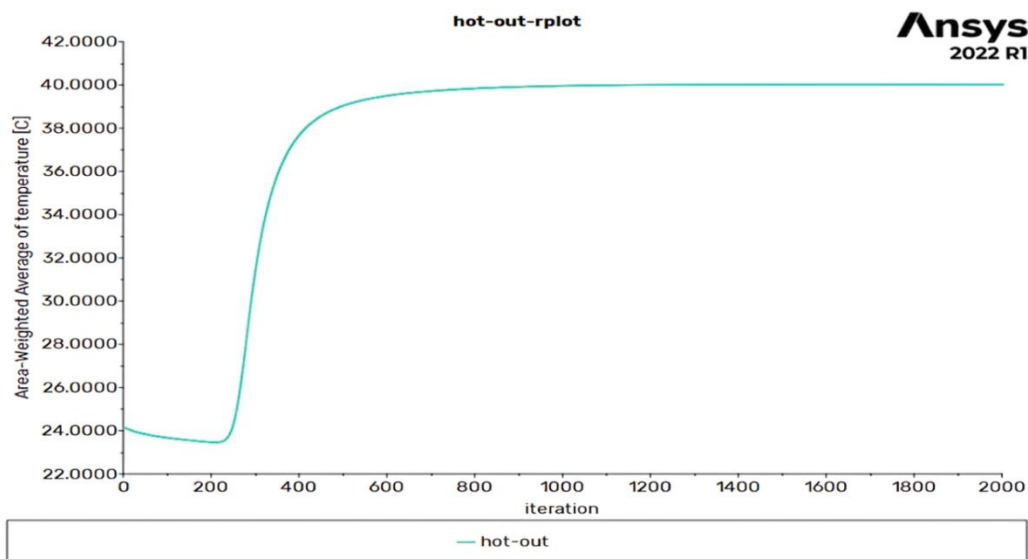


Figure 5. Convergence history of the area-weighted average hot fluid outlet temperature as a function of iteration number.

Convergence was determined based on the residual criteria set for each governing equation: residuals for the continuity and momentum equations were required to fall below 10^{-3} , while the energy equation residual threshold was set to 10^{-6} . Based on this observation, the number of iterations for all remaining simulations was set to 1000, ensuring a fully converged solution for each case.

Figure 6 presents a comparison between the numerical and experimental heat transfer effectiveness values over the investigated Reynolds number range ($Re = 250$ – 1000). Both datasets exhibit a consistent increasing trend with rising Reynolds number, and the numerical results show good agreement with the experimental measurements throughout the entire range.

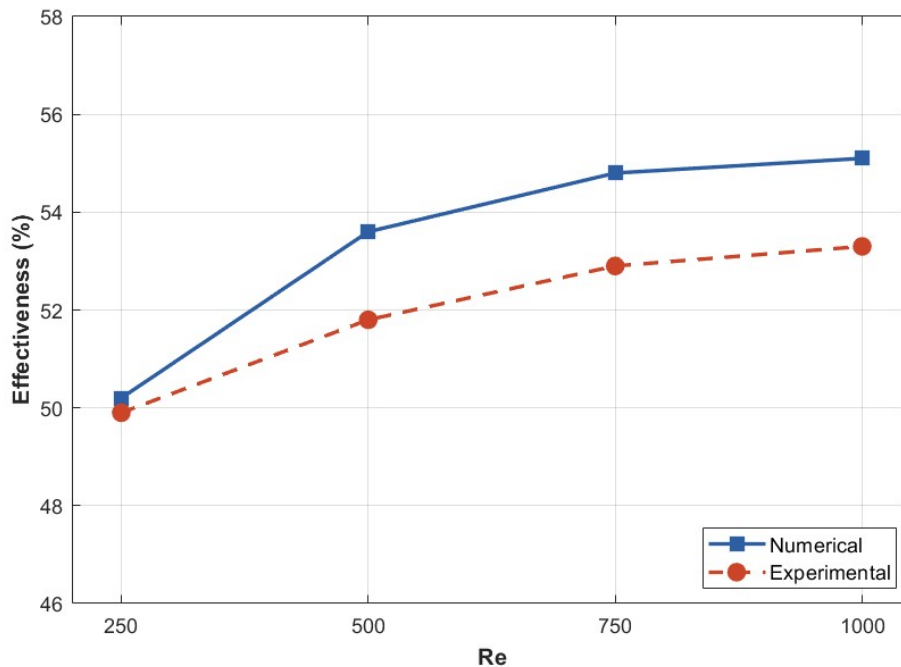


Figure 6. Comparison of numerical and experimental heat transfer effectiveness values for validation of the CFD model.

The maximum deviation between the numerical and experimental results is 3.5%, observed at $Re = 750$, which confirms the reliability and accuracy of the developed CFD model. Consequently, the validated model was employed for all subsequent parametric simulations.

Determination of ANN Algorithms

In this study, an Artificial Neural Network (ANN) model was developed to predict the heat transfer effectiveness of the double-pipe heat exchanger as a function of Reynolds number and inlet temperature. Three training algorithms were evaluated to determine the most suitable approach: Levenberg-Marquardt (LM), Bayesian Regularization (BR), and Scaled Conjugate

Gradient (SCG). The network was trained, validated, and tested using the numerical dataset obtained from the CFD simulations. The performance of each algorithm was assessed based on the mean squared error (MSE) and the coefficient of determination (R^2), and the algorithm yielding the highest predictive accuracy was selected for the final correlation

$$\hat{\varepsilon} = W^{(2)} \cdot f(W^{(1)}x + b^{(1)}) + b^{(2)}$$

The hyperbolic tangent sigmoid (tansig) function was used as the activation function in the hidden layer, which is defined as:

$$f(x) = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1$$

where x is the weighted sum of inputs to a neuron. This function maps the input values to the range $[-1, 1]$, which improves the convergence behavior during training.

The mean squared error (MSE) was used as the primary performance metric to evaluate the prediction accuracy of each training algorithm, and is defined as:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\varepsilon_i^{pred} - \varepsilon_i^{actual})^2$$

where N is the total number of data points, ε_i^{pred} is the ANN-predicted effectiveness value, and ε_i^{actual} is the corresponding value obtained from CFD simulations.

In addition to MSE, the coefficient of determination (R^2) was employed to assess the correlation between the predicted and actual values, and is expressed as:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (\varepsilon_i^{actual} - \varepsilon_i^{pred})^2}{\sum_{i=1}^N (\varepsilon_i^{actual} - \bar{\varepsilon})^2}$$

where $\bar{\varepsilon}$ is the mean of the actual effectiveness values. An R^2 value approaching unity indicates a high degree of agreement between the ANN predictions and the CFD results.

Figure 7 illustrates the architecture of the ANN model developed in this study. The network consists of an input layer with two neurons representing the porosity (ϕ) and the dimensionless porous layer thickness (L/D), one hidden layer containing ten neurons with a hyperbolic tangent sigmoid (tansig) activation function, and an output layer with a single neuron yielding the predicted heat transfer effectiveness (ε). The network was trained using

the Bayesian Regularization algorithm, which was selected based on its superior performance among the three evaluated training algorithms.

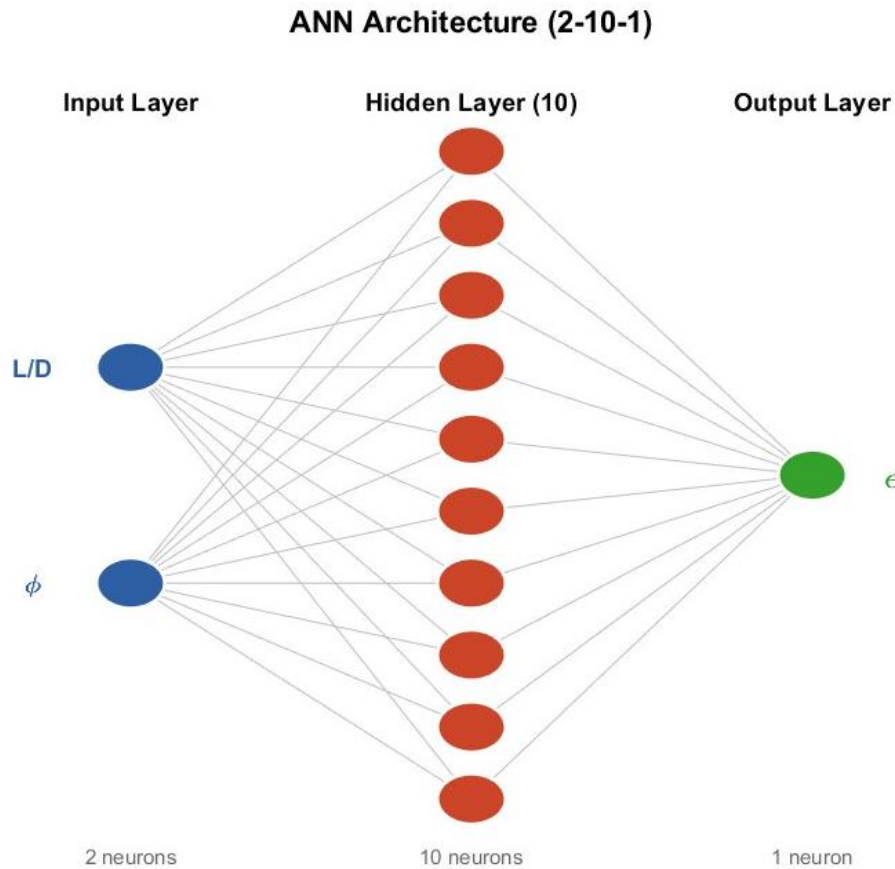


Figure 7. Schematic representation of the ANN architecture (2-10-1) employed for heat transfer effectiveness prediction.

The network was trained using the Bayesian Regularization algorithm, which was selected based on its superior performance among the three evaluated training algorithms.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, the thermal performance of a double-pipe heat exchanger equipped with a porous insert was numerically investigated under varying structural parameters. The parameters examined include different porosity values ($\phi = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$) and different dimensionless porous layer thicknesses ($L/D = 0.071, 0.107, 0.143, 0.179$). Throughout all simulations, the hot fluid Reynolds number and inlet temperature were kept constant at $Re = 250$ and $T_{in} = 50^\circ\text{C}$, respectively, while the cold fluid inlet temperature and Reynolds number were maintained at 20°C and 200. The detailed parameters of the investigated cases are presented in Table 3.

Table 3. Investigated parameter groups for the double-pipe heat exchanger study.

Group	Fixed variables	Parameters
1	$Re_{hot} = 250$ $T_{hot} = 50^{\circ}C$ $L/D = 0.071$	$\phi = 0.2$ $\phi = 0.4$ $\phi = 0.6$ $\phi = 0.8$
2	$Re_{hot} = 250$ $T_{hot} = 50^{\circ}C$ $\phi = 0.6$	$L/D = 1.0/14$ $L/D = 1.5/14$ $L/D = 2.0/14$ $L/D = 2.5/14$

Effect of Porosity

Figure 8 illustrates the effect of porosity on heat transfer effectiveness for different dimensionless porous layer thicknesses at a constant Reynolds number of $Re = 250$ and hot fluid inlet temperature of $50^{\circ}C$. As the porosity decreases from 0.8 to 0.2, the effectiveness increases across all investigated L/D values, indicating that denser porous structures promote more intensive fluid-solid interaction and consequently enhance heat transfer performance. For $L/D = 0.071$, the effectiveness rises from 67.1% at $\phi = 0.8$ to 72.4% at $\phi = 0.2$, corresponding to an overall enhancement of 7.9%. A more pronounced improvement is observed at higher L/D values, where the effectiveness increases from 75.6% to 80.3% for $L/D = 0.179$, representing an enhancement of 6.2%. In all cases, the rate of increase becomes more gradual at lower porosity values, suggesting that the marginal benefit of further reducing porosity diminishes beyond a certain threshold. Furthermore, higher L/D values consistently yield greater effectiveness across the entire porosity range, confirming the combined influence of porosity and porous layer thickness on overall thermal performance.

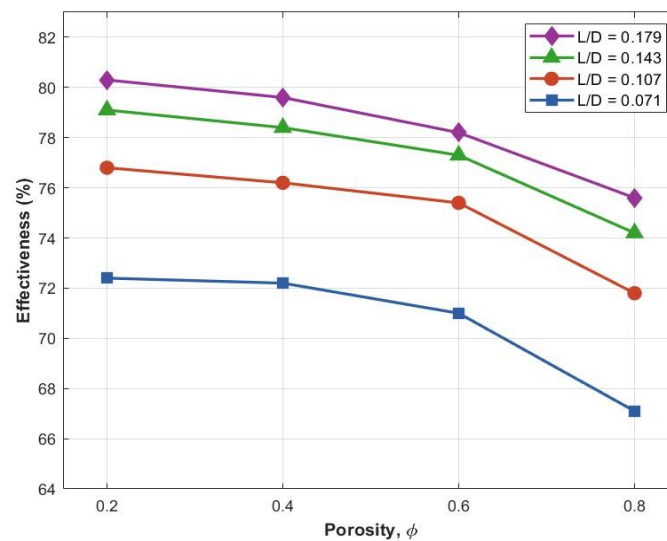


Figure 8. Effect of porosity dense on effectiveness for different L/D ratios.

Figure 9 presents the temperature contours for four different porosity values ($\phi = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$) at $Re = 250$ and $T_{in} = 50^\circ C$. As porosity decreases, the temperature distribution becomes progressively more uniform in the radial direction, indicating enhanced heat transfer between the fluid streams.



Figure 9. Temperature contours for different porosity values at $Re = 250$ and $T_{in} = 50^\circ C$ ($L/D = 0.071$).

At $\phi = 0.8$, a pronounced thermal gradient persists between the hot and cold regions, while at $\phi = 0.2$, the denser porous structure promotes greater fluid mixing and a more homogeneous temperature field. These observations are consistent with the effectiveness results, confirming that lower porosity values enhance overall thermal performance.

Figure 10 presents the velocity vector contours for four different porosity values ($\phi = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$) at $Re = 250$ and $T_{in} = 50^\circ C$. As porosity decreases, the high-velocity core region narrows progressively, indicating that the denser porous structure imposes greater flow resistance and forces the fluid to interact more extensively with the solid matrix.

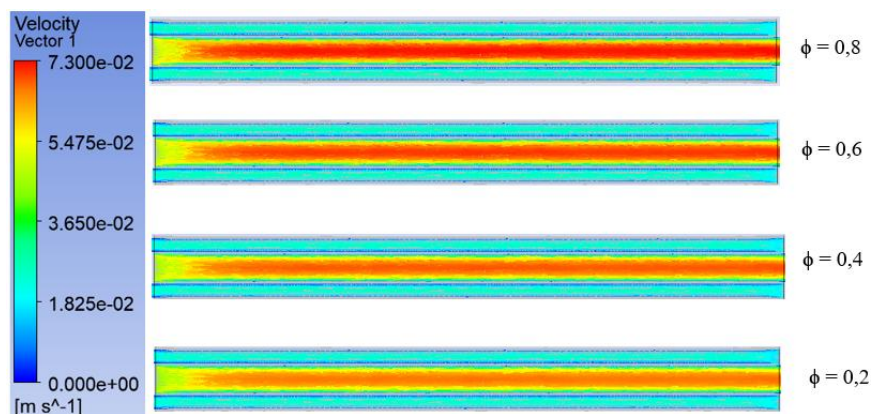


Figure 10. Velocity vector contours for different porosity values at $Re = 250$ and $T_{in} = 50^\circ C$ ($L/D = 0.071$).

At $\phi = 0.8$, the velocity is predominantly concentrated in the central region with a relatively wide high-velocity zone, while at $\phi = 0.2$, the more compact porous structure restricts the flow and distributes the velocity more uniformly across the cross-section. This enhanced fluid-solid interaction at lower porosity values promotes more effective convective heat transfer, which is consistent with the higher effectiveness values observed at lower porosity ratios.

Effect of Porous Layer Thickness

Figure 11 illustrates the effect of dimensionless porous layer thickness on heat transfer effectiveness for different porosity values at $Re = 250$ and $T_{in} = 50^\circ C$. As L/D increases from 0.071 to 0.179, the effectiveness increases across all investigated porosity values, indicating that a thicker porous layer enhances fluid-solid interaction and promotes more effective heat transfer. For $\phi = 0.2$, the effectiveness rises from 72.4% at $L/D = 0.071$ to 80.3% at $L/D = 0.179$, corresponding to an overall enhancement of 10.9%. A similar trend is observed for $\phi = 0.8$, where the effectiveness increases from 67.1% to 75.6%, representing an enhancement of 12.7%.

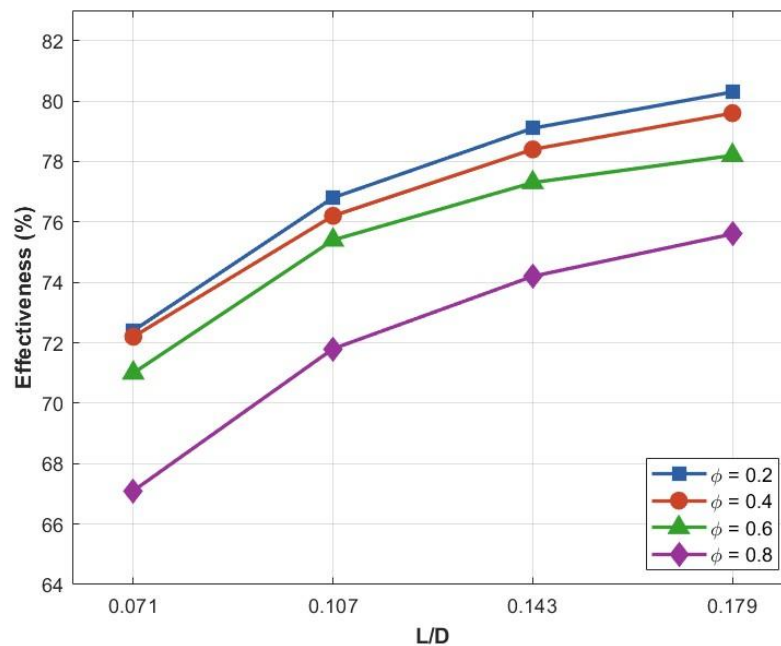


Figure 11. Effect of porosity thickness for different porosity ratios.

In all cases, the rate of increase becomes more gradual at higher L/D values, suggesting that the marginal benefit of further increasing the porous layer thickness diminishes beyond a certain point. Furthermore, lower porosity values consistently yield higher effectiveness

across the entire L/D range, confirming the combined influence of both structural parameters on overall thermal performance.

Figure 12 presents the temperature contours for four different dimensionless porous layer thickness values ($L/D = 0.071, 0.107, 0.143, 0.179$) at $Re = 250$ and $T_{in} = 50^\circ\text{C}$. As L/D increases, the hot fluid region expands progressively in the axial direction, indicating that a thicker porous layer facilitates more extensive heat exchange along the length of the exchanger.

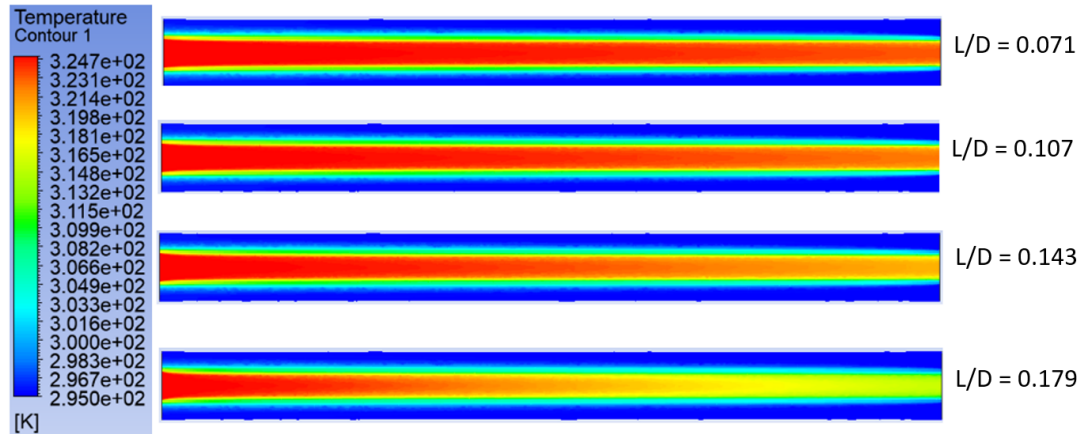


Figure 12. Temperature contours for different dimensionless porous layer thickness values at $Re = 250$ and $T_{in} = 50^\circ\text{C}$ ($\phi = 0.6$).

At $L/D = 0.071$, the thermal gradient between the hot and cold regions remains relatively steep, while at $L/D = 0.179$, the temperature distribution becomes more gradual, reflecting the enhanced thermal interaction promoted by the increased porous layer thickness. These observations are consistent with the effectiveness results, confirming that greater porous layer thickness contributes to improved overall thermal performance.

Figure 13 presents the velocity vector contours for four different dimensionless porous layer thickness values ($L/D = 0.071, 0.107, 0.143, 0.179$) at $Re = 250$ and $T_{in} = 50^\circ\text{C}$. As L/D increases, the high-velocity core region expands progressively in the radial direction, indicating that a thicker porous layer redistributes the flow more uniformly across the cross-section.

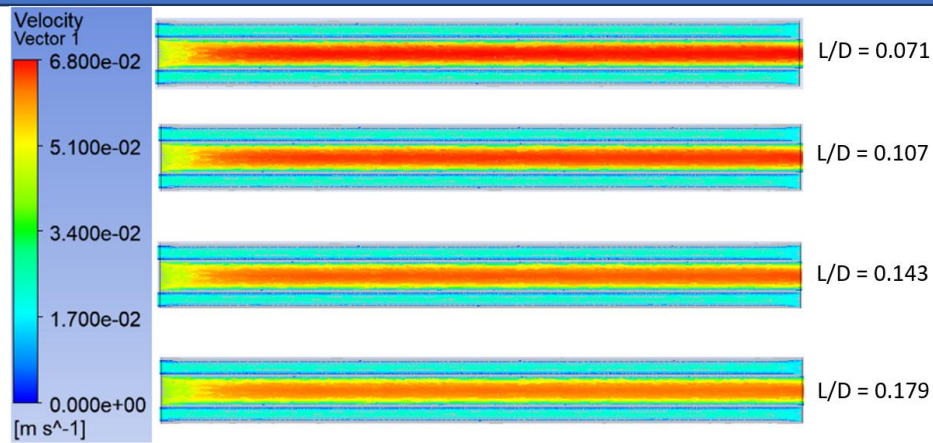


Figure 13. Velocity vector contours for different dimensionless porous layer thickness values at $Re = 250$ and $T_{in} = 50^\circ C$ ($\phi = 0.6$).

At $L/D = 0.071$, the velocity distribution is largely concentrated in the central region, while at $L/D = 0.179$, the porous layer occupies a greater portion of the pipe cross-section, promoting more intensive fluid-solid interaction and reducing the dominance of the high-velocity core. This more uniform velocity distribution contributes to enhanced convective heat transfer, which is consistent with the higher effectiveness values observed at greater L/D ratios.

Results of ANN Algorithms

Figure 14 presents the scatter plots of predicted versus actual heat transfer effectiveness values for the three investigated training algorithms. The Levenberg-Marquardt algorithm exhibits a significantly poor predictive performance with $R^2 = 0.4459$ and $MSE = 6.936$, which is attributed to the complex and non-monotonic relationship between the structural parameters and heat transfer effectiveness, causing the algorithm to converge to a local minimum.

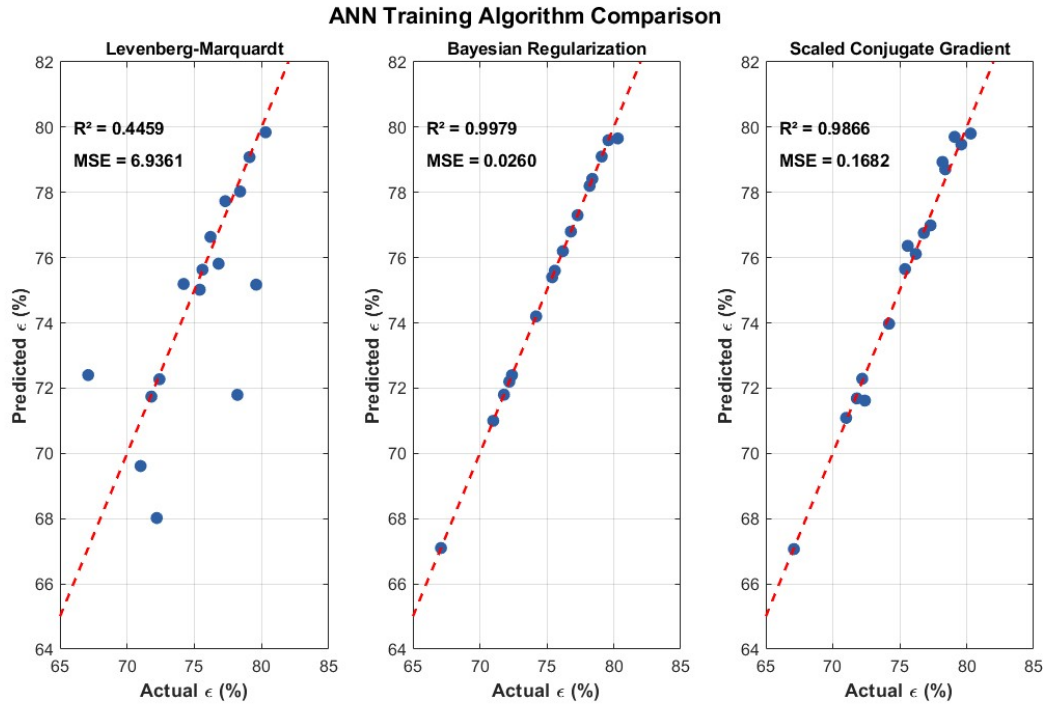


Figure 14. Comparison of ANN training algorithm performance.

The Scaled Conjugate Gradient algorithm yields a considerably better performance with $R^2 = 0.9866$ and $MSE = 0.168$, demonstrating its ability to capture the underlying trends in the dataset. The Bayesian Regularization algorithm achieves the best overall performance with $R^2 = 0.9979$ and $MSE = 0.026$, exhibiting excellent agreement between predicted and actual values across the entire dataset. Based on these results, the Bayesian Regularization algorithm was selected for the development of the final heat transfer effectiveness correlation.

Figure 15 presents the scatter plot of predicted versus actual heat transfer effectiveness values obtained from the developed quadratic correlation. The data points are distributed closely along the ideal agreement line, confirming the strong predictive capability of the correlation with $R^2 = 0.9929$ and $MSE = 0.0885$.

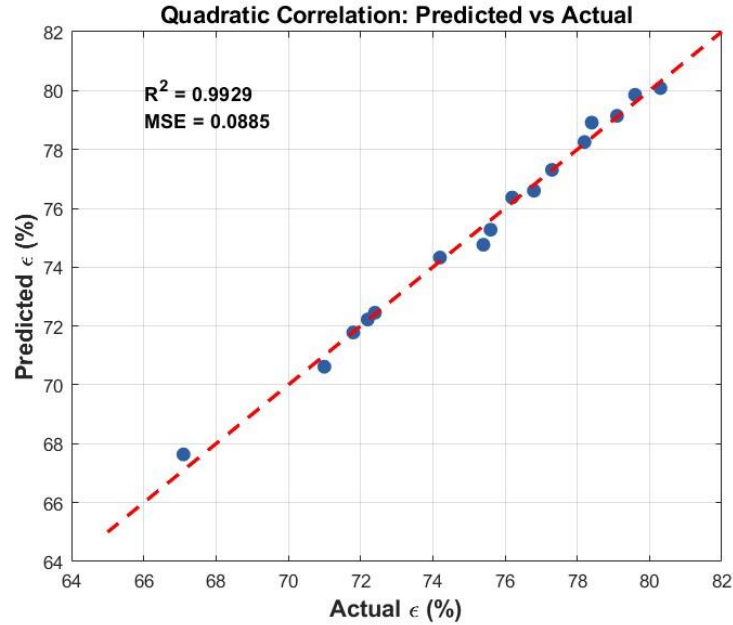


Figure 15. Comparison of predicted and actual heat transfer effectiveness values for the developed quadratic correlation.

The following correlation was developed for the porous-inserted configuration based on a quadratic regression of the numerical dataset as a function of porosity and dimensionless porous layer thickness:

$$\varepsilon = 58.4431 + 9.1625\phi + 225.0154\left(\frac{L}{D}\right) - 17.1875\phi^2 - 617.2840\left(\frac{L}{D}\right)^2$$

where ε is the heat transfer effectiveness (%), ϕ is the porosity of the porous insert, and L/D is the dimensionless porous layer thickness. The correlation is valid for $0.2 \leq \phi \leq 0.8$ and $0.071 \leq L/D \leq 0.179$, yielding $R^2 = 0.993$ and $MSE = 0.089$, indicating a strong agreement between the predicted and actual effectiveness values.

4. CONCLUSION

In this study, the thermal performance of a double-pipe heat exchanger equipped with a porous insert was numerically investigated under varying structural parameters. The effects of porosity ($\phi = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8$) and dimensionless porous layer thickness ($L/D = 0.071, 0.107, 0.143, 0.179$) on heat transfer effectiveness were systematically examined at a constant Reynolds number of $Re = 250$ and hot fluid inlet temperature of 50°C . A quadratic regression-based correlation was developed using the Bayesian Regularization algorithm. The following key findings were obtained:

1. Based on the validated CFD results, decreasing the porosity from 0.8 to 0.2 enhanced the heat transfer effectiveness by up to 7.9% at $L/D = 0.071$, confirming that denser porous structures promote more intensive fluid-solid interaction.
2. Increasing the dimensionless porous layer thickness from $L/D = 0.071$ to $L/D = 0.179$ resulted in a heat transfer effectiveness enhancement of 10.9% at $\phi = 0.2$, indicating that greater porous layer thickness facilitates more extensive heat exchange along the exchanger length.
3. The combined effect of porosity and porous layer thickness was found to be significant, with the configuration of $\phi = 0.2$ and $L/D = 0.179$ yielding the highest effectiveness of 80.3%.
4. Among the three evaluated training algorithms, the Bayesian Regularization algorithm achieved the best predictive performance with $R^2 = 0.9979$ and $MSE = 0.026$.
5. A second-order polynomial correlation was developed as a function of porosity and dimensionless porous layer thickness, yielding $R^2 = 0.993$ and $MSE = 0.089$, demonstrating strong agreement between predicted and actual effectiveness values.

Abbreviations

ANN	Artificial Neural Network
BR	Bayesian Regularization
CFD	Computational Fluid Dynamics
IWP	Interconnected Wall Phase
LM	Levenberg-Marquardt
MHD	Magnetohydrodynamics
PCM	Phase Change Material
SCG	Scaled Conjugate Gradient
TPMS	Triply Periodic Minimal Surface

REFERENCES

1. Sahin M, Kilic M, Karadag MA (2025) Investigation of heat transfer enhancement using hemispherical turbulators in a double-pipe regenerative heat exchanger with phase change material. *J Therm Anal Calorim* 150:10249–10265. <https://doi.org/10.1007/s10973-025-14387-2>
2. Kilic M, Sahin M, Abdulvahitoglu A (2024) A new approach for enhancing the effectiveness of a regenerative heat exchanger by using organic and inorganic phase change material. *J Therm Anal Calorim* 149:13081–13093. <https://doi.org/10.1007/s10973-024-13599-2>
3. Dal A, Şahin M, Kiliç M (2023) A thermohydrodynamic performance analysis of a fluid film bearing considering with geometrical parameters. *Journal of Thermal Engineering* 9:1604–1617. <https://doi.org/10.18186/THERMAL.1401279>

4. Ala M, Şahin M, Kılıç M, Dişken G (2025) An Investigation on Design Criteria of Heat Exchangers by Using Tree Models of Machine Learning Methods. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi* 40:375–386. <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1674303>
5. Alomari MA, Hassan AM, Al-Salami QH, et al (2025) Numerical analysis of Soret/Dufour MHD convection in a NEPCM-filled cavity with partial porous foam: Double pipe heat exchanger application. *Heat Transfer* 54:788–830. <https://doi.org/10.1002/htj.23185>
6. Sudarmozhi K, Iranian D, Albidah AB, Khan I (2025) Investigation of activation energy of Maxwell fluid with Newtonian heat effect at the boundary layer flow on a cylinder embedded in porous medium. *ZAMM Zeitschrift fur Angewandte Mathematik und Mechanik* 105:. <https://doi.org/10.1002/zamm.202300337>
7. Abdullah AA, Ahmed OK, Aziz NM (2025) Performance comparison of PV/Trombe wall utilizing porous media and phase change materials: Experimental study. *J Energy Storage* 129:. <https://doi.org/10.1016/j.est.2025.117316>
8. Khan M, Lu D, Imran M, Anwar MS (2025) Numerical insights into enhanced heat transfer mechanisms in TiO₂-Au ethylene glycol nanofluids within Darcy porous media using fractional calculus. *Case Studies in Thermal Engineering* 70:. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2025.106063>
9. Khalil S, Abbas T, Nawaz R (2025) Enhanced thermal and flow behavior of Cu-Al₂O₃/water hybrid nanofluids in porous media under variable magnetic field conditions. *International Journal of Thermofluids* 27:. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2025.101166>
10. Lee S, Kang S, Kim Y, et al (2025) Thermal design framework of heat pipe heat exchanger for efficient waste heat recovery. *Energy* 318:. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.134731>
11. Men Z, Chen W, Li Q, Liu S (2025) Topology optimization of the IWP triply periodic minimal surfaces (TPMS) heat sink based on porous media effective model. *Int J Heat Mass Transf* 240:. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.126657>
12. Yaghoubzadeh Vishkaei M, Javaherdeh K (2025) Evaluating the efficiency and effectiveness of non-Newtonian fluid flow in a double-pipe heat exchanger with porous medium via numerical simulation. *Numeri Heat Transf A Appl* 86:5431–5452. <https://doi.org/10.1080/10407782.2024.2330087>
13. Popov AI, Bragin DM, Eremin A V. (2025) Heat and mass transfer in TPMS-based porous media: Two-medium approach. *Int J Heat Mass Transf* 253:. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2025.127553>
14. DiReda N, Saha A, D’Orazio G, Sobhani S (2025) Integrating bio-inspired morphologies into porous media burners: Experimental and computational insights on interphase heat exchange. *Int J Heat Mass Transf* 237:. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.126295>
15. Chung SS, Kim N, Jo HJ (2025) Effect of flow distribution on heat transfer in Printed Circuit Heat Exchangers using conjugate heat transfer model with a modified porous media approach. *Appl Therm Eng* 266:. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2025.125540>
16. Li J, Han Z, Liu W, et al (2025) Study on the effect of the porous media equivalent particulate fouling model on heat transfer performance in heat exchanger channels. *Appl Therm Eng* 266:. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2025.125709>
17. Cengel YA, Ghajar AJ (2020) *Heat and mass transfer : fundamentals and applications*, 6th ed

NUMERICAL INVESTIGATION AND ANN-BASED THERMAL PERFORMANCE CORRELATION FOR A DOUBLE-PIPE HEAT EXCHANGER WITH POROUS MEDIA: EFFECTS OF FLOW PARAMETERS

Mahir ŞAHİN

Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Adana
ORCID: 0000-0002-9565-9160

Mustafa KILIÇ

Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Adana
ORCID: 0000-0002-8006-149X

Samet YOZCU

Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Adana
ORCID: 0009-0004-2574-357X

İzel KÖKTEN KAYA

Bomak Makina İmalat Çelik Konst. Müh. Metalurji İnş. Taah. San. Ve Tic. Ltd. Şti,
Adana Industrial Engineer
ORCID: 0009-0006-4319-1267

Taner ALTUNOK

University of Turkish Aeronautical Association, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Ankara
ORCID: 0000-0002-7084-5178

Mithat Kutay CAN

University of Turkish Aeronautical Association, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Ankara
ORCID: 0000-0002-7910-2995

ABSTRACT

The integration of porous media into heat exchanger geometries has emerged as a promising passive heat transfer enhancement technique due to its ability to increase effective heat transfer surface area and enhance fluid mixing without requiring external energy input. This study presents a numerical investigation of the thermal performance of a double-pipe heat exchanger operating under counter-flow conditions, with water as the working fluid on both sides. The effects of Reynolds number ($Re = 250, 500, 750, 1000$) and hot fluid inlet temperature ($T_{in} = 30^{\circ}\text{C}, 40^{\circ}\text{C}, 50^{\circ}\text{C}, 60^{\circ}\text{C}$) on heat transfer effectiveness are systematically examined under laminar flow conditions for two configurations: a plain inner tube and an inner tube equipped with a porous insert of fixed porosity and thickness. Experimental measurements are conducted to validate the CFD model implemented in ANSYS Fluent 2022 R1, with a maximum deviation of 3.5% between numerical and experimental results. The validated CFD results indicate that increasing the Reynolds number from 250 to 1000 enhances effectiveness by 4.9% and 5.2% for the plain and porous-inserted configurations, respectively, while increasing the inlet temperature from 30°C to 60°C yields a 1.6% and 1.4% improvement for the plain tube and porous-inserted configurations, respectively.

Additionally, an ANN-based predictive correlation for heat transfer effectiveness is developed using the Bayesian Regularization algorithm, achieving $R^2 = 0.9999$ and $MSE = 0.0027$.

Keywords: Flow condition, heat transfer, machine learning, porous media.

GÖZENEKLİ YAPILI BİR ÇİFT BORULU ISI DEĞİŞTİRİCİSİNİN SAYISAL İNCELENMESİ VE YSA İLE PERFORMANS KORELASYONU: AKIŞ PARAMETRELERİNİN ETKİSİ

ÖZET

Isı değıştirci geometrilerine gözenekli ortam entegrasyonu, etkili ısı transfer yüzey alanını artırması ve harici enerji girişı gerektirmeksizin akışkan karışımını iyileştirmesi sayesinde umut verici bir pasif ısı transfer artırma tekniğı olarak öne çıkmaktadır. Bu çalışmada, her iki tarafta çalışma akışkanı olarak suyun kullanıldığı, ters akış koşullarında çalışan bir çift borulu ısı değıştircisinin ısıl performansı sayısal olarak incelenmiştir. Düz iç boru ve sabit porozite ile kalınlığa sahip gözenekli dolgu içeren iç boru olmak üzere iki farklı konfigürasyon için Reynolds sayısının ($Re = 250, 500, 750, 1000$) ve sıcak akışkan giriş sıcaklığının ($T_{giriş} = 30^{\circ}C, 40^{\circ}C, 50^{\circ}C, 60^{\circ}C$) ısı transfer etkinliğine etkileri laminar akış koşulları altında sistematik olarak incelenmiştir. ANSYS Fluent 2022 R1'de uygulanan HAD modeli, deneysel ölçümler kullanılarak doğrulanmış olup sayısal ve deneysel sonuçlar arasındaki maksimum sapma %3,5 olarak belirlenmiştir. Doğrulanmış HAD sonuçları, Reynolds sayısının 250'den 1000'e artırılmasının düz boru ve gözenekli dolgulu konfigürasyonlarda etkinliği sırasıyla %4,9 ve %5,2 oranında artırdığını göstermektedir. Giriş sıcaklığının $30^{\circ}C$ 'den $60^{\circ}C$ 'ye yükseltilmesi ise düz boru ve gözenekli dolgulu konfigürasyonlarda sırasıyla %1,6 ve %1,4 oranında iyileşme sağlamaktadır. Ayrıca Bayes Düzenleştirme algoritması kullanılarak ısı transfer etkinliği için YSA tabanlı bir tahmin korelasyonu geliştirilmiş ve $R^2 = 0,9999$, $MSE = 0,0027$ değerleri elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Akış koşulları, ısı transferi, makine öğrenmesi, gözenekli ortam.

1. INTRODUCTION

The depletion of conventional energy resources has intensified the focus on energy conservation and the development of systems compatible with renewable energy technologies. In this context, heat exchangers serve as critical components, and enhancing their performance through passive techniques has become an increasingly prominent research area [1, 2]. Among these techniques, the integration of porous media into heat exchanger geometries stands out due to the high surface-to-volume ratio of porous structures, which promotes greater fluid-solid interaction and turbulence intensity, thereby improving overall heat transfer performance. In double-pipe heat exchanger configurations specifically, passive

enhancement methods such as surface modifications, vortex generators, and porous inserts have demonstrated considerable potential for achieving more compact and energy-efficient thermal systems [3, 4].

When the literature is examined, Alomari et al. [5] numerically investigated double-diffusive convection of nano-encapsulated phase change materials in a porous foam-filled thermal storage system, considering the effects of Rayleigh number, Darcy number, Hartmann number, and nanoparticle concentration. Their findings indicated that while Rayleigh and Hartmann numbers significantly influenced fluid flow and heat transfer, decreasing the Darcy number from 0.1 to 10^{-4} resulted in approximately 30% reduction in both Nusselt and Sherwood numbers. Sudarmozhi et al. [6] investigated MHD flow of Maxwell fluid over a permeable cylinder, demonstrating that porous medium presence and magnetic effects significantly alter velocity and temperature profiles while enhancing the Nusselt number. Abdullah et al. [7] experimentally evaluated a photovoltaic/thermal wall system incorporating porous materials and phase change materials, finding that the PCM-based configuration achieved superior thermal efficiency (47.25%) and electrical output compared to the porous material system (42.31%). Khan et al. [8] numerically investigated MHD boundary layer flow of TiO_2 -Au hybrid nanofluids in ethylene glycol using a fractional calculus approach, demonstrating that the porosity parameter increases skin friction coefficient by 3.52% while the thermal fractional parameter enhances the Nusselt number by the same margin. Khalil et al. [9] examined heat transfer characteristics of a copper-alumina hybrid nanofluid over a porous exponentially stretching surface, incorporating temperature-dependent viscosity and magnetic field effects, finding that reduced viscosity at elevated temperatures enhances fluid motion while viscous dissipation significantly raises boundary layer temperatures.

Lee et al. [10] proposed a computational framework for finned heat pipe heat exchangers by modeling heat pipes as solid conductors and finned sections as porous media, validating the approach experimentally and achieving predictive accuracy within $\pm 6.2\%$ for a system recovering 30.2 kW of waste heat with a thermal effectiveness of 0.78. Men et al. [11] applied topology optimization to IWP-type triply periodic minimal surface heat sinks using a porous media effective model, demonstrating that the optimized configuration reduced peak temperature and pressure drop by up to 11.66% and 39.13%, respectively, highlighting the potential of combining porous media modeling with structural optimization for enhanced thermal performance. Vishkaei and Javaherdeh [12] numerically investigated turbulent convection heat transfer in a double-pipe heat exchanger with porous rings using non-Newtonian fluid, finding that porous ring integration increased the Nusselt number by up to

56.3% and improved system efficiency by 11.25%, while non-Newtonian fluid use raised the average Nusselt number and pressure drop by 40.1% and tenfold, respectively. Popov et al. [13] developed a computationally efficient two-temperature model for heat and mass transfer in TPMS-based porous materials, demonstrating that their Python-based solver achieved over 50 times faster computation compared to ANSYS Fluent with less than 1% discrepancy at low flow velocities. DiReda et al. [14] experimentally and numerically investigated the effect of TPMS morphology on porous media burner performance, finding that diamond and I-WP structures exhibited superior stability and thermal characteristics compared to gyroid and primitive configurations, underscoring the significance of morphology selection in optimizing interphase heat exchange. Chung et al. [15] applied a modified porous media method with conjugate heat transfer to printed circuit heat exchanger simulations, reducing computational cost by approximately 370 times while maintaining a maximum error of 12%, and demonstrated that increasing the Euler number from 1.5 to 3.0 improved the Colburn-Chilton j-factor by 12.5%. Li et al. [16] proposed a porous media equivalent particulate fouling model for heat exchanger channels, demonstrating 5.48% improved correlation with experimental data compared to traditional models, and finding that a fouling layer thickness of 0.42 mm reduced heat transfer efficiency by 12.1% while increasing flow resistance by 36.0%.

Although porous media integration in heat exchangers has been widely studied, a systematic experimental and numerical investigation focusing specifically on the effects of Reynolds number and inlet temperature in a porous-inserted double-pipe heat exchanger under counter-flow conditions remains scarce. This study addresses this gap by combining experimental validation, CFD simulations, and machine learning-based correlation development to provide a comprehensive and data-driven assessment of thermal performance.

2. MATERIALS AND METHODS

Experimental Procedure

The experimental study was conducted using a double-pipe heat exchanger operating under counter-flow conditions, with pure water as the working fluid on both the hot and cold sides. The heat exchanger consists of two coaxially arranged concentric pipes, where the inner pipe is made of stainless steel (AISI 304) with an inner diameter of 14 mm and an outer diameter of 16 mm, while the outer pipe is manufactured from polycarbonate. Hot water flows through the inner pipe, while cold water circulates through the annular region between the inner and outer pipes.

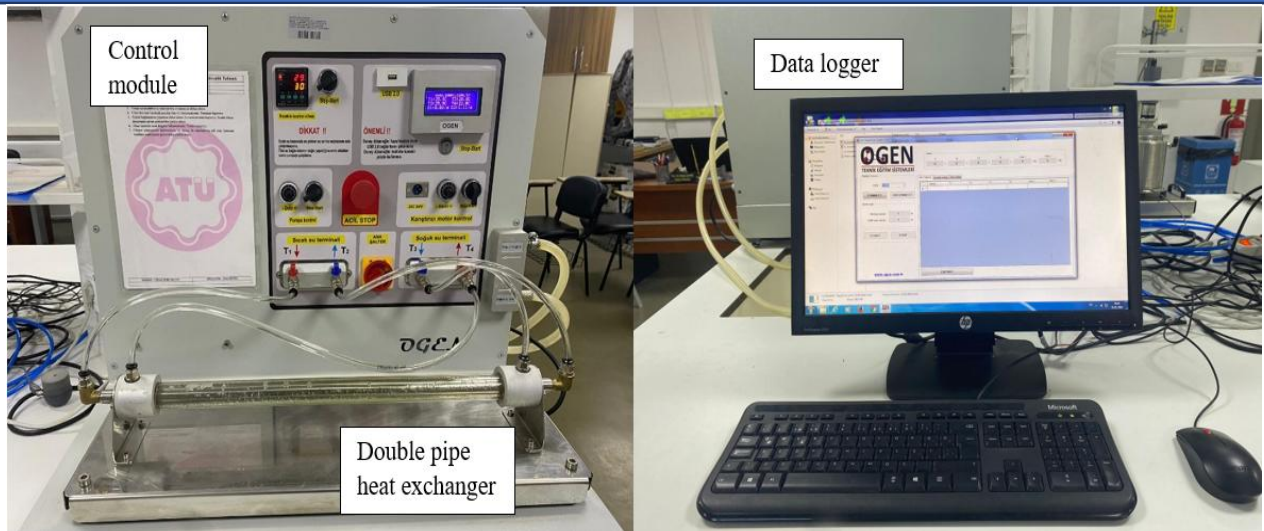


Figure 1. Experimental setup images of double pipe heat exchanger and data logger

The hot fluid inlet temperature was varied as $T_{h,in} = 30^{\circ}\text{C}$, 40°C , 50°C , and 60°C , while the cold fluid inlet temperature was maintained constant at $T_{c,in} = 20^{\circ}\text{C}$ throughout all experiments. The Reynolds number of the hot fluid was set to $Re = 250$, 500 , 750 , and 1000 to evaluate its effect on thermal performance under laminar flow conditions, consistent with low-temperature waste heat recovery system operating requirements, while the Reynolds number of the cold fluid was kept constant at $Re = 200$.

Numerical Study

The continuity, momentum, and energy equations employed in the solution of the steady-state flow problem, along with the formulas used to calculate heat transfer effectiveness, are presented below. These equations are expressed in cylindrical coordinates (r , θ , z).

Continuity equation:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(r u_r)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial(u_{\theta})}{\partial \theta} + \frac{\partial(u_z)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

Momentum equations:

r-direction:

$$\begin{aligned} p \left(\frac{\partial(u_r)}{\partial t} + u_r \frac{\partial(u_r)}{\partial r} + \frac{u_{\theta}}{r} \frac{\partial(u_r)}{\partial \theta} - u_{\theta}^2 + u_z \frac{\partial(u_r)}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial r} + p g_r + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u_r}{\partial r} \right) - \frac{u_r}{r^2} + \right. \\ \left. \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_r}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial u_{\theta}}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 u_r}{\partial z^2} \right] \end{aligned} \quad (2)$$

θ-direction:

$$p \left(\frac{\partial u_\theta}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_\theta}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_\theta}{\partial \theta} + \frac{u_\theta u_r}{r} + u_z \frac{\partial u_\theta}{\partial z} \right) = -\frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial \theta} + p g_\theta + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u_\theta}{\partial r} \right) - \frac{u_\theta}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_\theta}{\partial \theta^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial u_r}{\partial \theta} + \frac{\partial^2 u_\theta}{\partial z^2} \right] \quad (3)$$

z-direction:

$$p \left(\frac{\partial u_z}{\partial t} + u_r \frac{\partial u_z}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial u_z}{\partial \theta} + u_z \frac{\partial u_z}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + p g_z + \mu \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial u_z}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u_z}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 u_z}{\partial z^2} \right] \quad (4)$$

Energy conservation equation:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u_r \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{u_\theta}{r} \frac{\partial T}{\partial \theta} + u_z \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\dot{q}_g}{c_p} + \alpha \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 T}{\partial \theta^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right] + \frac{\phi}{p c_p} \quad (5)$$

Heat transfer calculations (6-9) form the basis for determining the heat transfer rate, effectiveness, and other essential parameters needed to evaluate the system's thermal performance [17].

Actual and maximum heat transfer rates:

$$\dot{Q}_{act} = \dot{m} c_p (T_{h,in} - T_{h,out}) \quad (6)$$

$$\dot{Q}_{max} = C_{min} \Delta T_{max} \quad (7)$$

$$C_{min} = C_{min} \Delta T_{max} \quad (8)$$

$T_{h,in}$ refers hot fluid inlet temperature and $T_{c,in}$ for the cold fluid. Heat capacity rates are defined as follows:

$$C_c = \dot{m}_c c_{pc} \quad (9)$$

$$C_h = \dot{m}_h c_{ph} \quad (10)$$

$$\Delta T_{max} = T_{h,in} - T_{c,in} \quad (11)$$

Number of Transfer Units (NTU) approach is especially useful when the input and output temperatures are uncertain, as well as for heat exchanger size assessments.

$$NTU = \frac{UA_s}{C_{min}} \quad (12)$$

Heat transfer effectiveness represents an important parameter for comparing heat exchanger performance. This is particularly useful in identifying how efficiently a heat exchanger utilizes the available temperature difference between fluids to transfer energy. The

effectiveness parameter is widely applied in both experimental and theoretical studies, as it provides a clear, quantitative measure of how close a heat exchanger operates to its optimal thermal performance, making it an essential tool in thermal system design and optimization.

$$\varepsilon = \frac{\dot{Q}_{act}}{\dot{Q}_{max}} = \frac{\text{Actual heat transfer rate}}{\text{Maximum heat transfer rate}} \quad (13)$$

The numerical model of the double-pipe heat exchanger was developed using ANSYS Fluent 2022 R1. The heat exchanger geometry consists of two coaxially arranged concentric pipes with a total length of 500 mm. The inner pipe is made of stainless steel (AISI 304) with an inner diameter of 14 mm and an outer diameter of 16 mm, while the outer pipe is manufactured from polycarbonate.

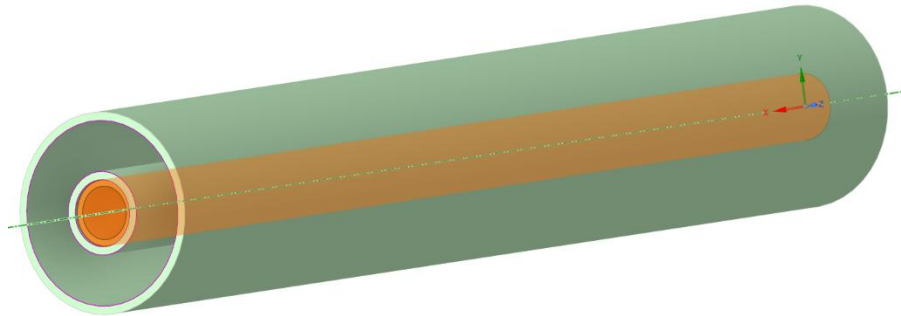


Figure 2. Numerical geometry of the heat exchanger integrated with porous section

A copper porous insert with a fixed porosity ratio of $\phi = 0.6$ and a dimensionless thickness of $L/D = 0.286$ was integrated onto the inner surface of the inner pipe. Pure water was used as the working fluid on both the hot and cold sides in a counter-flow arrangement.

Table 1. Boundary conditions for the numerical method.

Boundary	$U(ms^{-1})$	$V(ms^{-1})$	$W(ms^{-1})$	$T(K)$
Hot Fluid Inlet	$U=U_{inlet}$	$V=0$	$W=0$	$T=T_{hot,in}$
Cold Fluid Inlet	$U=0$	$V=V_{in}$	$W=0$	$T=T_{cold,in}$
Hot Fluid Outlet	$\frac{\partial U}{\partial x} = 0$	$\frac{\partial V}{\partial x} = 0$	$\frac{\partial W}{\partial x} = 0$	$\frac{\partial T}{\partial x} = 0$
Cold Fluid Outlet	$\frac{\partial U}{\partial z} = 0$	$\frac{\partial V}{\partial z} = 0$	$\frac{\partial W}{\partial z} = 0$	$\frac{\partial T}{\partial z} = 0$
Pipe wall (inner)	$U=0$	$V=0$	$W=0$	$\frac{\partial T}{\partial r} = 0$
Pipe wall (outer)	$U=0$	$V=0$	$W=0$	$\frac{\partial T}{\partial r} = 0$
Porous media	$U=0$	$V=0$	$W=0$	$\frac{\partial T}{\partial r} = 0$

The computational mesh was generated using ANSYS Fluent Meshing (Figure 3). Polygonal cell elements were employed in the mesh generation process, as they offer significant advantages in terms of mesh skewness and orthogonal quality, while also contributing to faster and more stable convergence during the solution process. Furthermore, polygonal elements produce a more uniform cell structure in complex geometries, thereby enhancing the accuracy and stability of the numerical solution. Mesh elements are refined at the fluid-solid interfaces to better capture boundary layer effects, resulting in improved resolution of thermal and hydrodynamic gradients in the near-wall regions.

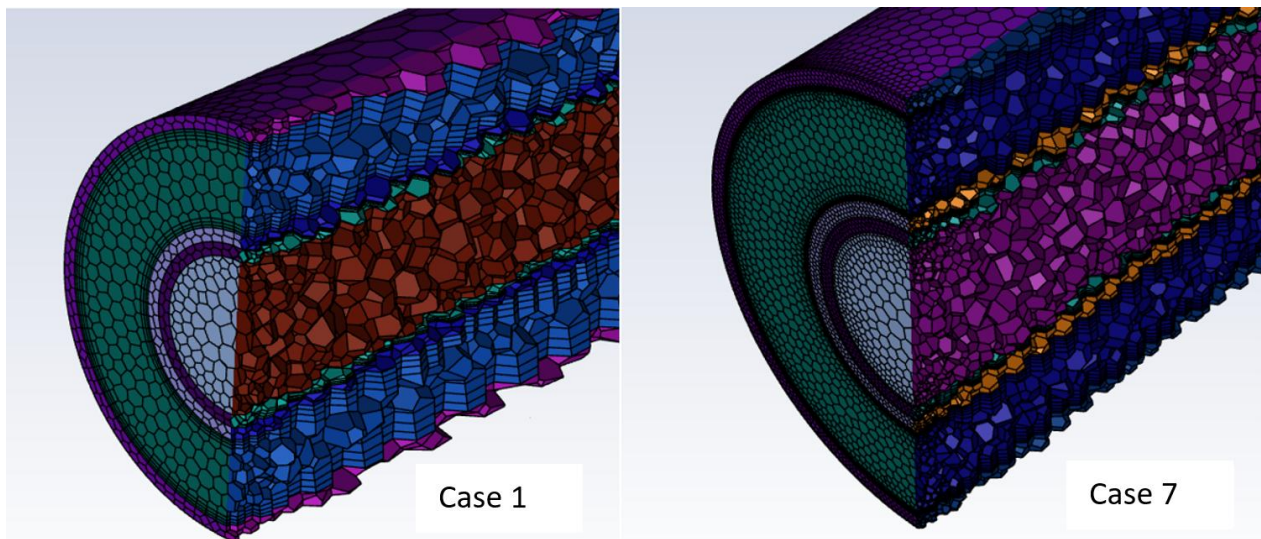


Figure 3. Mesh interfaces for Case 1 and Case 7.

To ensure mesh-independent results, a mesh independence study was conducted using ten different mesh configurations with varying element counts. The mesh quality parameters, including average orthogonal quality and average skewness, along with the hot fluid outlet temperature obtained for each case, are summarized in Table 2.

Table 2. Grid independence test results showing mesh quality metrics and hot-side outlet temperature for selected mesh configurations.

Case No	Mesh Count	Avg. Ort. Quality	Avg. Skewness	Hot-Outlet
1	52162	0,9041202	0,089694232	37,193042
2	59422	0,91221587	0,081865639	37,264235
3	69063	0,91965041	0,075369552	37,220328
4	82401	0,92635377	0,068778582	37,098866
5	100664	0,93455871	0,060657292	36,978493
6	131416	0,94388493	0,052324284	36,828411
7	181564	0,94575609	0,051382647	36,598272
8	259458	0,95264205	0,045083931	36,587301
9	344480	0,95756059	0,040359894	36,598272
10	441153	0,96247913	0,035635857	36,598272

The results demonstrate that beyond Case 7 (181564 elements), the hot outlet temperature stabilizes at approximately 36.598°C, with negligible variation observed in Cases 8, 9, and 10. Accordingly, the mesh configuration corresponding to Case 7 was selected as the optimal mesh, balancing computational efficiency and solution accuracy.

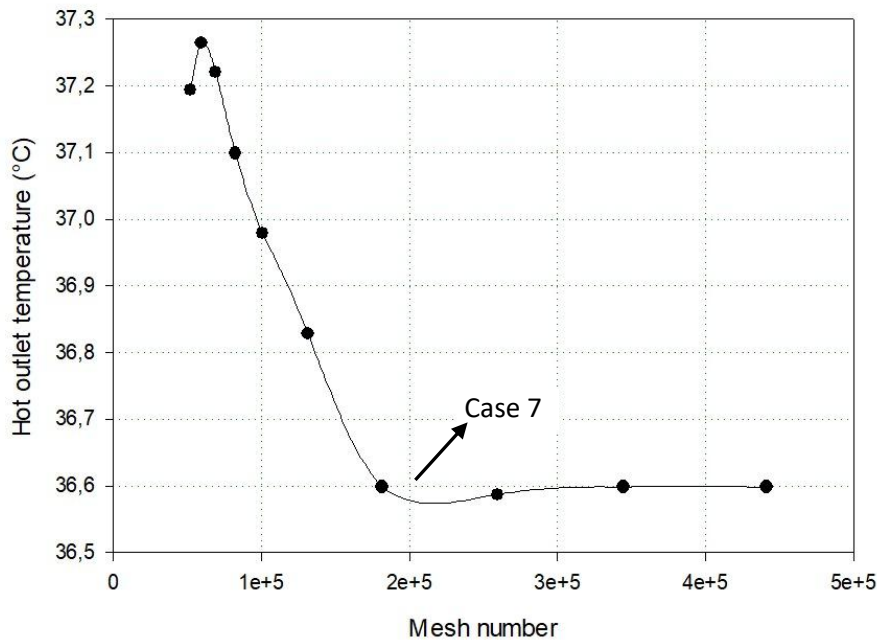


Figure 4. Variation of hot fluid outlet temperature with mesh number for the mesh independence

Figure 4 illustrates the variation of hot fluid outlet temperature as a function of mesh number. The outlet temperature decreases with increasing mesh count and reaches a stable value beyond approximately 181564 elements, indicating mesh-independent behavior. Therefore, this mesh configuration was selected for all subsequent numerical simulations.

Figure 3 presents the convergence history of the area-weighted average hot fluid outlet temperature as a function of iteration number. The solution undergoes rapid change in the initial iterations and gradually stabilizes, reaching a converged state at approximately 1000 iterations.

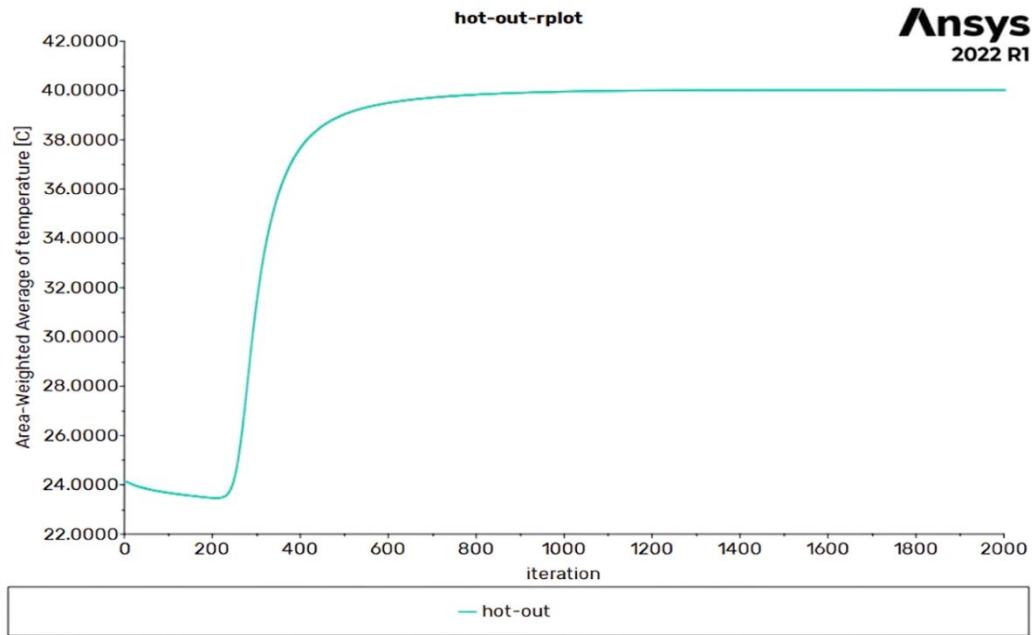


Figure 5. Convergence history of the area-weighted average hot fluid outlet temperature as a function of iteration number.

Convergence was determined based on the residual criteria set for each governing equation: residuals for the continuity and momentum equations were required to fall below 10^{-3} , while the energy equation residual threshold was set to 10^{-6} . Based on this observation, the number of iterations for all remaining simulations was set to 1000, ensuring a fully converged solution for each case.

Figure 6 presents a comparison between the numerical and experimental heat transfer effectiveness values over the investigated Reynolds number range ($Re = 250\text{--}1000$). Both datasets exhibit a consistent increasing trend with rising Reynolds number, and the numerical results show good agreement with the experimental measurements throughout the entire range.

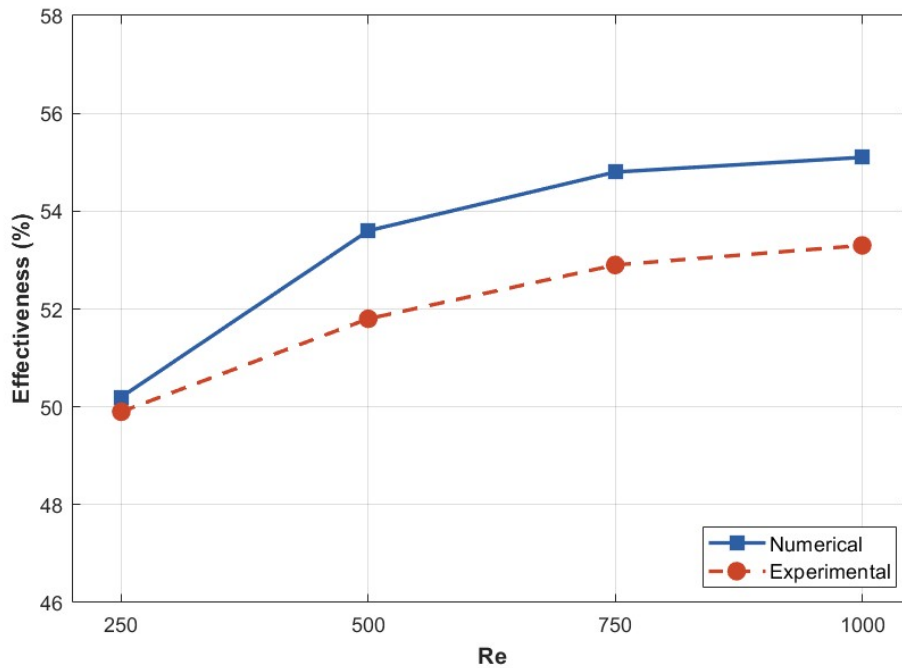


Figure 6. Comparison of numerical and experimental heat transfer effectiveness values for validation of the CFD model.

The maximum deviation between the numerical and experimental results is 3.5%, observed at $Re = 750$, which confirms the reliability and accuracy of the developed CFD model. Consequently, the validated model was employed for all subsequent parametric simulations.

Development of ANN-Based Heat Transfer Effectiveness Correlation

In this study, an Artificial Neural Network (ANN) model was developed to predict the heat transfer effectiveness of the double-pipe heat exchanger as a function of Reynolds number and inlet temperature. Three training algorithms were evaluated to determine the most suitable approach: Levenberg-Marquardt (LM), Bayesian Regularization (BR), and Scaled Conjugate Gradient (SCG). The network was trained, validated, and tested using the numerical dataset obtained from the CFD simulations. The performance of each algorithm was assessed based on the mean squared error (MSE) and the coefficient of determination (R^2), and the algorithm yielding the highest predictive accuracy was selected for the final correlation

$$\hat{\varepsilon} = W^{(2)} \cdot f(W^{(1)}x + b^{(1)}) + b^{(2)}$$

The hyperbolic tangent sigmoid (tansig) function was used as the activation function in the hidden layer, which is defined as:

$$f(x) = \frac{2}{1 + e^{-2x}} - 1$$

where x is the weighted sum of inputs to a neuron. This function maps the input values to the range $[-1, 1]$, which improves the convergence behavior during training.

The mean squared error (MSE) was used as the primary performance metric to evaluate the prediction accuracy of each training algorithm, and is defined as:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\epsilon_i^{pred} - \epsilon_i^{actual})^2$$

where N is the total number of data points, ϵ_i^{pred} is the ANN-predicted effectiveness value, and ϵ_i^{actual} is the corresponding value obtained from CFD simulations.

In addition to MSE, the coefficient of determination (R^2) was employed to assess the correlation between the predicted and actual values, and is expressed as:

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (\epsilon_i^{actual} - \epsilon_i^{pred})^2}{\sum_{i=1}^N (\epsilon_i^{actual} - \bar{\epsilon})^2}$$

where $\bar{\epsilon}$ is the mean of the actual effectiveness values. An R^2 value approaching unity indicates a high degree of agreement between the ANN predictions and the CFD results.

The Levenberg-Marquardt algorithm combines the Gauss-Newton method and gradient descent to achieve fast and stable convergence. The weight update rule is defined as:

$$\Delta w = -[J^T J + \mu I]^{-1} J^T e$$

where J is the Jacobian matrix of the network errors with respect to the weights, e is the error vector, μ is the damping parameter that controls the transition between Gauss-Newton and gradient descent steps, and I is the identity matrix.

The Bayesian Regularization algorithm minimizes a combination of squared errors and network weights to prevent overfitting. The objective function is defined as:

$$F(w) = \beta \sum_{i=1}^N e_i^2 + \alpha \sum_{k=1}^W w_k^2$$

where β and α are hyperparameters that control the relative contribution of the error term and the weight regularization term, respectively, e_i is the prediction error, w_k denotes the network weights, N is the number of data points, and W is the total number of weights in the network. The Scaled Conjugate Gradient algorithm determines the weight update direction using conjugate gradient information without requiring an exact line search. The search direction is updated as:

$$d_{k+1} = -g_{k+1} + \beta_k d_k$$

where g_k is the gradient vector at iteration k , d_k is the search direction, and β_k is the conjugate gradient coefficient calculated as:

$$\beta_k = \frac{g_{k+1}^T g_{k+1}}{g_k^T g_k}$$

This formulation ensures that successive search directions are conjugate, allowing efficient convergence without computing second-order derivatives.

Figure 7 illustrates the architecture of the ANN model developed in this study. The network consists of an input layer with two neurons representing the Reynolds number (Re) and the hot fluid inlet temperature (T_{in}), one hidden layer containing ten neurons with a hyperbolic tangent sigmoid ($tansig$) activation function, and an output layer with a single neuron yielding the predicted heat transfer effectiveness.

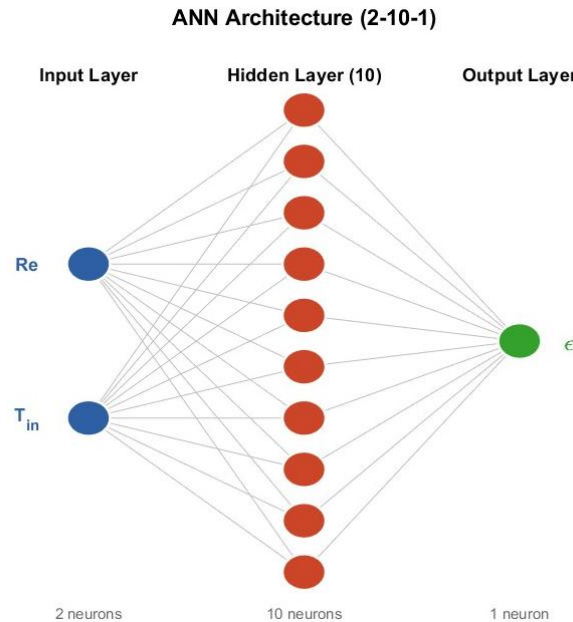


Figure 7. Schematic representation of the ANN architecture (2-10-1) employed for heat transfer effectiveness prediction.

The network was trained using the Bayesian Regularization algorithm, which was selected based on its superior performance among the three evaluated training algorithms.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, the thermal performance of a double-pipe heat exchanger equipped with a porous insert was numerically investigated under varying flow conditions. The parameters examined include different Reynolds numbers ($Re = 250, 500, 750, 1000$) and different hot fluid inlet temperatures ($T_{in} = 30^{\circ}\text{C}, 40^{\circ}\text{C}, 50^{\circ}\text{C}, 60^{\circ}\text{C}$). Throughout all simulations, the cold fluid inlet temperature and Reynolds number were kept constant at 20°C and 200, respectively. The detailed parameters of the investigated cases are presented in Table 3.

Table 3. Investigated parameter groups for the double-pipe heat exchanger study.

Group	Fixed variables	Parameters
1	$L/D = 0$ $\phi = 1.0$ $T_{hot} = 50^{\circ}\text{C}$	$Re_{hot} = 250$ $Re_{hot} = 500$ $Re_{hot} = 750$ $Re_{hot} = 1000$
2	$L/D = 0$ $\phi = 1.0$ $Re_{hot} = 250$	$T_{hot} = 30^{\circ}\text{C}$ $T_{hot} = 40^{\circ}\text{C}$ $T_{hot} = 50^{\circ}\text{C}$ $T_{hot} = 60^{\circ}\text{C}$
3	$L/D = 0.071$ $\phi = 0.6$ $T_{hot} = 50^{\circ}\text{C}$	$Re_{hot} = 250$ $Re_{hot} = 500$ $Re_{hot} = 750$ $Re_{hot} = 1000$
4	$L/D = 0.071$ $\phi = 0.6$ $Re_{hot} = 250$	$T_{hot} = 30^{\circ}\text{C}$ $T_{hot} = 40^{\circ}\text{C}$ $T_{hot} = 50^{\circ}\text{C}$ $T_{hot} = 60^{\circ}\text{C}$

Effect of Re Number

Figure 7 illustrates the effect of Reynolds number on heat transfer effectiveness for both the plain tube and porous-inserted configurations at a constant hot fluid inlet temperature of 50°C . For the plain tube configuration, the effectiveness increases from 50.2% at $Re = 250$ to 55.1% at $Re = 1000$, corresponding to an overall enhancement of 4.9%. A similar increasing trend is observed for the porous-inserted configuration, where the effectiveness rises from 71.0% at $Re = 250$ to 76.2% at $Re = 1000$, representing an enhancement of 5.2%. In both cases, the rate of increase diminishes with rising Reynolds number, indicating that the marginal benefit of increasing flow velocity becomes less pronounced at higher Re values. Furthermore, the

porous insert consistently yields significantly higher effectiveness values across the entire Reynolds number range, confirming the superior thermal performance of the porous-inserted configuration compared to the plain tube.

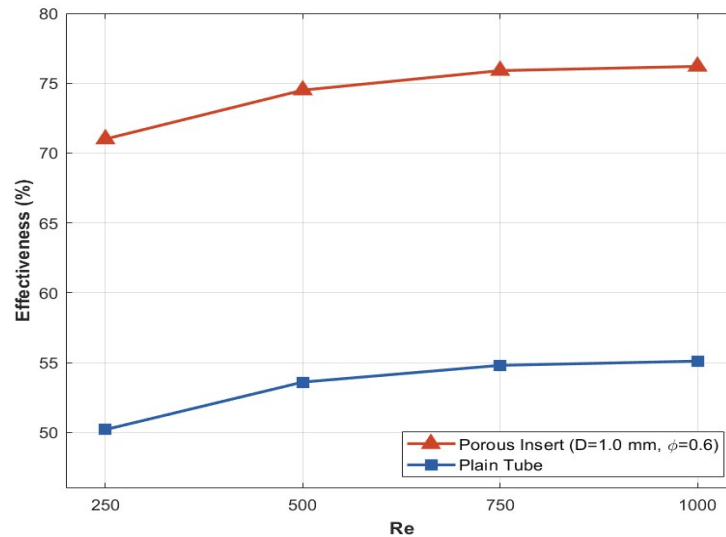


Figure 7. Effect of increasing Re number on effectiveness for porous and plain tube cases.

Figure 8 presents the temperature contours for the plain tube and porous-inserted configurations at $Re = 250$ and $Re = 1000$. For the plain tube configuration, the temperature distribution at $Re = 250$ reveals a more pronounced thermal gradient between the hot and cold fluid regions, indicating greater heat transfer at lower flow velocities due to longer fluid residence time. At $Re = 1000$, the thermal gradient becomes less distinct, consistent with the reduced effectiveness enhancement observed at higher Reynolds numbers.

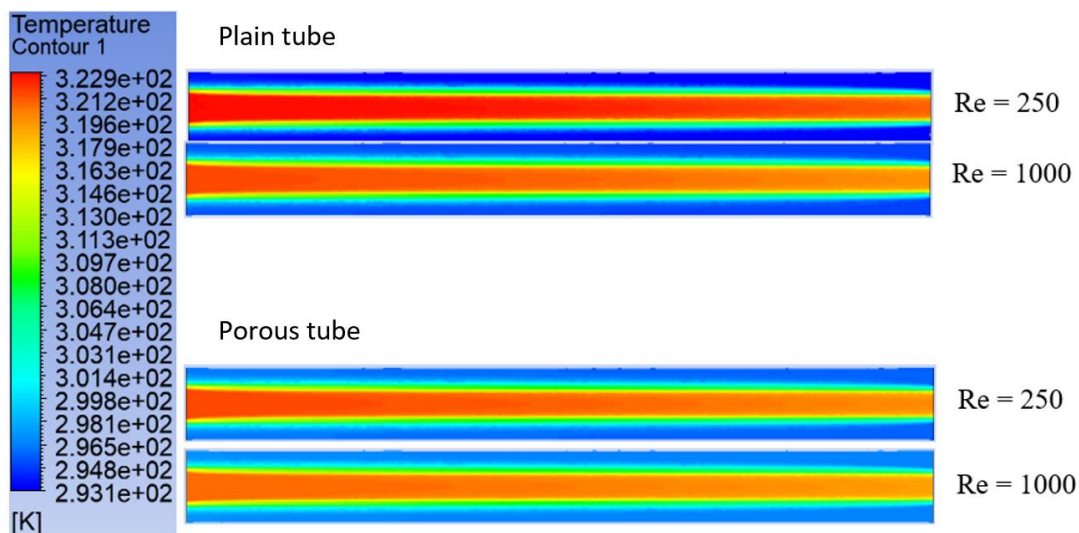


Figure 8. Temperature contours for plain tube and porous-inserted configurations at $Re = 250$ and $Re = 1000$ ($T_{in} = 50^\circ\text{C}$).

In the porous-inserted configuration, the temperature contours exhibit a notably more uniform distribution compared to the plain tube, particularly in the radial direction. This behavior is attributed to the enhanced fluid mixing and increased effective heat transfer surface area introduced by the porous medium. The more homogeneous temperature field in the porous-inserted case confirms the superior thermal performance observed in the effectiveness results, with the porous insert promoting more effective energy exchange between the hot and cold fluid streams across all investigated Reynolds numbers.

Effect of Inlet Temperature

Figure 9 illustrates the effect of hot fluid inlet temperature on heat transfer effectiveness for both configurations at $Re = 250$. For the plain tube, the effectiveness increases from 48.7% at $T_{in} = 30^{\circ}C$ to 50.3% at $T_{in} = 60^{\circ}C$, yielding a modest enhancement of 1.6%. Similarly, the porous-inserted configuration exhibits an increase from 69.7% to 71.1%, corresponding to a 1.4% improvement. In both cases, the effect of inlet temperature on effectiveness is relatively limited under laminar flow conditions.

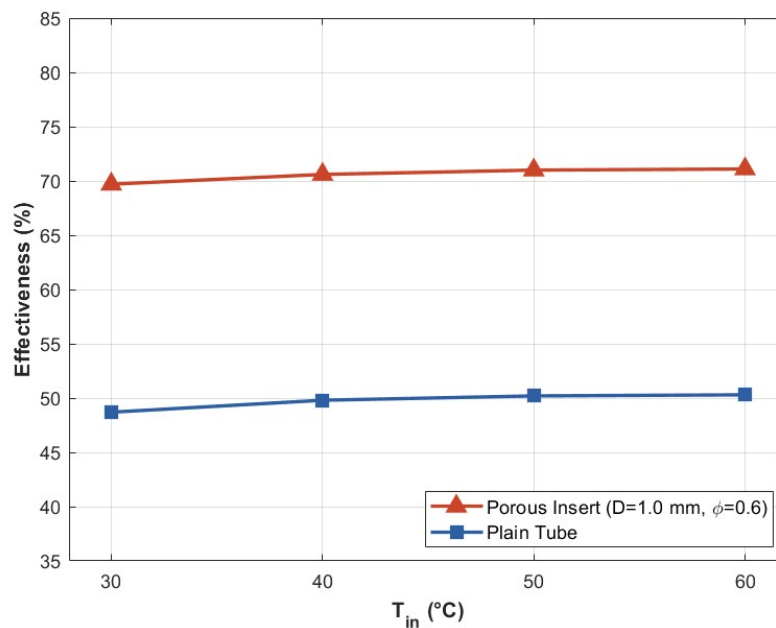


Figure 9. Effect of increasing inlet temperature on effectiveness for porous and plain tube cases.

However, the porous insert consistently yields significantly higher effectiveness values across the entire temperature range, confirming the thermal performance advantage of the porous-inserted configuration.

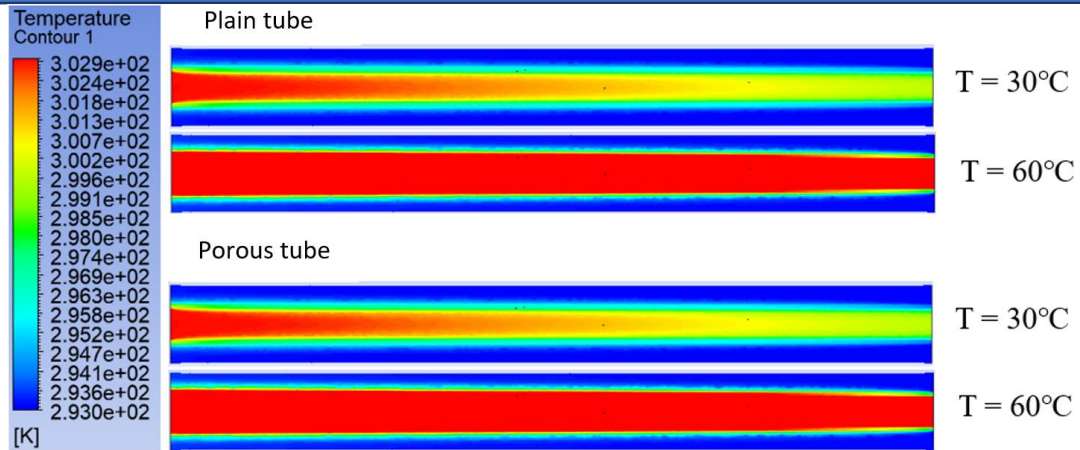


Figure 10. Temperature contours for plain tube and porous-inserted configurations at $T_{in} = 30^{\circ}\text{C}$ and $T_{in} = 60^{\circ}\text{C}$ ($Re = 250$).

Figure 10 presents the temperature contours for the plain tube and porous-inserted configurations at $T_{in} = 30^{\circ}\text{C}$ and $T_{in} = 60^{\circ}\text{C}$ at $Re = 250$. In both configurations, the higher inlet temperature case exhibits a more pronounced thermal gradient in the hot fluid region due to the increased driving force. The porous-inserted configuration displays a more uniform temperature distribution at both conditions, confirming the enhanced mixing and heat transfer promoted by the porous medium.

Performance of ANN Algorithms

Figure 11 presents the scatter plots of predicted versus actual heat transfer effectiveness values for the three investigated training algorithms.

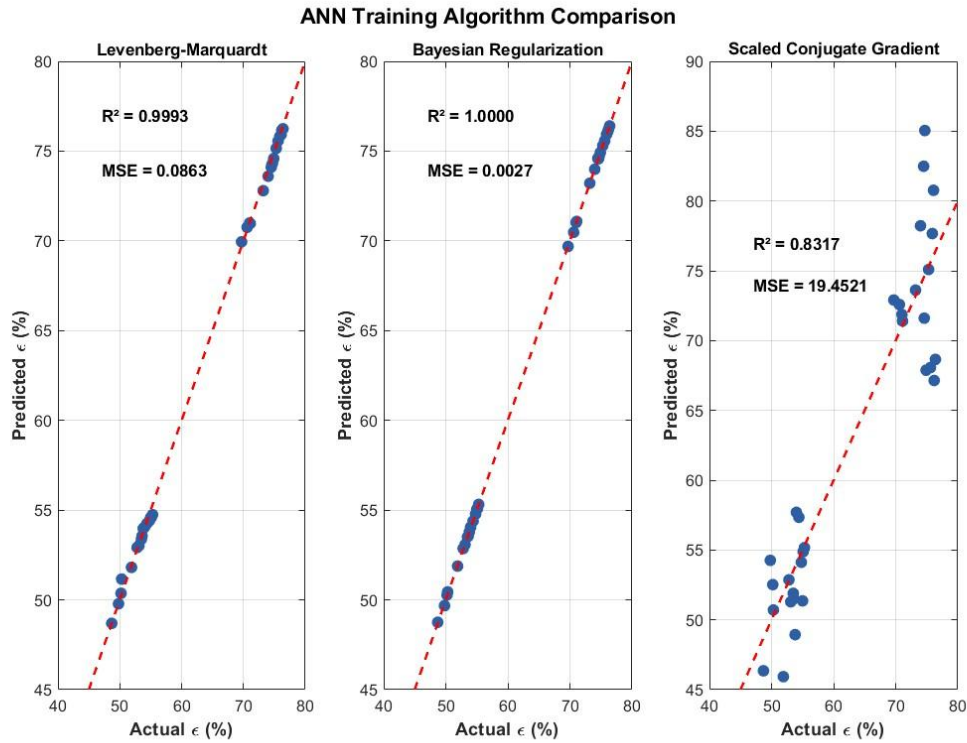


Figure 11. Comparison of ANN training algorithm performance.

The Levenberg-Marquardt algorithm yields a high predictive accuracy with $R^2 = 0.9993$ and $MSE = 0.0863$, while the Bayesian Regularization algorithm achieves the best overall performance with $R^2 = 0.9999$ and $MSE = 0.0027$, demonstrating an excellent agreement between predicted and actual values across the entire dataset. In contrast, the Scaled Conjugate Gradient algorithm exhibits a relatively poor performance with $R^2 = 0.8317$ and $MSE = 19.45$, which is attributed to its limited suitability for small datasets. Based on these results, the Bayesian Regularization algorithm was selected for the development of the final heat transfer effectiveness correlation.

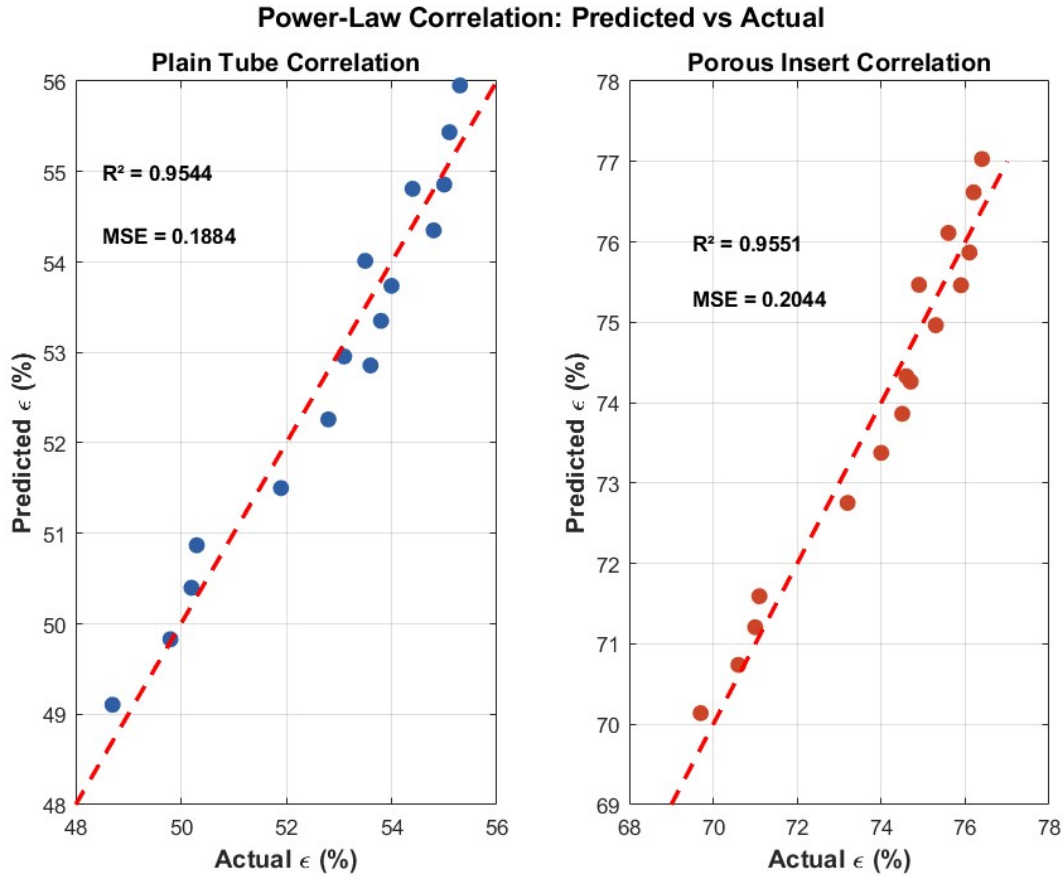


Figure 12. Correlation performance for plain tube and porous tube cases.

The following correlation was developed for the plain tube configuration based on the power-law regression of the numerical dataset:

$$\varepsilon = 28.2596 \cdot Re^{0.0687} \cdot T^{0.0509}$$

Similarly, the correlation obtained for the porous-inserted configuration is expressed as:

$$\varepsilon = 47.3802 \cdot Re^{0.0528} \cdot T^{0.0296}$$

where ε is the heat transfer effectiveness (%), Re is the Reynolds number of the hot fluid, and T is the hot fluid inlet temperature ($^{\circ}C$). The correlations are valid for $250 \leq Re \leq 1000$ and $30^{\circ}C \leq T \leq 60^{\circ}C$. The plain tube and porous-inserted correlations yield $R^2 = 0.954$ and $R^2 = 0.955$, respectively, indicating a satisfactory agreement between the predicted and actual effectiveness values.

4. CONCLUSION

In this study, the thermal performance of a double-pipe heat exchanger with and without a porous insert was numerically investigated under varying flow conditions. The effects of hot fluid Reynolds number ($Re = 250, 500, 750, 1000$) and inlet temperature ($T_{in} = 30^{\circ}C, 40^{\circ}C,$

50°C, 60°C) on heat transfer effectiveness were systematically examined for both plain tube and porous-inserted configurations. The CFD results were validated against experimental measurements, and an ANN-based predictive correlation was developed using the Bayesian Regularization algorithm. The following key findings were obtained:

1. Based on the validated CFD results with a maximum deviation of 3.5%, increasing the Reynolds number from 250 to 1000 enhanced the heat transfer effectiveness by 4.9% and 5.2% for the plain tube and porous-inserted configurations, respectively.
2. The effect of inlet temperature on effectiveness was relatively limited, yielding a 1.6% improvement for the plain tube and a 1.4% increase for the porous-inserted configuration over the investigated temperature range.
3. The porous insert consistently demonstrated significantly higher effectiveness values compared to the plain tube across all investigated flow conditions, confirming its superior thermal performance.
4. Among the three evaluated training algorithms, the Bayesian Regularization algorithm achieved the best predictive performance with $R^2 = 0.9999$ and $MSE = 0.0027$.
5. Power-law correlations were developed for both configurations, yielding $R^2 = 0.954$ and $R^2 = 0.955$ for the plain tube and porous-inserted cases, respectively.

Abbreviations

ANN	Artificial Neural Network
BR	Bayesian Regularization
CFD	Computational Fluid Dynamics
IWP	Interconnected Wall Phase
LM	Levenberg-Marquardt
MHD	Magnetohydrodynamics
PCM	Phase Change Material
SCG	Scaled Conjugate Gradient
TPMS	Triply Periodic Minimal Surface

REFERENCES

1. Sahin M, Kilic M, Karadag MA (2025) Investigation of heat transfer enhancement using hemispherical turbulators in a double-pipe regenerative heat exchanger with phase change material. *J Therm Anal Calorim* 150:10249–10265. <https://doi.org/10.1007/s10973-025-14387-2>
2. Kilic M, Sahin M, Abdulvahitoglu A (2024) A new approach for enhancing the effectiveness of a regenerative heat exchanger by using organic and inorganic phase change material. *J Therm Anal Calorim* 149:13081–13093. <https://doi.org/10.1007/s10973-024-13599-2>
3. Dal A, Şahin M, Kiliç M (2023) A thermohydrodynamic performance analysis of a fluid film bearing considering with geometrical parameters. *Journal of Thermal Engineering* 9:1604–1617. <https://doi.org/10.18186/THERMAL.1401279>

4. Ala M, Şahin M, Kılıç M, Dişken G (2025) An Investigation on Design Criteria of Heat Exchangers by Using Tree Models of Machine Learning Methods. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi* 40:375–386. <https://doi.org/10.21605/cukurovaumfd.1674303>
5. Alomari MA, Hassan AM, Al-Salami QH, et al (2025) Numerical analysis of Soret/Dufour MHD convection in a NEPCM-filled cavity with partial porous foam: Double pipe heat exchanger application. *Heat Transfer* 54:788–830. <https://doi.org/10.1002/htj.23185>
6. Sudarmozhi K, Iranian D, Albidah AB, Khan I (2025) Investigation of activation energy of Maxwell fluid with Newtonian heat effect at the boundary layer flow on a cylinder embedded in porous medium. *ZAMM Zeitschrift fur Angewandte Mathematik und Mechanik* 105:. <https://doi.org/10.1002/zamm.202300337>
7. Abdullah AA, Ahmed OK, Aziz NM (2025) Performance comparison of PV/Trombe wall utilizing porous media and phase change materials: Experimental study. *J Energy Storage* 129:. <https://doi.org/10.1016/j.est.2025.117316>
8. Khan M, Lu D, Imran M, Anwar MS (2025) Numerical insights into enhanced heat transfer mechanisms in TiO₂-Au ethylene glycol nanofluids within Darcy porous media using fractional calculus. *Case Studies in Thermal Engineering* 70:. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2025.106063>
9. Khalil S, Abbas T, Nawaz R (2025) Enhanced thermal and flow behavior of Cu-Al₂O₃/water hybrid nanofluids in porous media under variable magnetic field conditions. *International Journal of Thermofluids* 27:. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2025.101166>
10. Lee S, Kang S, Kim Y, et al (2025) Thermal design framework of heat pipe heat exchanger for efficient waste heat recovery. *Energy* 318:. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2025.134731>
11. Men Z, Chen W, Li Q, Liu S (2025) Topology optimization of the IWP triply periodic minimal surfaces (TPMS) heat sink based on porous media effective model. *Int J Heat Mass Transf* 240:. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.126657>
12. Yaghoubzadeh Vishkaei M, Javaherdeh K (2025) Evaluating the efficiency and effectiveness of non-Newtonian fluid flow in a double-pipe heat exchanger with porous medium via numerical simulation. *Numeri Heat Transf A Appl* 86:5431–5452. <https://doi.org/10.1080/10407782.2024.2330087>
13. Popov AI, Bragin DM, Eremin A V. (2025) Heat and mass transfer in TPMS-based porous media: Two-medium approach. *Int J Heat Mass Transf* 253:. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2025.127553>
14. DiReda N, Saha A, D’Orazio G, Sobhani S (2025) Integrating bio-inspired morphologies into porous media burners: Experimental and computational insights on interphase heat exchange. *Int J Heat Mass Transf* 237:. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.126295>
15. Chung SS, Kim N, Jo HJ (2025) Effect of flow distribution on heat transfer in Printed Circuit Heat Exchangers using conjugate heat transfer model with a modified porous media approach. *Appl Therm Eng* 266:. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2025.125540>
16. Li J, Han Z, Liu W, et al (2025) Study on the effect of the porous media equivalent particulate fouling model on heat transfer performance in heat exchanger channels. *Appl Therm Eng* 266:. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2025.125709>
17. Cengel YA, Ghajar AJ (2020) *Heat and mass transfer : fundamentals and applications*, 6th ed

COMPARISON OF GATEFUL FUSION STRATEGY WITH DIFFERENT ENCODER ARCHITECTURES IN MULTIMODAL EMOTION ANALYSIS: A STUDY ON THE MASAD DATASET

Arş. Gör. Burak YILMAZ

Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği
Bölümü, 44210 Battalgazi, Malatya

ORCID ID: 0009-0003-1386-3083

Prof. Dr. Eser SERT

Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği
Bölümü, 44210 Battalgazi, Malatya

ORCID ID: 0000-0002-8611-701X

ABSTRACT

In this study, the Gated Fusion strategy for multimodal sentiment analysis on the MASAD dataset is comparatively examined with four different encoder combinations.

RoBERTa and Word2Vec were used as text encoders, and Swin Transformer and ResNet-50 were used as image encoders; each combination was combined with the same Gated Fusion layer to perform binary (positive-negative) sentiment classification. Experimental results reveal the effect of encoder selection on fusion performance. It also contributes to the comparative analysis of traditional encoders and transformer-based encoders.

Keywords: Multimodal sentiment analysis, Gate Fusion, Word2Vec, RoBERTa, ResNet-50, Swin Transformer, MASAD

1. INTRODUCTION

Sentiment analysis is one of the most fundamental tasks in natural language processing, aiming to determine the emotional response of a text or content. With the widespread use of social media, users express their opinions not only through text but also through multimodal content that combines text and images. This situation has increased interest in the field of Multimodal Sentiment Analysis (MDA), which evaluates outputs from multiple modalities together (Zadeh et al., 2017). A comprehensive review of the historical development of the MDA field, the datasets used, fusion methods, and open research problems highlights that transformer-based encoder architectures and advanced fusion strategies are key research trends in this area (Gandhi et al., 2023). The performance of multimodal systems largely depends on the quality of modality-specific encoders as well as the effectiveness of the fusion mechanism. In the field of text encoding, traditional methods such as Word2Vec (Mikolov et al., 2013) as well as transformer-based models such as RoBERTa (Liu et al., 2019) are used. The effectiveness of RoBERTa in sentiment analysis has also been confirmed by Tan et al. (2023). It has been shown that RoBERTa-based hybrid models provide a significant

performance increase compared to traditional methods. In image encoding, the convolutional neural network architecture ResNet-50 (He et al., 2016) and the shifted window attention mechanism Swin Transformer (Liu et al., 2021) have been used. The performance of Swin Transformer in image classification has been examined by Dihin et al. (2023), and it has been shown that this architecture serves as a strong backbone in various visual recognition problems. Yi et al. investigated the effectiveness of transformer-based fusion methods in multimodal sentiment analysis. Liu et al. (2024) demonstrated that a two-stage stacked transformer framework captures intermodal interaction information much more comprehensively than single-stage methods and achieves competitive results in benchmark datasets such as MOSEI and MOSI. Addressing the effective use of complementary information between modality representations in the field of multimodal fusion, Liu et al. (2024) proposed an attention mechanism transformer encoder-based fusion network, revealing that different merging orders greatly affect emotion classification performance. Li and Zhang (2025) developed a multimodal emotion analysis model combining multilayer modality fusion and multitasking learning strategies; unlike single-modality approaches, they showed that this architecture uses complementary information between different modalities more effectively. The fusion strategy used in this study, Gated Fusion, employs a sigmoid-based mechanism that dynamically assigns weights to each modality. This structure allows the model to learn which text and image representations are more informative for a given input, thus compensating for intermodal imbalances. Jiang and Ji (2022) demonstrated that the cross-modality gated fusion approach effectively filters out noisy and conflicting modality outputs in MSA tasks; they also experimentally confirmed the positive effect of the gated mechanism on fusion quality. This study comparatively analyzes the effect of the Gated Fusion mechanism and four different encoder combinations on the MASAD binary sentiment classification task.

The overall contribution of this study is that an approach comparing attention and traditional machine learning models on a multimodal dataset like MASAD has been used. As a result, it has been proven that attention-based transformer architectures show higher performance compared to older models.

The organization of the paper includes an introduction that mentions other multimodal studies and provides an overview of our own work. The materials and methods section discusses the dataset, preprocessing stages, and the mathematical equivalent of our fusion method. The experimental results section evaluates the configurations and their performance. The

conclusions and future studies section discusses general impressions and projections for the future.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Data Set

In this study, the MASAD (Multimodal Aspect-level Sentiment Analysis Dataset) dataset was used (Zhou et al., 2021). MASAD is a dataset consisting of image-text pairs labeled with two classes: positive and negative. Text samples were created in the form of "topic ##### opinion text", and only the opinion text was extracted from this structure. Matching images are in JPEG format. Neutral labeled samples were excluded; the training consisted of 12,916 samples, and the test consisted of 3,990 samples.

2.2. Preprocessing

In Word2Vec-based experiments, text inputs were first converted to lowercase and then tokenized based on spaces. Additionally, pre-trained 300-dimensional Word2Vec vectors were used on the Google News dataset. Zero vectors were assigned in place of tokens not found in the dictionary. Arrays were trimmed or filled to a length of 128 tokens. In RoBERTa-based experiments, the RoBERTa tokenizer was used to apply trimming and filling up to a maximum length of 128 tokens. All images were scaled to 224×224 pixels, converted to tensors, and normalized with ImageNet statistics.

2.3. Model Architecture

In all four experiments conducted on the MASAD dataset, the fusion layer was kept the same; only the text and image encoders were changed. The flowchart of the method is shown in Figure 1

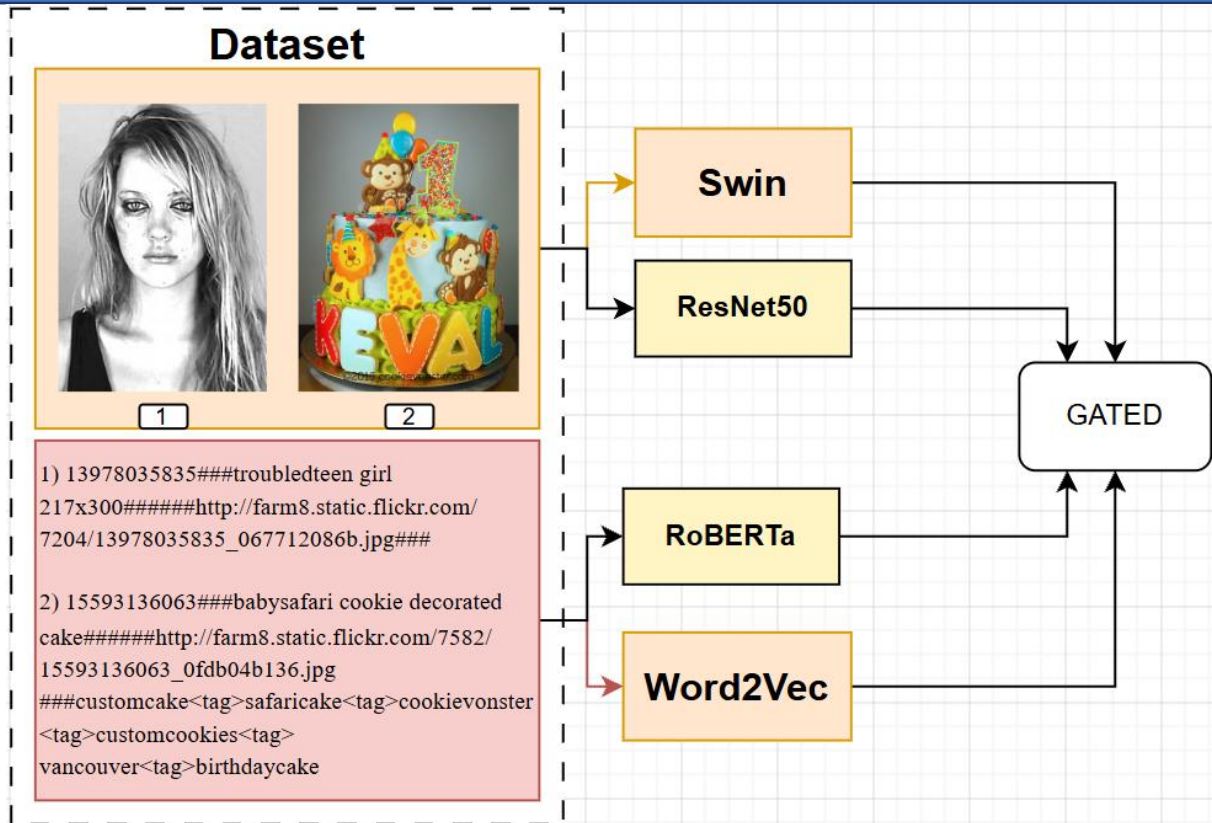


Figure 1: Representative Flowchart of the Models

In the Word2Vec Text Encoder, the average pooling of a 128-token array was converted into a 300-dimensional vector, followed by linear projection from 300 to 768, ReLU activation, and a Dropout $p=0.1$. In the RoBERTa Text Encoder, the token output from the last hidden layer of the roberta base model was used as a direct feature vector in a 768-dimensional vector. In the ResNet-50 Image Encoder, the last full link layer of the model previously trained on ImageNet was removed, and the resulting 2048-dimensional global average pooling output was converted from 2048 to 768 using linear projection. In the Swin Transformer Image Encoder, the pooled output of the microsoft/swin base patch 4 window7 224 model was reduced from a 1024-dimensional vector to a 768-dimensional vector using linear projection.

In the gated fusion mechanism, the text (t) and image (v) feature vectors are combined, and the sigmoid gate weight $g = \text{sigmoid}(W \cdot [t; v])$ is calculated. The fusion output is obtained in the form $\text{fused} = g \odot t + (1 - g) \odot v$. After the fusion output, it is fed to the two-layer classifier with $768 \rightarrow 256 \rightarrow 2$, ReLU, and Dropout $p=0.3$.

3. EXPERIMENTAL RESULTS

In this study, experimental work was carried out on four different approaches. To ensure fair comparison, all models were trained using the AdamW optimization algorithm, with a

learning rate of 2×10^{-5} , a weight damping of 0.01, and a CosineAnnealingLR timer $T_{\max}=20$ and $\eta_{\min}=10^{-6}$. Cross-entropy loss was chosen as the objective function, and the gradient clipping threshold was set to 1.0. Training lasted a maximum of 20 epochs. Early stopping was applied if no increase was observed in the macro F1 score for 6 consecutive epochs. The stack size was set to 32; the models were trained using PyTorch on Google Colab via an NVIDIA A100 GPU.

Table 1 shows the classification performance of four encoder combinations on the MASAD test set. Accuracy, sensitivity, precision, and F1 scores were used as evaluation criteria. Examination of the results reveals that the worst performance belongs to the traditional encoder pair, Word2Vec + ResNet-50, with an F1 score of 0.9015. Replacing this combination with Word2Vec + Swin Transformer increased the F1 score to 0.9380. This increase indicates that Swin Transformer, thanks to its shifted window attention mechanism, learns image representations relatively more effectively than ResNet-50's convolutional features.

Table 1. Classification results of the Gated Fusion method on the MASAD dataset with different encoder combinations.

Model	Accuracy	Recall	Precision	F1-Skor
Word2Vec + ResNet-50 + Gated	0,9038	0,9008	0,9022	0,9015
Word2Vec + Swin + Gated	0,9393	0,9377	0,9383	0,9380
RoBERTa + ResNet-50 + Gated	0,9712	0,9689	0,9722	0,9704
RoBERTa + Swin + Gated	0,9772	0,9775	0,9760	0,9767

Analysis of the results reveals that the worst performance belongs to the traditional encoder pair, Word2Vec + ResNet-50, with an F1 score of 0.9015. Replacing this combination with Word2Vec + Swin Transformer increased the F1 score to 0.9380. This increase indicates that Swin Transformer learns image representations relatively more effectively than ResNet-50's convolutional features, thanks to its shifted window attention mechanism.

Switching the text encoder from Word2Vec to RoBERTa significantly improved performance. The RoBERTa-ResNet-50 combination achieved an F1 score of 0.9704, surpassing the Word2Vec and Swin combination's F1 score of 0.9380. These findings demonstrate that the semantic richness provided by contextual language models in sentiment analysis tasks outweighs the improvement resulting from the image encoder. Figure 2 clearly shows the F1 scores of the configurations.

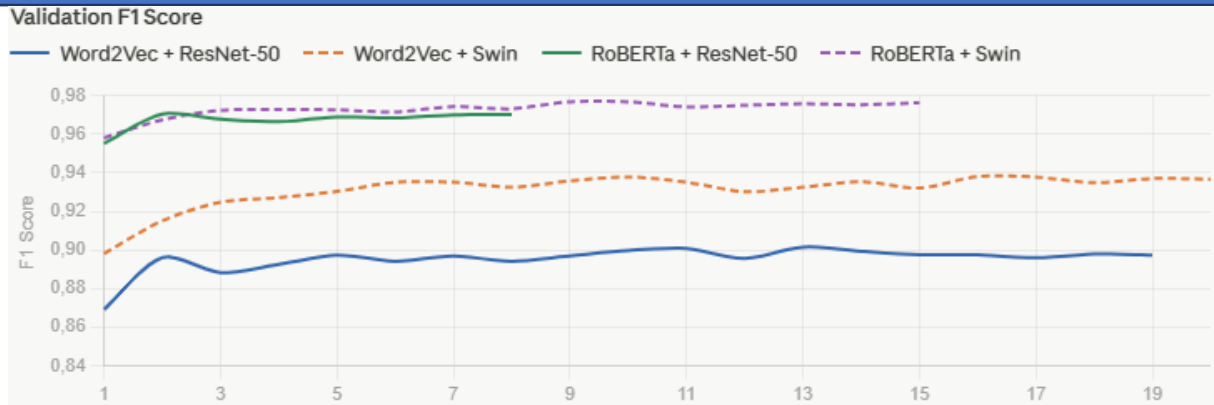


Figure 2. F1 Scores

The highest performance was achieved with the RoBERTa + Swin Transformer combination: Accuracy: 0.9772, Sensitivity: 0.9775, Precision: 0.9760, F1: 0.9767. These results demonstrate the strong compatibility of transformer-based text and image encoders when combined with the Gated Fusion mechanism. Gated Fusion's dynamic modality weighting maximizes this complementarity, especially when both encoders produce high-quality representations. Figure 3 shows the performance metrics of all models.

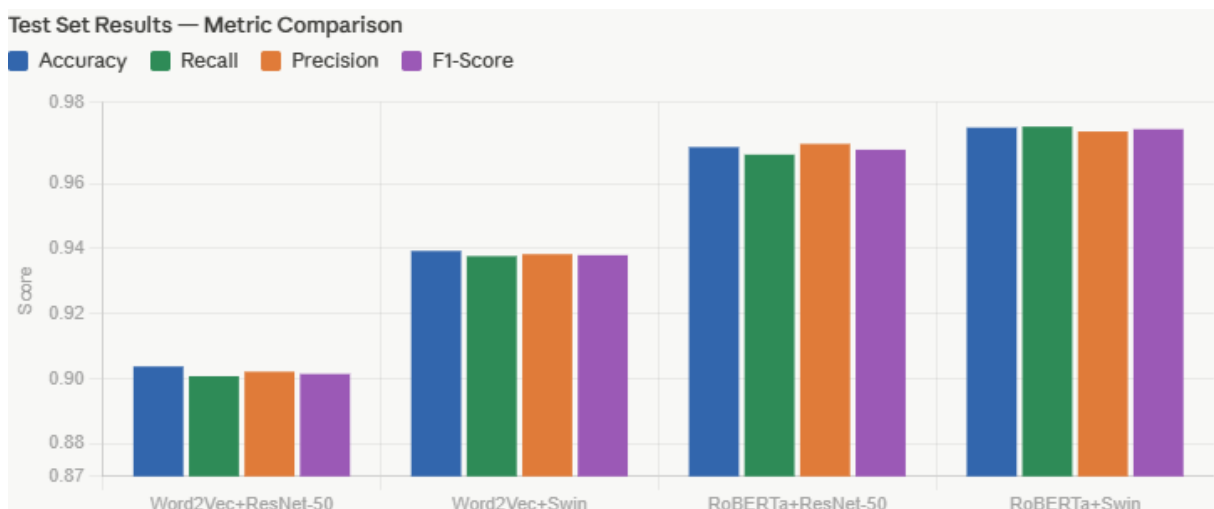


Figure 3. Accuracy, Sensitivity, Precision, and F1 Scores

When performance values of all four configurations are considered, it is clearly seen that the attention-based models are ahead.

4. CONCLUSION AND FUTURE WORK

In this study, the Gated Fusion strategy was comparatively analyzed on the MASAD dataset with four different encoder combinations. The results clearly show that encoder selection plays a decisive role in model performance.

It is noteworthy that the transition in the text encoder from Word2Vec to RoBERTa resulted in a greater performance increase than the transition in the image encoder from ResNet-50 to

Swin. The RoBERTa Swin and Gated fusion model, which achieved the best result, demonstrated competitive performance on the MASAD dataset with an F1 score of 0.9767. Future studies plan to extend this architecture to multi-class datasets and integrate cross-modality attention mechanisms into the Gated Fusion structure.

REFERENCES

- Dihin RA, Al Shemmary EN, Al Jawher WA. (2023). Implementation of the Swin Transformer and its application in image classification. *Journal of Port Science Research* 6(4).
- Gandhi A, Adhvaryu K, Poria S, Cambria E, Hussain A. (2023). Multimodal sentiment analysis: A systematic review of history, datasets, multimodal fusion methods, applications, challenges and future directions. *Information Fusion* 91, 424–444.
- He K, Zhang X, Ren S, Sun J. (2016). Deep residual learning for image recognition. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 770–778.
- Jiang M, Ji S. (2022). Cross-modality gated attention fusion for multimodal sentiment analysis. *arXiv:2208.11893*.
- Liu Y, Ott M, Goyal N, Du J, Joshi M, Chen D, Levy O, Lewis M, Zettlemoyer L, Stoyanov V. (2019). RoBERTa: A robustly optimized BERT pretraining approach. *arXiv:1907.11692*.
- Liu Z, Lin Y, Cao Y, Hu H, Wei Y, Zhang Z, Lin S, Guo B. (2021). Swin Transformer: Hierarchical vision transformer using shifted windows. *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 9992–10002.
- Mikolov T, Sutskever I, Chen K, Corrado G, Dean J. (2013). Distributed representations of words and phrases and their compositionality. *Advances in Neural Information Processing Systems* 26, 3111–3119.
- Tan KL, Lee CP, Lim KM. (2023). RoBERTa-GRU: A hybrid deep learning model for enhanced sentiment analysis. *Applied Sciences* 13(6), 3915.
- Zadeh A, Chen M, Poria S, Cambria E, Morency LP. (2017). Tensor fusion network for multimodal sentiment analysis. *Proceedings of the 2017 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)*, 1103–1114.

FARKLI REFRAKTER VE BETON ESASLI BACA MALZEMELERİNİN YERLEŞİM TİPİNE BAĞLI PERFORMANS ANALİZİ

Öğr. Gör. Ahmet KARAHA

Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Yeşilyurt Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon
Bölümü, 44100, Malatya, Türkiye

ORCID: 0000-0002-3954-8685

Prof. Dr. Figen BALO

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Met.ve Malz Bölümü, 23100, Elazığ, Türkiye

ORCID: 0000-0001-5886-730X

ÖZET

Bu çalışmada, Malatya ilinin iklim koşulları dikkate alınarak, bir plastik boru üretim tesisinde kullanılan 200.000 kcal/h kapasiteli kömür yakıtlı ısıtma sistemine ait baca yapılarının enerji temelli performans analizi gerçekleştirilmiştir. Endüstriyel tesislerde baca sistemleri, yalnızca yanma ürünlerinin güvenli şekilde uzaklaştırılması açısından değil, aynı zamanda enerji verimliliği, ısı kayıpları ve emisyon kontrolü bakımından da kritik bir rol oynamaktadır. Bu kapsamda çalışmada, farklı fiziksel ve termal özelliklere sahip dört ayrı baca malzemesi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bunlar; kırma tuğladan yapma beton baca, şamot form parçaları, şamot form taşları ve beton form parçalarıdır.

Analiz sürecinde, baca geometrisinin performans üzerindeki etkisini ortaya koyabilmek amacıyla kare ve dikdörtgen kesitli baca tasarımları oluşturulmuştur. Bunun yanı sıra, baca yerleşiminin enerji performansı üzerindeki etkisini değerlendirmek için bina içi ve bina dışı konumlandırma senaryoları geliştirilmiş ve tüm olası kombinasyonlar detaylı şekilde ele alınmıştır. Simülasyon çalışmaları, mühendislik hesaplamalarına dayalı güvenilir sonuçlar sunan KesaAladin programı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir.

Elde edilen sonuçlar, özellikle refrakter özellik gösteren şamot esaslı malzemelerin yüksek sıcaklıklara karşı dayanım, düşük ısı iletkenlik ve termal kararlılık açısından önemli avantajlar sunduğunu ortaya koymuştur. Bu malzemelerin kullanıldığı baca sistemlerinde daha düşük ısı kayıpları ve daha kararlı çekiş değerleri elde edilmiştir. Öte yandan, baca yerleşim tipinin de performans üzerinde belirleyici bir parametre olduğu belirlenmiştir. Bina içi yerleşimlerin, dış ortama maruz kalmanın azalması nedeniyle daha düşük ısı kayıpları sağladığı; buna karşılık bina dışı yerleşimlerin ise çevresel koşullardan daha fazla etkilenecek performans kayıplarına neden olabildiği görülmüştür.

Sonuç olarak bu çalışma, Malatya iline özgü iklim koşulları altında faaliyet gösteren ağır sanayi tesislerinde, uygun baca malzemesi ve yerleşim tipinin seçilmesinin enerji verimliliğini artırmada ve emisyonların azaltılmasında kritik bir rol oynadığını göstermektedir. Ayrıca elde

edilen bulguların, benzer endüstriyel uygulamalar için yol gösterici nitelikte olduğu ve sürdürülebilir üretim hedeflerine katkı sağlayabileceği değerlendirilmektedir.

Anahtar kelimeler: Kömürlü endüstriyel kazan, refrakter baca malzemeleri, şamot yapılar, baca yerleşimi, enerji performansı, KesaAladin simülasyonu

1 GİRİŞ

Sanayi tesislerinde kullanılan kömür yakıtlı endüstriyel kazan sistemleri, üretim süreçlerinin sürekliliğini sağlamakla birlikte önemli miktarda enerji tüketimi ve baca gazı emisyonu oluşturmaktadır. Özellikle plastik boru üretimi gibi ısı enerji gereksinimi yüksek sektörlerde, yanma verimi kadar baca sisteminin tasarımı ve malzeme özellikleri de toplam sistem performansını doğrudan etkiler [1]. Baca sistemleri; yanma ürünlerinin güvenli biçimde atmosfere atılmasını sağlamanın yanı sıra, çekiş mekanizması, ısı kayıpları, yoğunlaşma davranışı ve iç yüzey sıcaklık dağılımı gibi parametreler üzerinden kazan verimiyle doğrudan ilişkilidir [2].

Refrakter özellik gösteren baca malzemeleri, yüksek sıcaklık dayanımı, düşük ısı genleşme katsayısı ve termal şok direnci sayesinde endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak tercih edilmektedir [3]. Şamot esaslı malzemeler, alümina-silika içeriği sayesinde yüksek sıcaklıklarda yapısal stabilite sağlamak ve baca iç yüzeyinde sıcaklık düşüşünü sınırlayarak çekiş karakteristiğini olumlu yönde etkilemektedir [4]. Buna karşılık beton esaslı baca elemanları, maliyet avantajı ve kolay üretilebilirlik gibi üstünlükler sunmakla birlikte, yüksek sıcaklıklarda ısı iletkenlik ve dayanım açısından farklı performans gösterebilir [5]. Bu nedenle malzeme seçimi, sadece mekanik dayanım açısından değil, aynı zamanda enerji kökenli performans kriterleri doğrultusunda da değerlendirilmelidir.

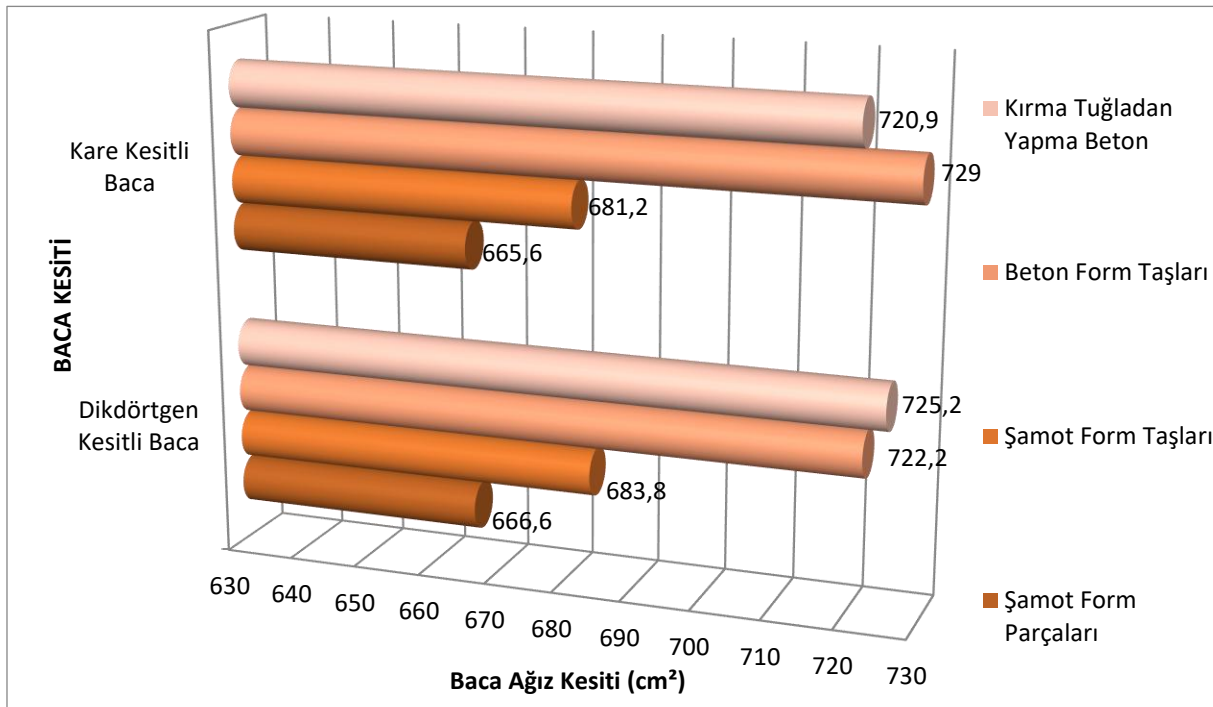
Baca geometrisi ve yerleşim tipi de sistem performansında belirleyici parametreler arasındadır. Kare ve dikdörtgen kesitli bacalarda akış dağılımı, sınır tabaka gelişimi ve iç yüzey ısı transfer katsayıları farklılık gösterebilir [6]. Ayrıca bacanın bina içi veya bina dışı konumlandırılması; dış ortam sıcaklığına maruziyet düzeyini değiştirerek ısı kaybı, yoğunlaşma riski ve çekiş kuvveti üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır [7]. Özellikle soğuk iklim bölgelerinde dış ortamla temas eden baca yüzeylerinde meydana gelen sıcaklık düşüşü, baca gazı yoğunluğunu artırarak doğal çekişi azaltabilmekte ve yanma verimini olumsuz etkileyebilir [8-10].

Enerji verimliliği ve emisyon kontrolü açısından baca sistemlerinin optimizasyonu, endüstriyel tesislerde sürdürülebilir üretim hedefleriyle doğrudan ilişkilidir. Avrupa Birliği ve uluslararası standartlar, büyük yakma tesislerinde enerji performansı ve emisyon sınır değerlerinin birlikte ele alınmasını zorunlu kılmaktadır [11, 12]. Bu bağlamda, baca

malzemesi ve yerleşim tipinin birlikte değerlendirilmesi; ısı kayıplarının azaltılması, yanma stabilitesinin artırılması ve CO₂ ile partikül emisyonlarının kontrol altına alınması açısından kritik önem taşımaktadır [13-15].

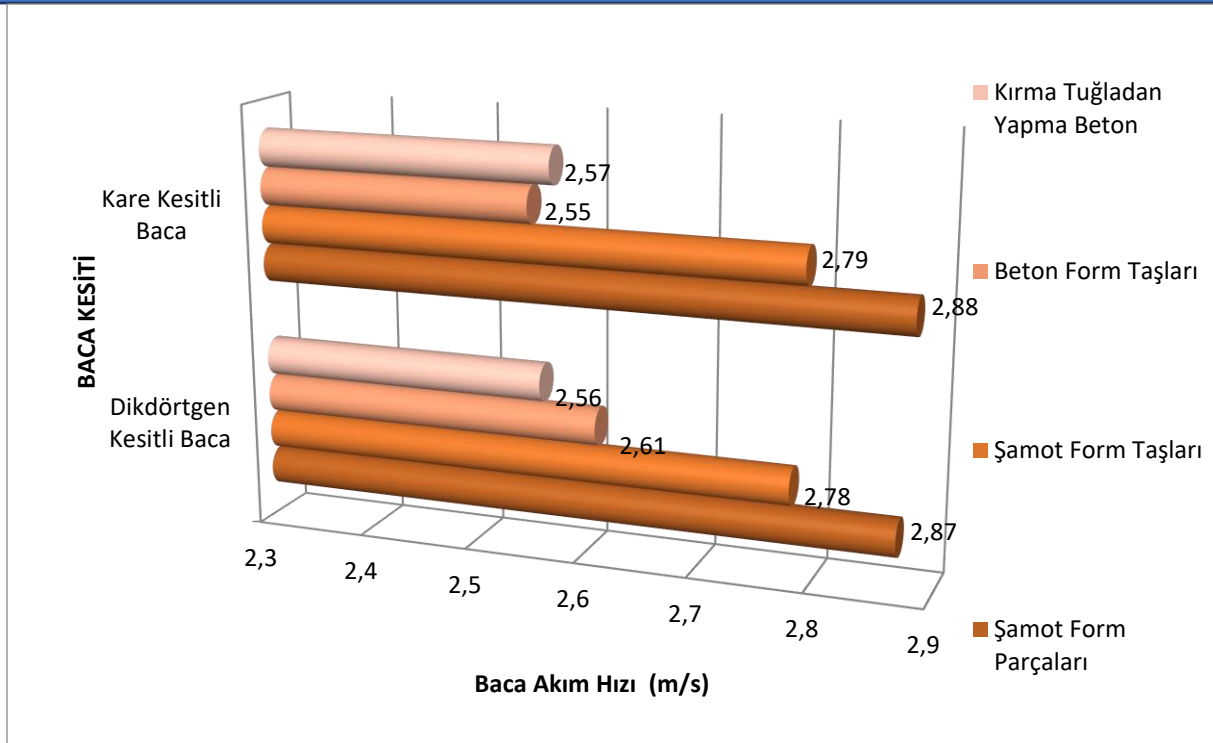
Literatürde refrakter malzemelerin yüksek sıcaklık davranışı, baca gazı akış karakteristikleri ve ısı kayıplar üzerine çeşitli çalışmalar bulunmakla birlikte; ağır sanayi tesislerinde farklı refrakter ve beton esaslı baca malzemelerinin yerleşim tipine bağlı olarak bütüncül enerji performans analizine yönelik çalışmalar sınırlıdır. Bu nedenle Malatya ili iklim koşullarında faaliyet gösteren kömür yakıtlı bir endüstriyel kazan sisteminde farklı baca malzemeleri ve yerleşim alternatiflerinin simülasyon tabanlı karşılaştırılması, literatüre özgün katkı sağlamaktadır.

2. ANALİZ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER



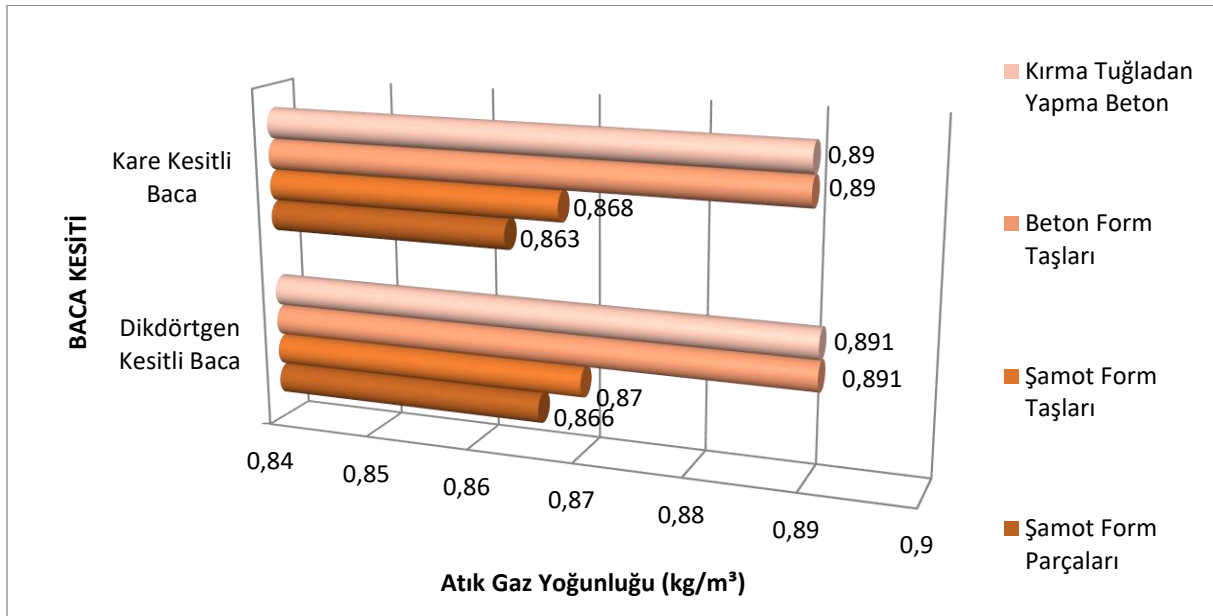
Şekil 1. Kare ve dikdörtgen kesitli baca sistemlerinde ağız kesiti değerlerinin malzemeye bağlı değişimi

Şekil 1 farklı baca malzemeleri için kare ve dikdörtgen kesit geometrilerinde elde edilen baca ağız kesiti değerlerini karşılaştırmalı olarak göstermektedir. Sonuçlar, beton esaslı malzemelerde daha yüksek kesit değerleri oluştuğunu, kesit geometrisinin ise sınırlı fakat belirgin bir etkisi olduğunu ortaya koymaktadır.



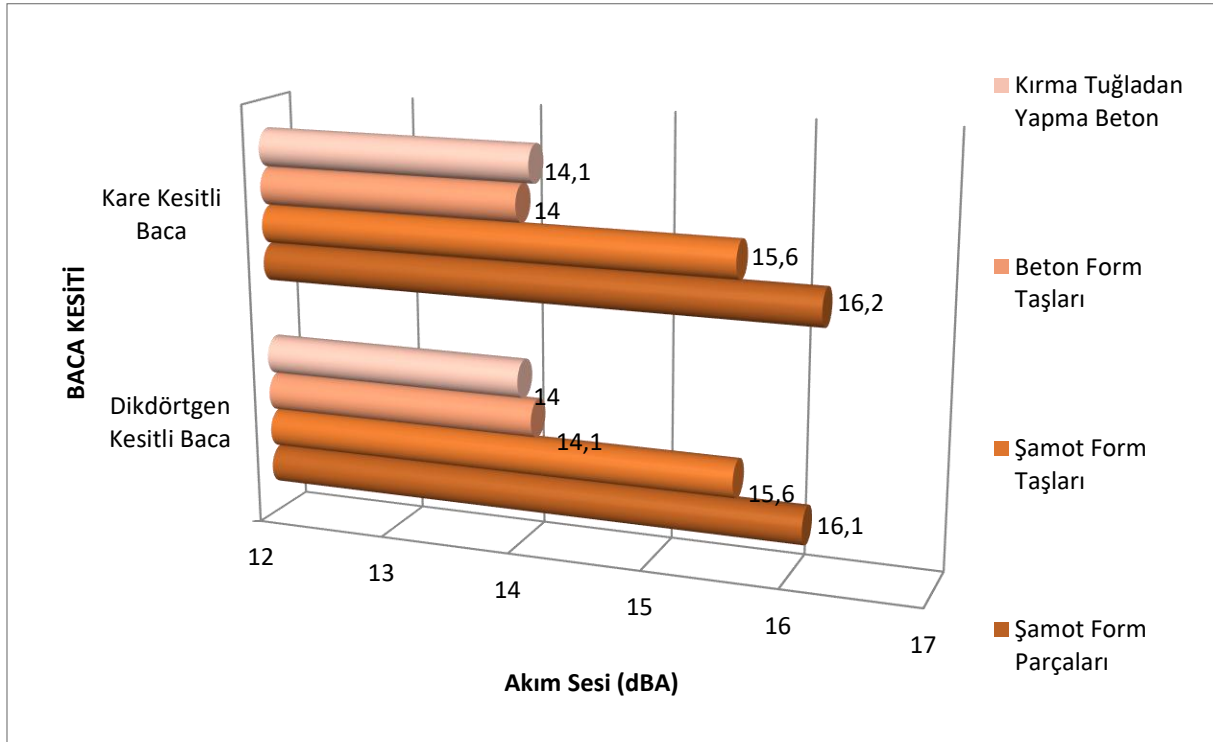
Şekil 2. Kare ve dikdörtgen kesitli baca sistemlerinde akım hızının malzemeye bağlı değişimi

Şekil 2’de, baca içi akım hızlarının hem kesit geometrisine hem de malzeme türüne bağlı değişimi sunulmaktadır. Şamot esaslı malzemelerde daha yüksek akım hızları elde edilirken, beton esaslı sistemlerde hız değerlerinde azalma gözlenmektedir.

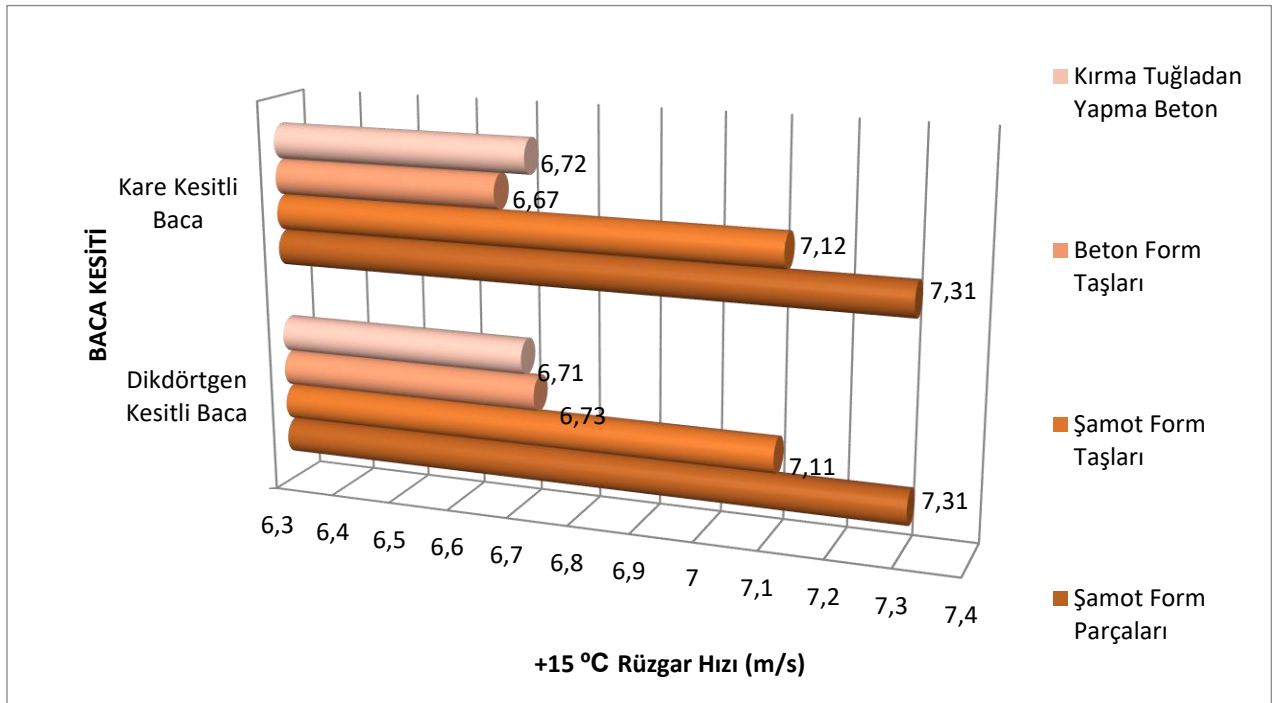


Şekil 3. Kare ve dikdörtgen kesitli baca sistemlerinde atık gaz yoğunluğunun karşılaştırılması

Bu grafik, farklı malzeme ve kesit türleri için atık gaz yoğunluklarının değişimini göstermektedir. Beton esaslı baca sistemlerinde yoğunluk değerlerinin nispeten daha yüksek olduğu belirlenmiştir.



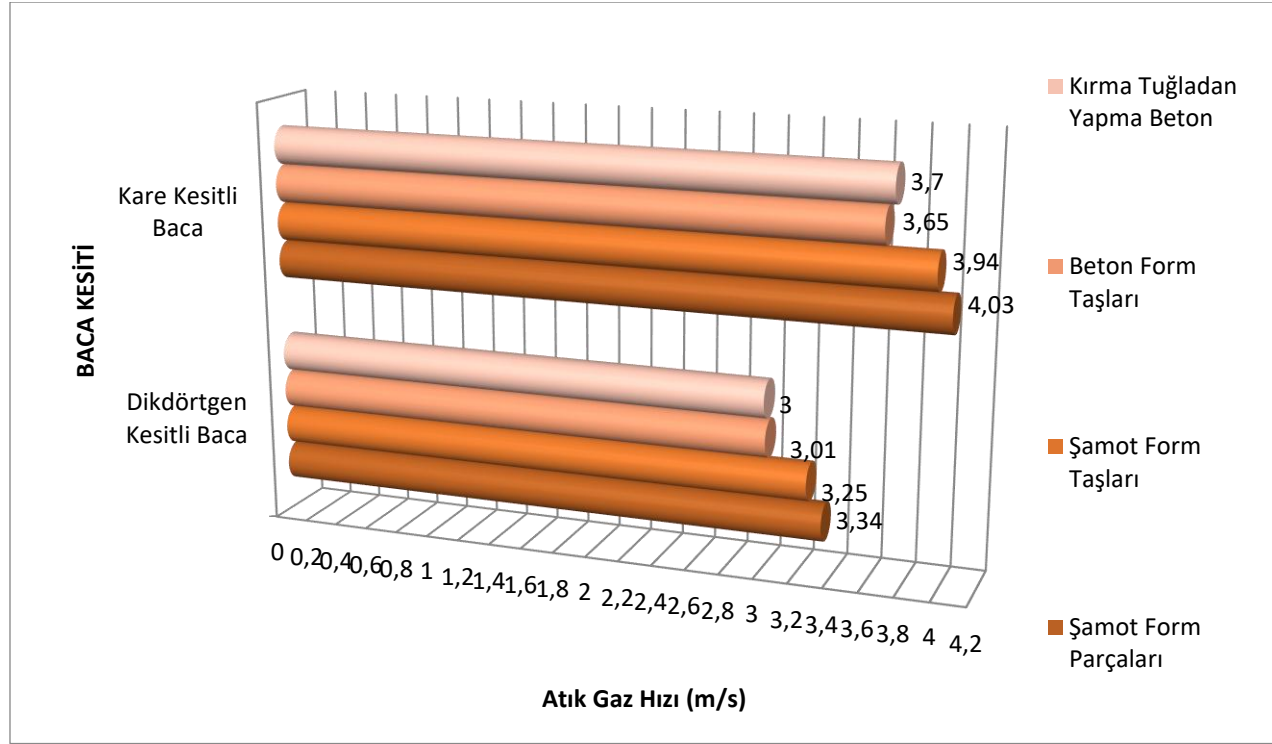
Şekil 4. Kare ve dikdörtgen kesitli baca sistemlerinde akım sesi seviyelerinin karşılaştırılması



Şekil 5. Kare ve dikdörtgen kesitli baca sistemlerinde rüzgar hızının (+15 °C) etkisi

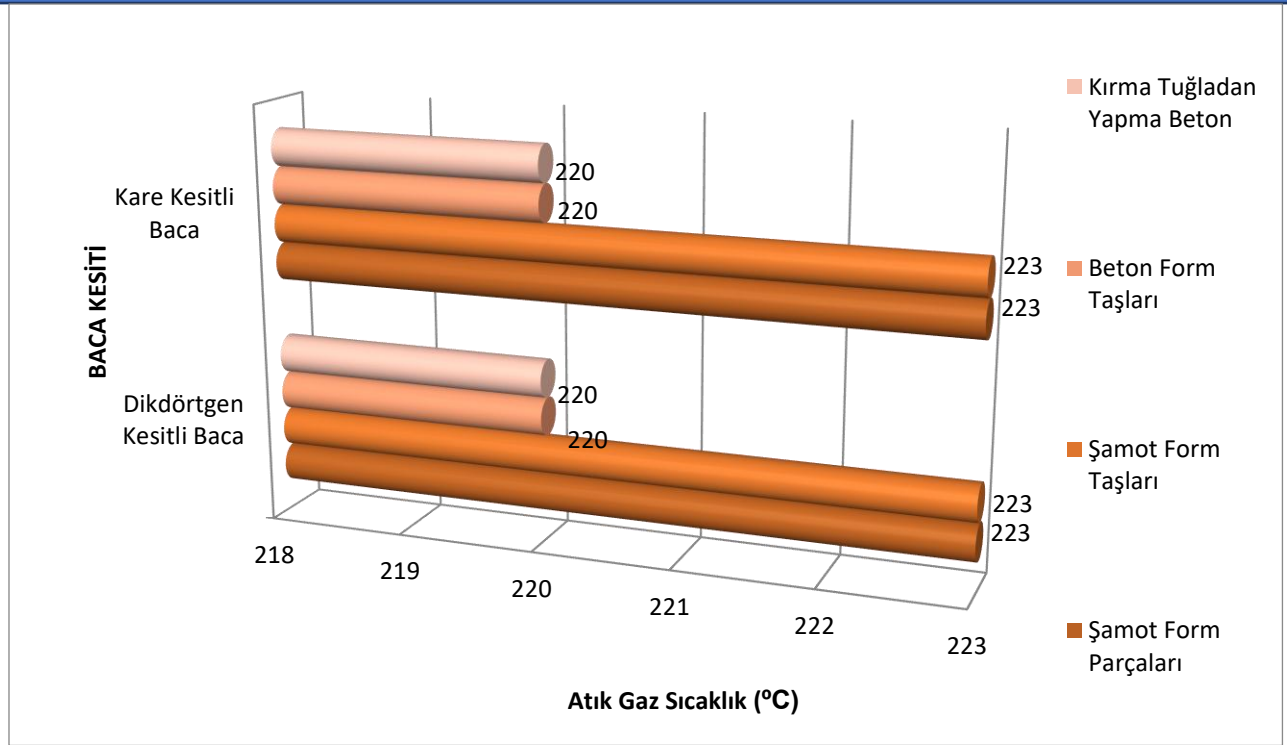
Şekil 4’de, baca sistemlerinde oluşan akustik seviyeler (dBA) karşılaştırılmıştır. Şamot esaslı malzemelerin daha düşük ses seviyeleri sağlayarak akustik performans açısından avantaj sunduğu görülmektedir.

Şekil 5, standart dış ortam koşullarında rüzgar hızının baca performansına etkisini göstermektedir. Kesit geometrisinin etkisi sınırlı olup, malzeme türüne bağlı küçük farklılıklar gözlenmiştir.



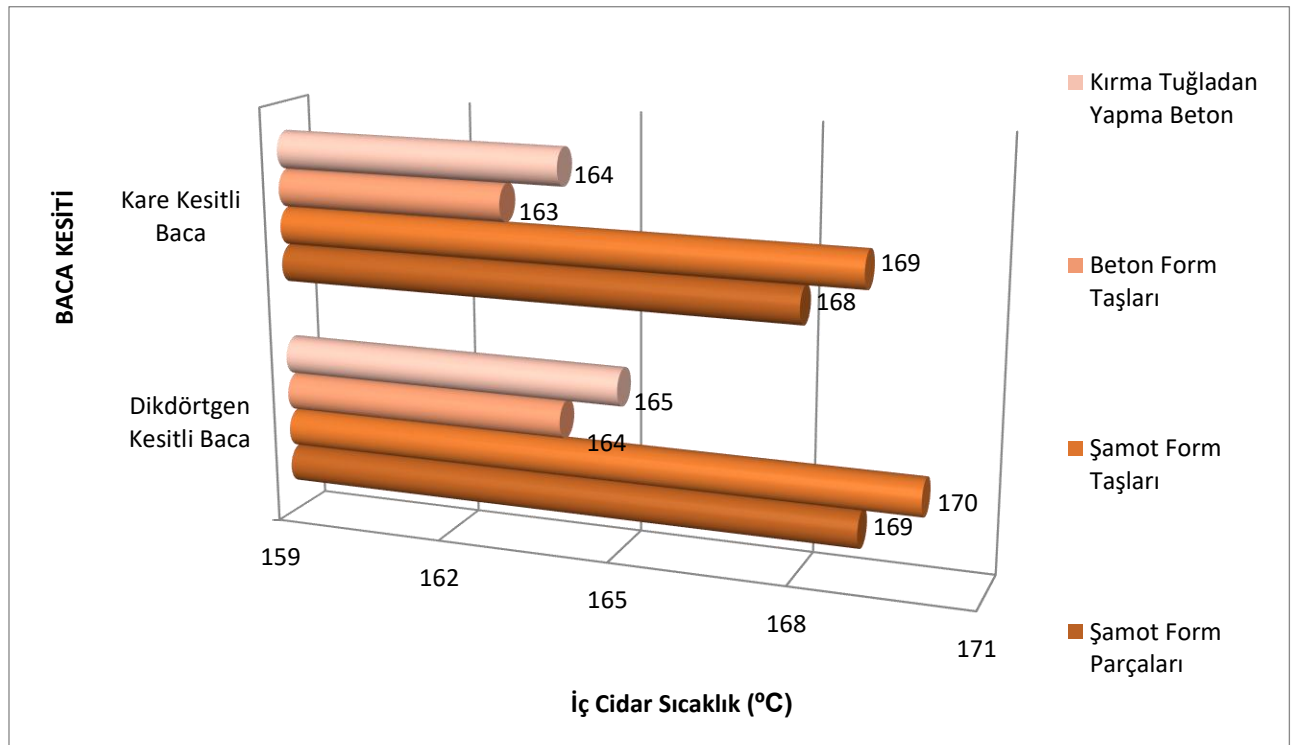
Şekil 6. Kare ve dikdörtgen kesitli baca sistemlerinde atık gaz hızının karşılaştırılması

Şekil 6’da, baca çıkışındaki atık gaz hızlarının malzeme ve kesit tipine göre değişimi verilmiştir. Şamot esaslı sistemlerde daha yüksek hız değerleri elde edilirken, dikdörtgen kesitlerde hızların genel olarak daha düşük olduğu görülmektedir.



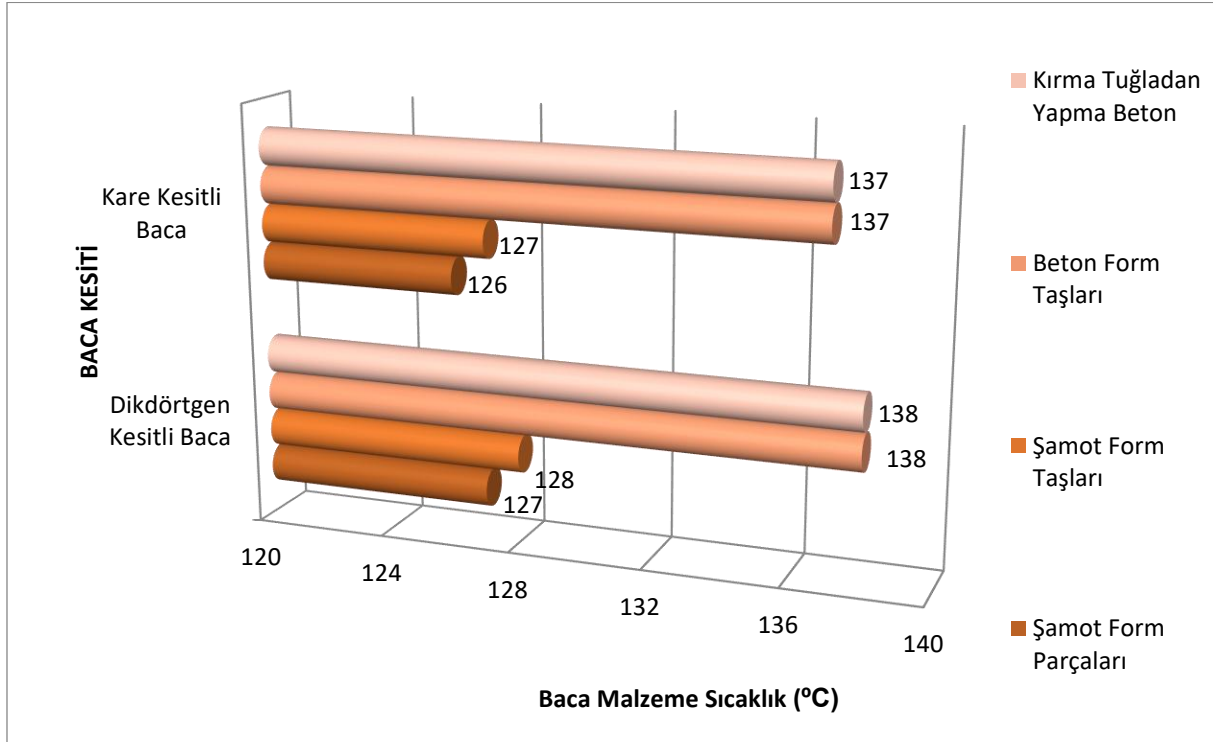
Şekil 7. Kare ve dikdörtgen kesitli baca sistemlerinde atık gaz sıcaklıklarının dağılımı

Şekil 7, baca çıkışındaki gaz sıcaklıklarını karşılaştırmaktadır. Tüm malzemelerde benzer sıcaklık değerleri elde edilmekle birlikte, şamot esaslı sistemlerde sıcaklık korunumu daha kararlıdır.

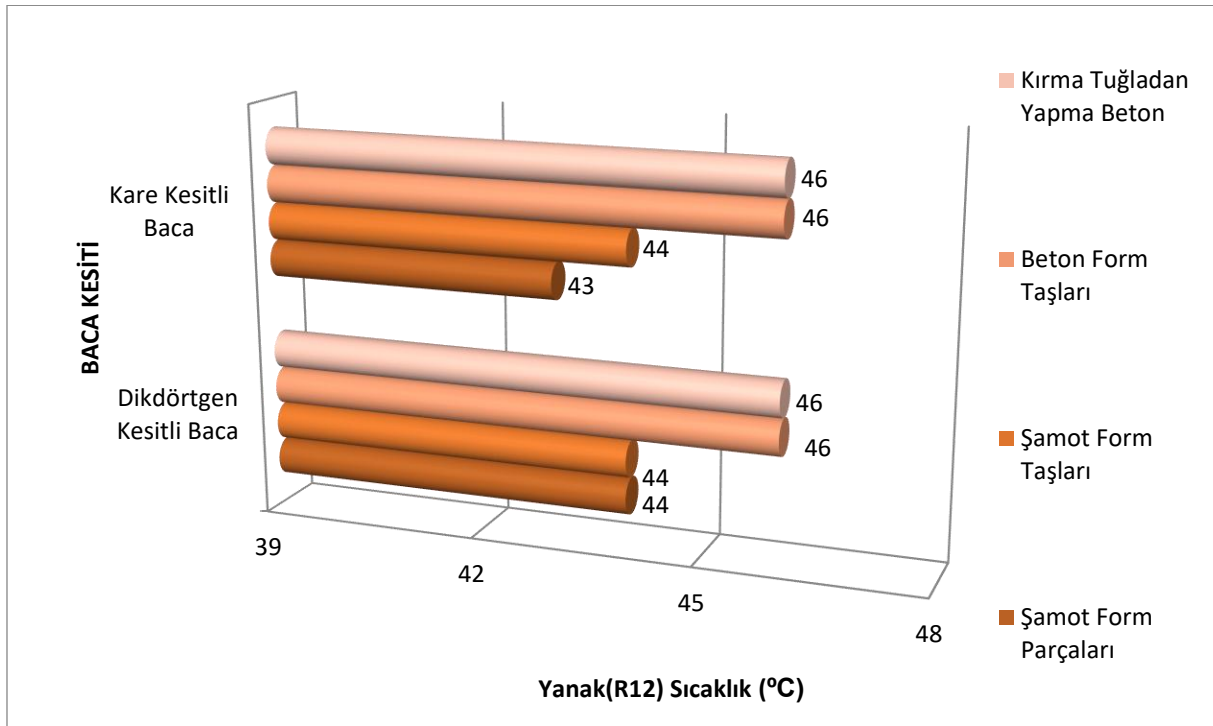


Şekil 8. Kare ve dikdörtgen kesitli baca sistemlerinde iç cidar sıcaklıklarının karşılaştırılması

Şekil 8'de, baca iç yüzey sıcaklıklarının malzeme ve kesit türüne göre değişimi sunulmaktadır. Şamot esaslı malzemelerde daha yüksek cidar sıcaklıkları korunarak ısı kayıplarının azaldığı görülmektedir.



Şekil 9. Kare ve dikdörtgen kesitli baca sistemlerinde malzeme sıcaklıklarının değişimi



Şekil 10. Kare ve dikdörtgen kesitli baca sistemlerinde yanak (R12) sıcaklıklarının karşılaştırılması

Şekil 9, baca yapı malzemelerinde oluşan sıcaklık dağılımını göstermektedir. Beton esaslı malzemelerde daha yüksek sıcaklık birikimi gözlenmiştir.

Şekil 10'da, baca dış yüzeyine yakın bölgelerde ölçülen sıcaklık değerleri sunulmaktadır. Tüm malzemelerde benzer sıcaklık aralıkları elde edilmiş olup, kesit geometrisinin etkisi sınırlı kalmıştır.

Şekillerin sayısal verileri bütüncül olarak değerlendirildiğinde, performans açısından en uygun kombinasyonun açık biçimde ayrıştığını göstermektedir. Kare kesitli baca sistemlerinde şamot form parçaları, 2,88 m/s akım hızı ve 4,03 m/s atık gaz hızı ile en yüksek çekiş değerlerini sağlarken, aynı zamanda 168 °C iç cidar sıcaklığı ile ısı kayıplarını sınırlı tutulduğunu ortaya koymaktadır. Buna karşılık beton esaslı sistemlerde akım hızının 2,55–2,57 m/s seviyelerine, atık gaz hızının ise 3,65–3,70 m/s aralığına düştüğü ve iç cidar sıcaklıklarının daha düşük kaldığı belirlenmiştir. Dikdörtgen kesitli sistemlerde ise tüm malzemelerde performansın bir miktar azaldığı, özellikle atık gaz hızlarının 3,00–3,34 m/s seviyelerine gerilediği görülmektedir. Akım sesi açısından da şamot esaslı malzemelerin (15,6–16,2 dBA) kabul edilebilir sınırlar içinde kaldığı ve akış kararlılığını desteklediği anlaşılmaktadır. Bu veriler birlikte değerlendirildiğinde, en yüksek termal verim, en düşük ısı kaybı ve en güçlü doğal çekiş performansını sağlayan kombinasyonun kare kesitli ve şamot form parçalarından oluşan baca sistemi olduğu net olarak ortaya konulmaktadır.

3. SONUÇ

Bu çalışmada, farklı baca malzemeleri ve kesit geometrilerinin (kare ve dikdörtgen) enerji performansı üzerindeki etkileri, Malatya ili iklim koşulları dikkate alınarak karşılaştırmalı olarak analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, hem malzeme seçiminin hem de baca geometrisinin sistem performansı üzerinde belirleyici olduğunu ortaya koymaktadır.

Analiz sonuçlarına göre, baca ağız kesiti değerleri incelendiğinde beton esaslı malzemelerde daha yüksek kesit değerlerinin olduğu görülmektedir. Bu durum, beton malzemelerin daha düşük ısı performansı nedeniyle gerekli çekişin sağlanabilmesi için daha geniş kesit ihtiyacına işaret etmektedir. Buna karşılık, şamot esaslı malzemelerde daha düşük kesit alanlarıyla yeterli performans elde edilebilmiştir.

Akım hızı ve atık gaz hızı parametreleri birlikte değerlendirildiğinde, şamot form parçaları ve şamot form taşlarının daha yüksek hız değerleri sağladığı belirlenmiştir. Bu durum, söz konusu malzemelerin düşük ısı iletkenlikleri sayesinde baca içi sıcaklıkları daha iyi koruması ve buna bağlı olarak doğal çekişin artmasıyla açıklanabilir. Dikdörtgen kesitli bacalarda ise akım hızlarının genel olarak kare kesitli sistemlere kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Atık gaz yoğunluğu sonuçları, beton esaslı sistemlerde yoğunluğun nispeten daha yüksek olduğunu göstermektedir. Bu durum, baca içi sıcaklıkların daha hızlı düşmesi ve gazın daha yoğun hale gelmesi ile ilişkilidir. Benzer şekilde, iç cidar sıcaklıkları incelendiğinde şamot esaslı malzemelerin daha yüksek sıcaklık değerlerini koruduğu ve bu sayede ısı kayıplarını minimize ettiği görülmektedir.

Akım sesi (dBA) değerleri açısından yapılan değerlendirmede, şamot esaslı baca sistemlerinin daha düşük gürültü seviyeleri sunduğu belirlenmiştir. Bu durum, daha düzgün ve kararlı akış yapısının bir sonucu olarak değerlendirilebilir. Rüzgar hızı etkisi incelendiğinde ise tüm sistemlerde benzer eğilimler gözlenmiş, ancak şamot esaslı malzemelerin dış etkilere karşı daha stabil performans gösterdiği tespit edilmiştir.

Malzeme sıcaklıkları ve yanak (R12) sıcaklıkları incelendiğinde, beton esaslı sistemlerde daha yüksek sıcaklık birikimi olduğu görülmektedir. Bu durum, ısının baca içerisinde tutulamayıp yapı elemanlarına iletilmesiyle ilişkilidir ve enerji kaybı açısından olumsuz bir durumdur.

Genel olarak değerlendirildiğinde, şamot esaslı baca malzemelerinin (özellikle şamot form parçaları ve şamot form taşları) daha yüksek termal performans, daha düşük ısı kaybı ve daha stabil akış karakteristiği sunduğu belirlenmiştir. Ayrıca kesit geometrisi açısından kare kesitli baca sistemlerinin, dikdörtgen kesitlere kıyasla daha yüksek akım hızları ve daha etkin çekiş sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.

Sonuç olarak, endüstriyel baca tasarımında malzeme seçimi ve kesit geometrisinin birlikte değerlendirilmesi gerekmekte olup, özellikle enerji verimliliğinin ön planda olduğu uygulamalarda şamot esaslı malzemelerin ve kare kesit geometrisinin tercih edilmesi önerilmektedir. Bu bulgular, benzer iklim koşullarına sahip endüstriyel tesisler için önemli bir referans niteliği taşımaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Babuška, R., & Versteeg, H. K. (2007). *An introduction to computational fluid dynamics: The finite volume method*. Pearson Education.
- [2] Çengel, Y. A., & Ghajar, A. J. (2015). *Heat and mass transfer: Fundamentals and applications* (5th ed.). McGraw-Hill Education.
- [3] Lee, W. E., & Moore, R. E. (1998). Evolution of in situ refractories in the 20th century. *Journal of the American Ceramic Society*, 81(6), 1385–1410. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1998.tb02548.x>
- [4] Chesters, J. H. (1973). *Refractories: Production and properties*. The Iron and Steel Institute
- [5] Pacheco-Torgal, F., Jalali, S., & Labrincha, J. A. (2012). Eco-efficient construction and building materials research under the EU Framework Programme Horizon 2020. *Construction and Building Materials*, 51, 151–162.
- [6] Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (2007). *An introduction to computational fluid dynamics: The finite volume method* (2nd ed.). Pearson Education.
- [7] ASHRAE. (2021). *ASHRAE Handbook—HVAC Applications*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- [8] Turns, S. R. (2012). *An introduction to combustion: Concepts and applications* (3rd ed.). McGraw-Hill.

- [9] European Parliament and Council. (2010). Directive 2010/75/EU on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). *Official Journal of the European Union*.
- [10] U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2019). *AP-42: Compilation of air pollutant emission factors*. United States Environmental Protection Agency.
- [11] U Yılmaz, F Balo, LS Sua, Simulation framework for wind energy attributes with WAsP, *Procedia Computer Science* 158, 458-465
- [12] Figen Balo, Ahmet Karahan, Lutfu S. Sua, A simulation supported chimney design application for greener buildings, *Proceedings of Engineering Thrive 2022: Water, Air, Shelter, and Food Symposium*, June 23-24, 2022, University of Windsor, Ontario, Canada
- [13] Karahan, A., & Balo, F. (2024). Bulanık İlçesinde Isıtma Kazanlarındaki Enerji Tüketimini Azaltmak İçin Simülasyon Destekli Baca Tasarımı. *Bulanık MYO Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(Bulanık Sempozyumu Özel Sayısı), 52-63.
- [14] Karahan, A., & Balo, F. (2024). Emisyonlarının Azaltılması İçin Çevresel Baca Tasarımı; Bulanık İlçesi Üzerine Örnek Çalışma. *Bulanık MYO Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(Bulanık Sempozyumu Özel Sayısı), 42-51.
- [15] Ahmet Karahan, Figen Balo, BIDGE Publishing 2024 Book Series on, Çevre Bilimleri ve Mühendisliğinde Yeni Gelişmeler Işığında Güncel Konular, Chapter 5: Enerji verimliliği için kesaaladin simülasyonu ile baca tasarımı, ISBN: 978-625-372-191-6, Page: 112-133, Pages: 237, June 25, 2024
- [16] Ahmet Karahan, Figen Balo, BIDGE Publishing 2024 Book Series on, Çevre Bilimleri ve Mühendisliğinde Yeni Gelişmeler Işığında Güncel Konular, Chapter 6: Çevre dostu yapılar için simülasyonla baca sistemi analizi, ISBN: 978-625-372-191-6, Page: 134-152, Pages: 237, June 25, 2024

YÜKSEK KAPASİTELİ ALÜMİNYUM BORU ÜRETİM TESİSLERİ İÇİN FARKLI BACA AÇISI VE ALÜMİNYUM ESASLI MALZEMELERİN PERFORMANS OPTİMİZASYONU

Öğr.Gör. Ahmet KARAHAN

Malatya Turgut Özal Üniversitesi, Yeşilyurt Meslek Yüksekokulu, Elektronik ve Otomasyon
Bölümü, 44100, Malatya, Türkiye

ORCID: 0000-0002-3954-8685

Prof.Dr. Figen BALO

Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Met.ve Malz Bölümü, 23100, Elazığ, Türkiye

ORCID: 0000-0001-5886-730X

ÖZET

Bu çalışmada, Eskişehir ilinin iklim koşulları dikkate alınarak, yüksek kapasiteli bir alüminyum boru üretim tesisinde kullanılan 250.000 kcal/h kapasiteli sıvı yakıtlı ısıtma sistemine ait çift cidarlı baca sistemlerinin enerji ve emisyon performansı kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Endüstriyel üretim tesislerinde baca sistemlerinin tasarımı, yalnızca yanma gazlarının tahliyesi açısından değil, aynı zamanda sistem verimliliği, yakıt tüketimi ve çevresel etkiler bakımından da kritik öneme sahiptir. Bu doğrultuda çalışmada, baca açısı ve malzeme türünün performans üzerindeki etkileri çok yönlü olarak değerlendirilmiştir.

Araştırma kapsamında, akış karakteristiği üzerindeki etkilerin belirlenmesi amacıyla 30°, 45°, 60° ve 90° olmak üzere dört farklı baca açısı konfigürasyonu oluşturulmuştur. Bununla birlikte, farklı yüzey özelliklerine ve akış davranışlarına sahip alüminyum esaslı malzemeler kullanılarak dört ayrı alternatif senaryo geliştirilmiştir. Bu malzemeler; alüminyum düz boru, alüminyum kıvrılmış boru, alüminyum flex boru ve alüminyum gofrajlı boru olarak belirlenmiştir. Tüm senaryolar, dairesel kesitli baca geometrisi temel alınarak modellenmiş ve mühendislik simülasyonlarında yaygın olarak kullanılan KesaAladin programı aracılığıyla analiz edilmiştir.

Elde edilen bulgular, baca açısının sistem performansı üzerinde doğrudan belirleyici bir parametre olduğunu ortaya koymuştur. Özellikle açı büyüdükçe akış direncinin arttığı, bunun da çekiş kuvvetini olumsuz yönde etkileyerek enerji kayıplarını artırdığı tespit edilmiştir. Buna karşılık, daha düşük açılı baca konfigürasyonlarının akış sürekliliğini iyileştirerek daha stabil bir çekiş sağladığı ve enerji verimliliğini artırdığı belirlenmiştir. Malzeme yüzey özellikleri açısından ise, pürüzlülük ve geometrik form farklılıklarının ısı transferi mekanizmaları üzerinde önemli etkiler oluşturduğu gözlemlenmiştir. Özellikle gofrajlı ve kıvrılmış yüzeylerin türbülansı artırarak bazı durumlarda ısı transferini iyileştirdiği, ancak buna bağlı olarak basınç kayıplarını da artırabildiği anlaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Yüksek kapasiteli kazan sistemleri, baca açısı optimizasyonu, alüminyum baca malzemeleri, akış direnci, enerji verimliliği, KesaAladin simülasyonu

1 GİRİŞ

Yüksek kapasiteli endüstriyel kazan sistemleri, özellikle alüminyum boru üretimi gibi sürekli ve yüksek sıcaklık gerektiren proseslerde, enerji tüketiminin ve emisyon oluşumunun temel belirleyicilerindendir [1]. Yanma sisteminin verimi kadar, yanma ürünlerinin atmosfere güvenli ve etkin biçimde uzaklaştırılmasını sağlayan baca sisteminin tasarımı da toplam enerji performansı üzerinde doğrudan etkilidir [2]. Baca sistemlerinde meydana gelen basınç kayıpları, ısı transferi süreçleri ve akış karakteristiği; çekiş kuvveti, yanma stabilitesi ve özgül yakıt tüketimi gibi parametreleri belirlemektedir [3].

Baca geometrisinde yapılan açısal değişiklikler, özellikle akışın yön değiştirdiği bölgelerde türbülans oluşumunu ve yerel basınç kayıplarını artırabilmektedir. Dirsek ve açı konfigürasyonları, akış direnci katsayısını yükselterek toplam basınç düşümünü etkiler ve bu durum doğal veya cebri çekişli sistemlerde fan enerji tüketimini artırabilir [4]. Literatürde, boru akışlarında dirsek açısının ve yüzey pürüzlülüğünün basınç kaybı üzerindeki etkisinin deneysel ve sayısal yöntemlerle incelendiği çeşitli çalışmalar bulunmaktadır [5]. Özellikle 30°, 45°, 60° ve 90° gibi farklı açı kombinasyonlarının akış rejimi ve türbülans yoğunluğu üzerindeki etkileri, endüstriyel baca tasarımında kritik bir mühendislik parametresi olarak değerlendirilir [6].

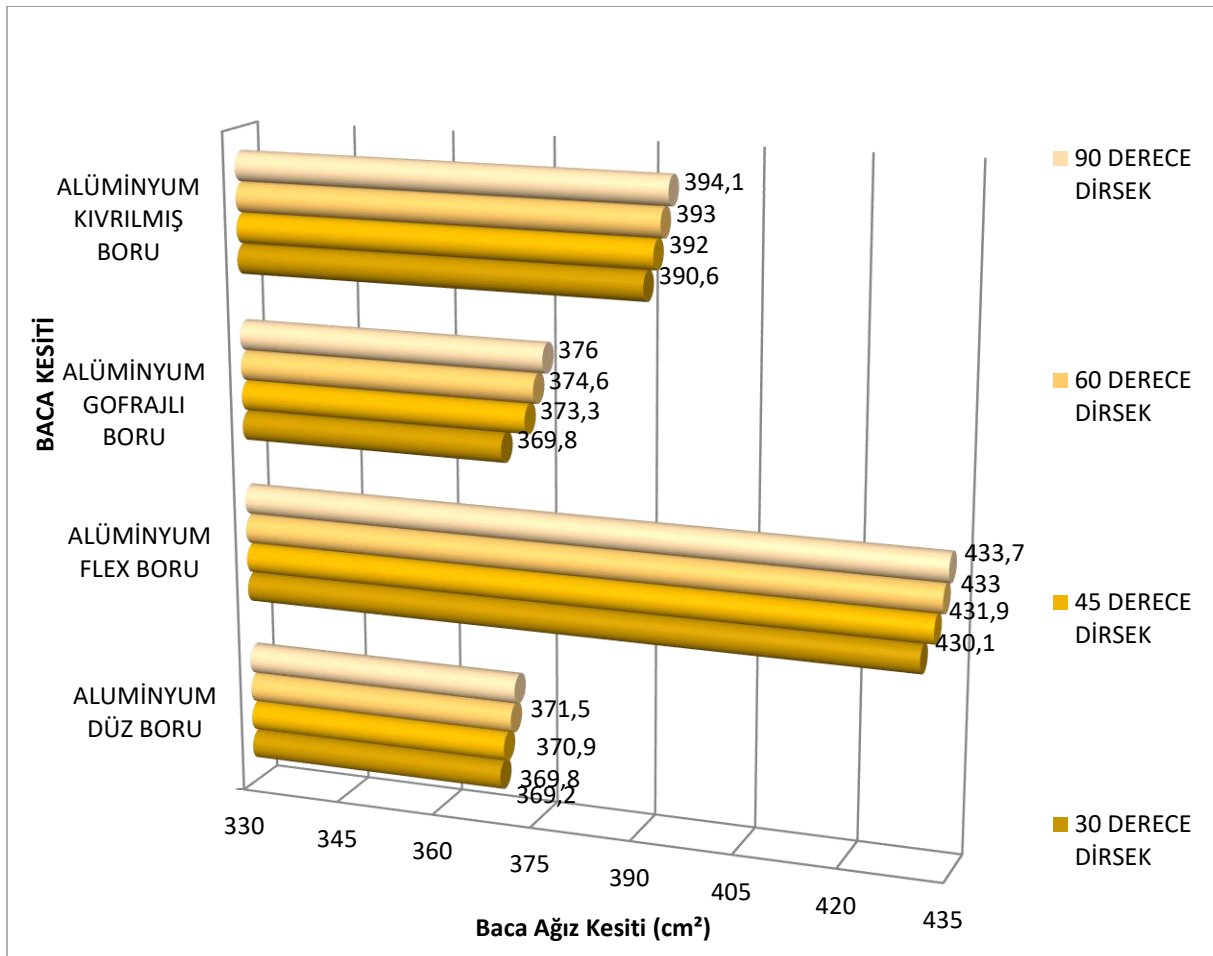
Bununla birlikte, baca malzemesinin termofiziksel özellikleri de enerji performansında belirleyicidir. Alüminyum esaslı baca elemanları; düşük yoğunluk, yüksek ısıl iletkenlik ve korozyon direnci gibi avantajları nedeniyle hafif ve çift cidarlı sistemlerde yaygın biçimde kullanılır [7]. Ancak yüzey formu (düz, kıvrılmış, flex veya golfrajlı yapı) akış sınır tabakasının gelişimini ve iç yüzey sürtünme katsayısını değiştirerek ısı transferi ve basınç kaybı karakteristiğini farklılaştırır [8-10]. Yüzey pürüzlülüğünün artması, türbülans seviyesini yükselterek konvektif ısı transfer katsayısını artırabilirken, aynı zamanda sürtünmeye bağlı enerji kaybını da yükseltebilmektedir [11, 12]. Bu nedenle baca açısı ve yüzey formunun birlikte değerlendirilmesi, optimizasyon açısından bütüncül bir yaklaşım gerektirir.

Enerji verimliliği ve emisyon azaltımı, günümüz endüstriyel tesislerinde sürdürülebilir üretim politikalarının temel bileşenidir. Yanma sistemlerinde baca gazı sıcaklığının ve akış direncinin optimize edilmesi, hem özgül yakıt tüketimini hem de CO₂ ve NO_x emisyonlarını azaltmaya katkı sağlayabilmektedir [13-15]. Özellikle Eskişehir gibi karasal iklim özellikleri gösteren bölgelerde dış ortam sıcaklık değişimleri, baca gazı yoğunluğu ve doğal çekiş

kuvveti üzerinde belirgin etkilere sahiptir. Bu durum, baca tasarım parametrelerinin iklim koşulları ile birlikte değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

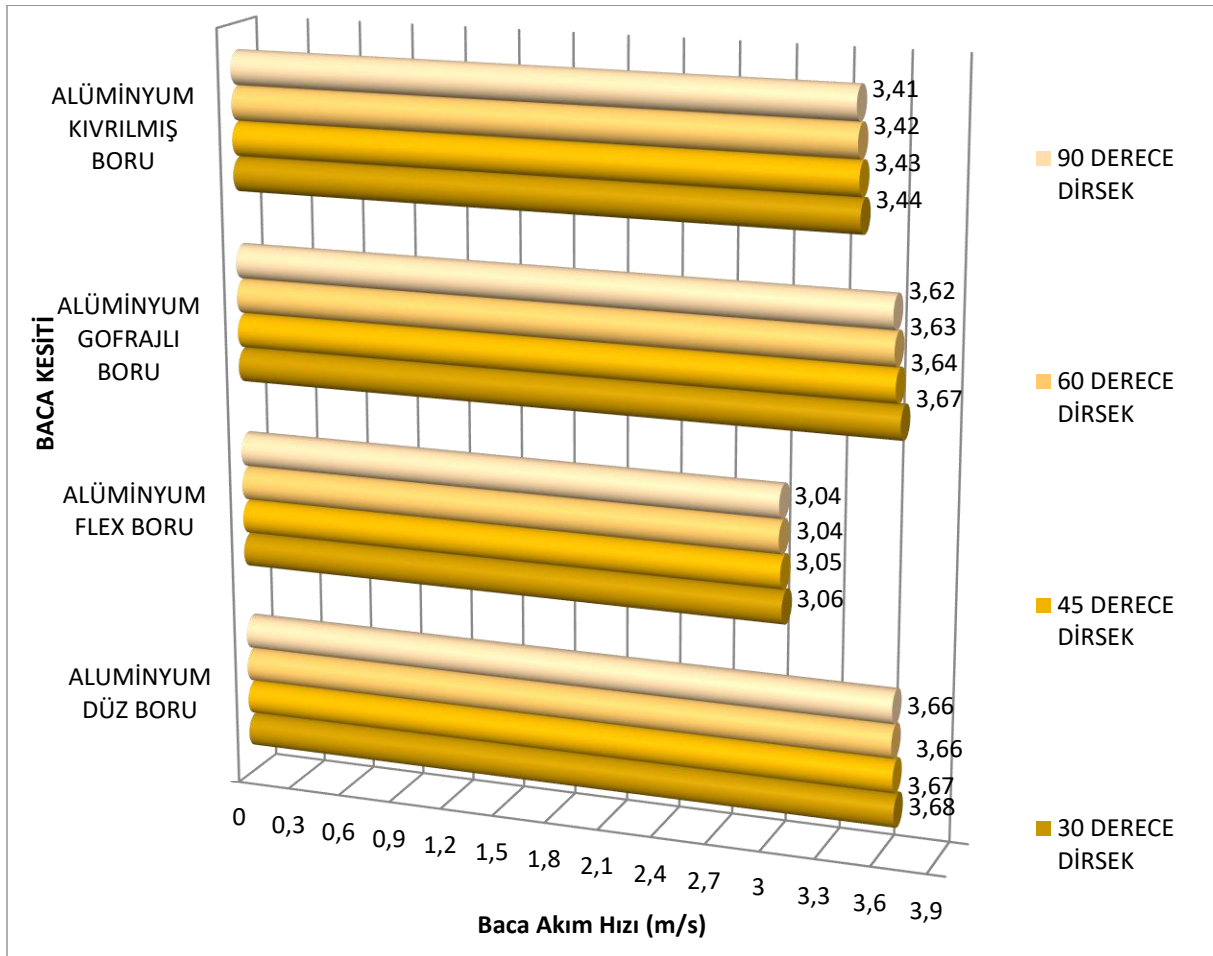
Literatürde boru akışlarında aç ve dirsek kayıpları üzerine çalışmalar mevcut olmakla birlikte, yüksek kapasiteli alüminyum boru üretim tesislerinde kullanılan çift cidarlı baca sistemlerinde farklı aç konfigürasyonları ile alüminyum esaslı yüzey formlarının birlikte değerlendirildiği simülasyon tabanlı kapsamlı analizler sınırlıdır. Bu nedenle, farklı baca açıları ve malzeme yüzey tiplerinin enerji ve emisyon performansına etkisinin bütüncül biçimde incelenmesi, endüstriyel baca tasarımının optimizasyonuna yönelik önemli bir mühendislik katkısı sunmaktadır.

2. ANALİZ SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRMELER



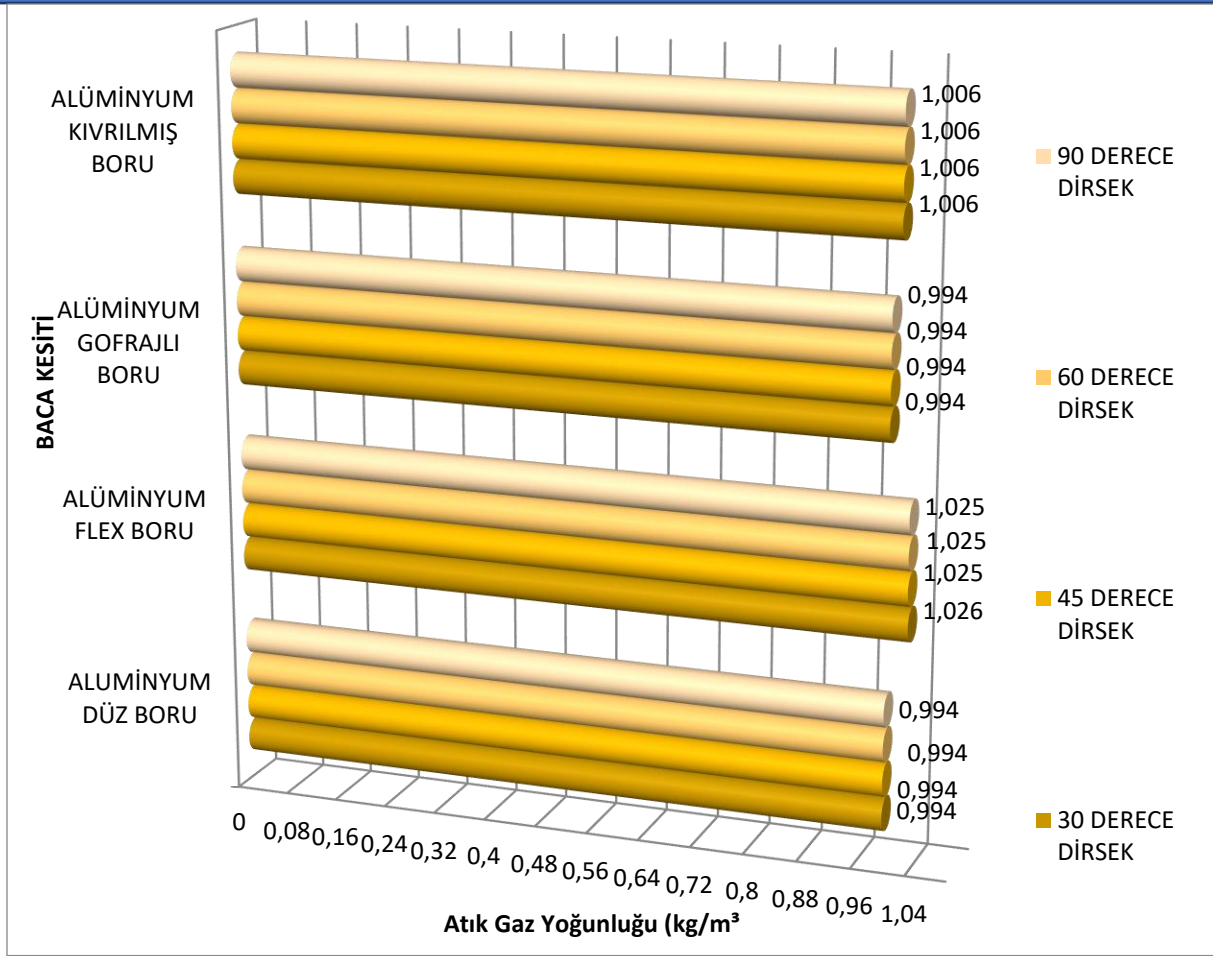
Şekil 1. Farklı baca açıları ve alüminyum malzemeler için baca ağız kesiti değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 1, 30°, 45°, 60° ve 90° baca açıları için farklı alüminyum boru tiplerinde elde edilen ağız kesiti değerlerini göstermektedir. Sonuçlar, özellikle alüminyum flex borularda daha yüksek kesit değerleri oluştuğunu ve aç artışıyla birlikte kesit ihtiyacının hafif şekilde arttığını ortaya koymaktadır.



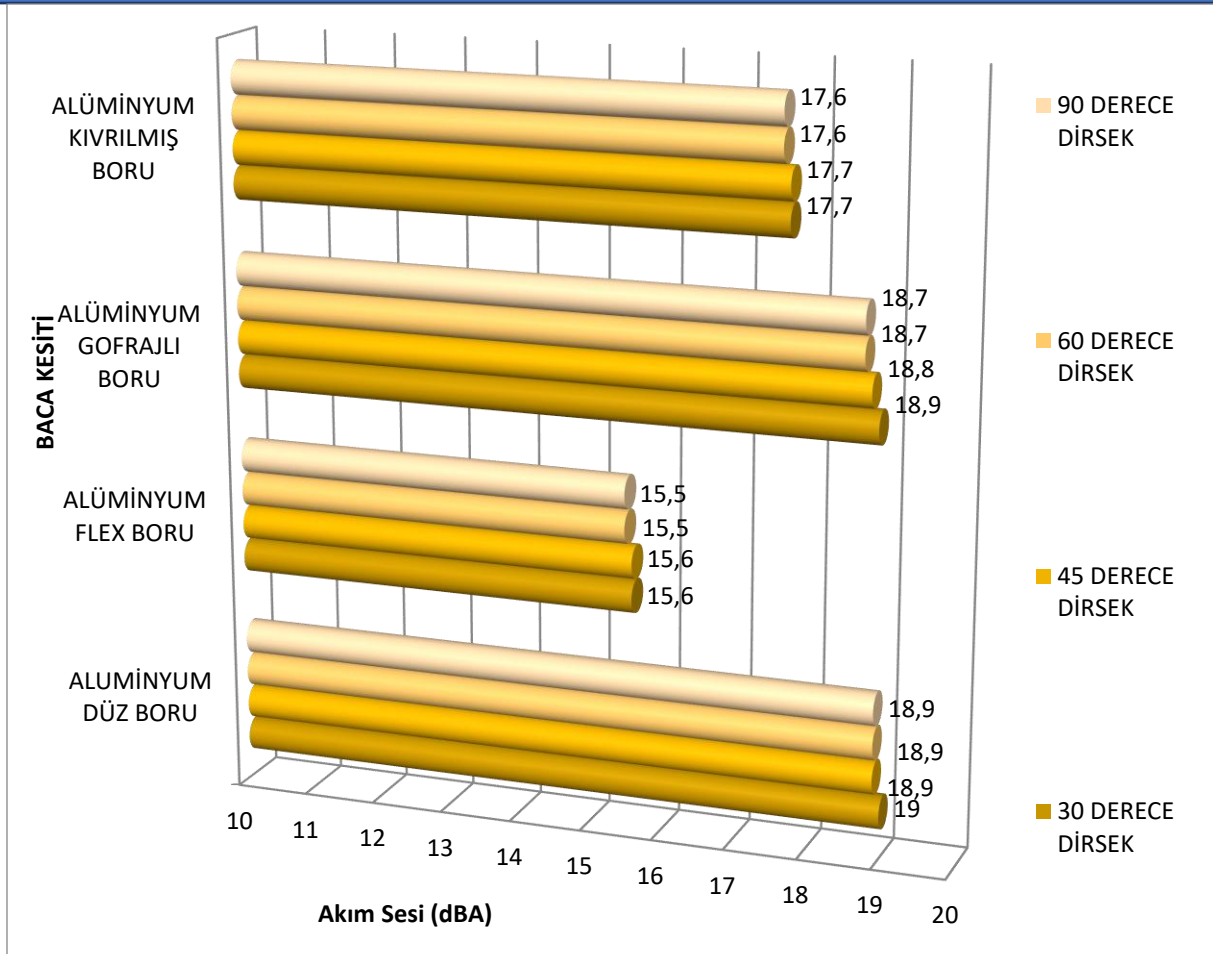
Şekil 2. Farklı baca açıları ve malzemeler için akım hızının değişimi

Şekil 2’de, baca içi akım hızlarının açı ve malzeme türüne bağlı değişimi sunulmaktadır. Düz ve gofrajlı borularda daha yüksek akım hızları elde edilirken, flex borularda hız değerlerinin daha düşük olduğu gözlemlenmiştir.



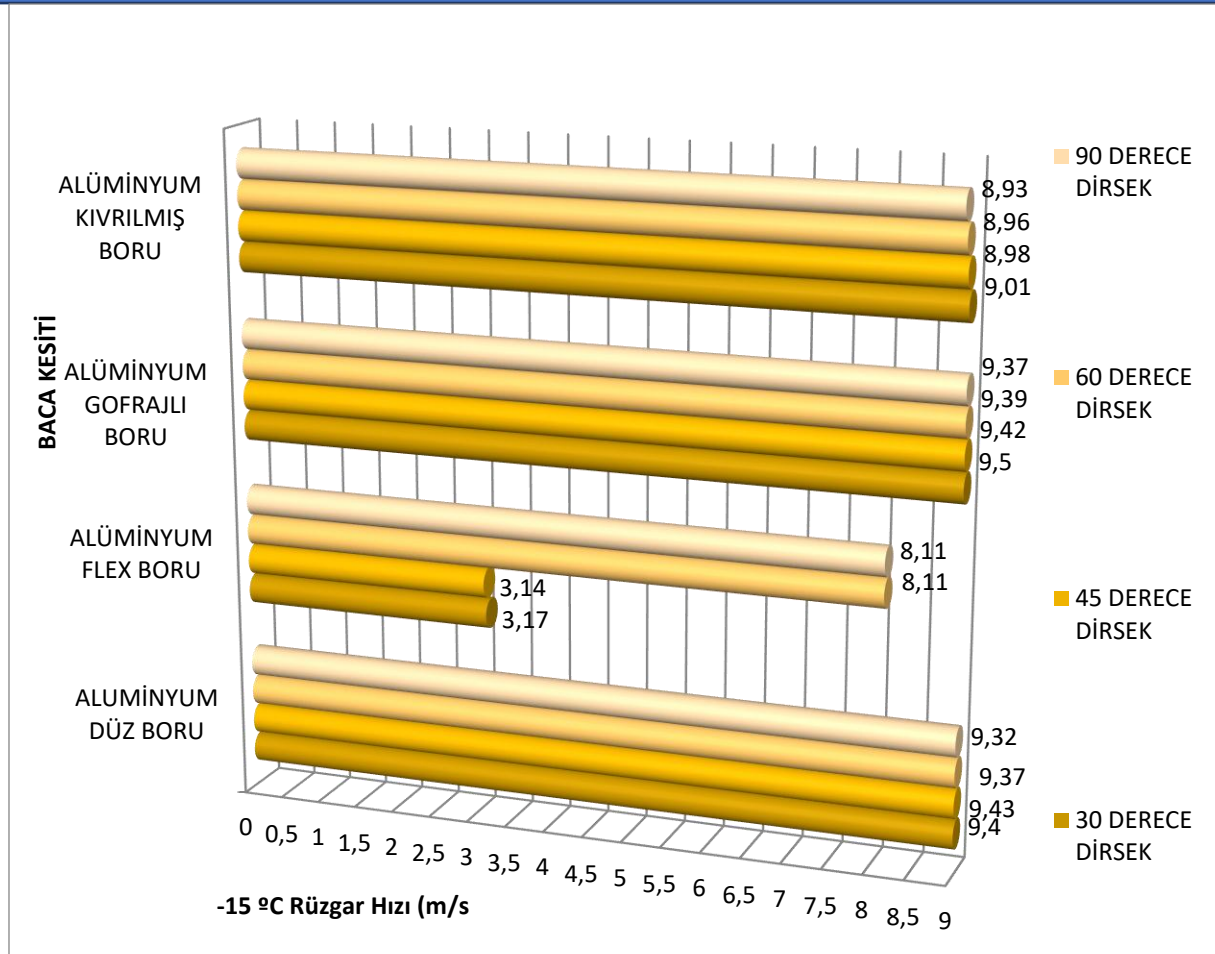
Şekil 3. Farklı baca açıları ve malzemeler için atık gaz yoğunluğu karşılaştırması

Şekil 3, atık gaz yoğunluğunun malzeme türüne bağlı değişimini göstermektedir. Flex ve kıvrılmış borularda yoğunluk değerlerinin daha yüksek olduğu belirlenmiştir.



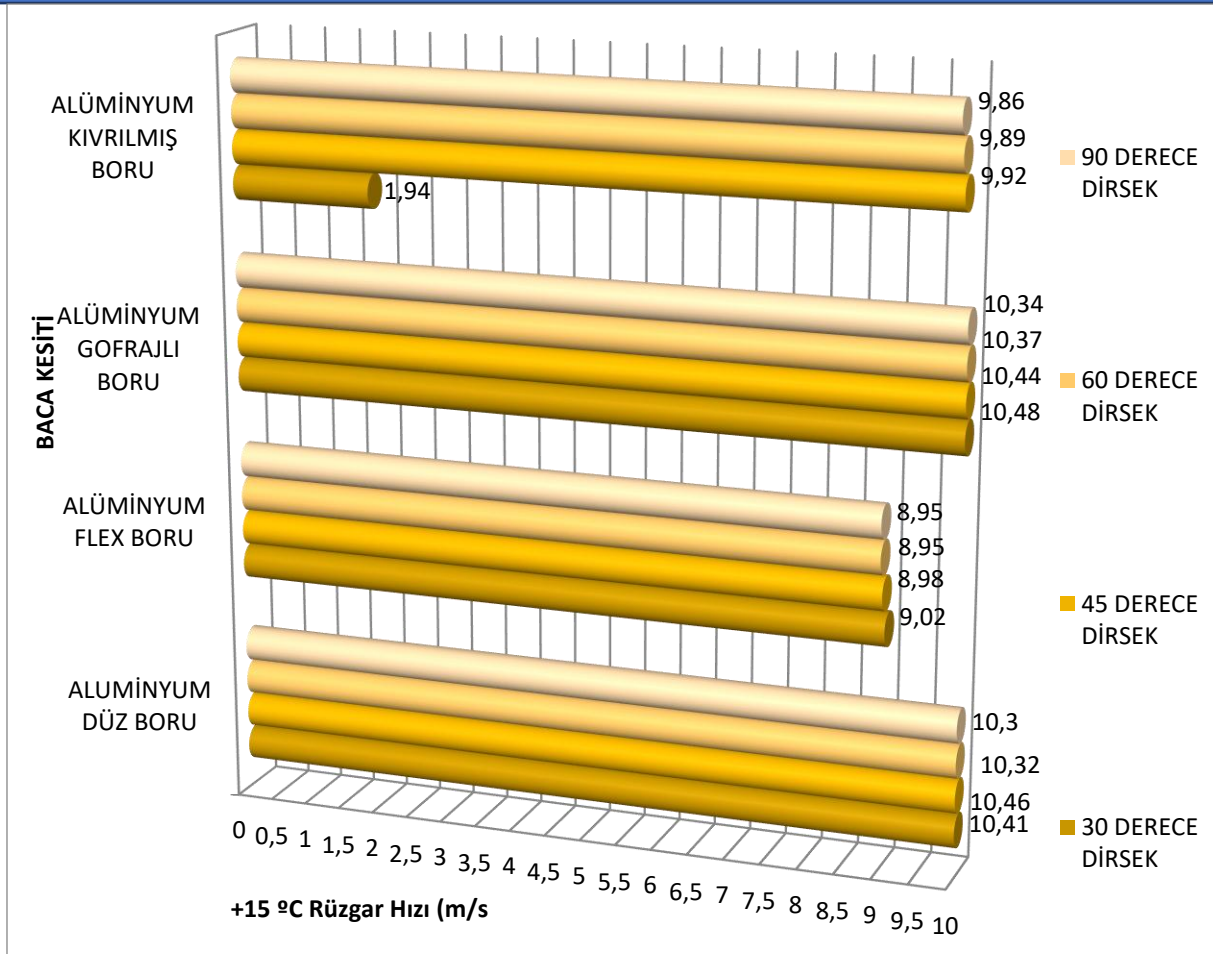
Şekil 4. Farklı baca açıları ve malzemeler için akım sesi seviyelerinin karşılaştırılması

Şekil 4’de, baca sistemlerinde oluşan ses seviyeleri (dBA) verilmiştir. Flex boruların en düşük akım sesi değerlerine sahip olduğu, düz ve gofrajlı borularda ise daha yüksek değerler olduğu görülmektedir.



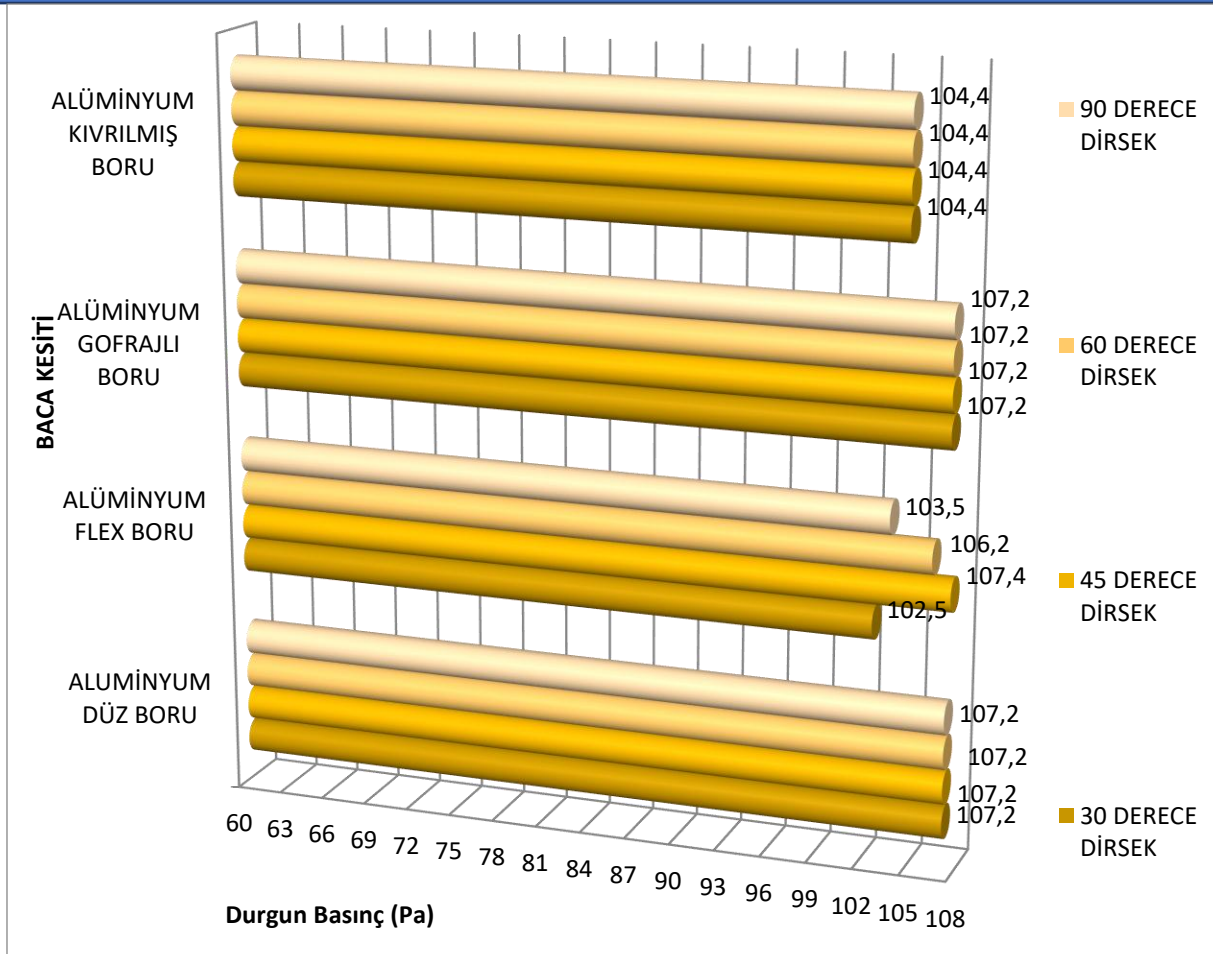
Şekil 5. (-15 °C) dış ortam koşullarında rüzgar hızının baca performansına etkisi

Şekil 5, düşük sıcaklık koşullarında rüzgar hızının baca sistemine etkisini göstermektedir. Tüm malzemelerde benzer eğilimler gözlenirken, flex borularda daha değişken sonuçlar elde edilmiştir.



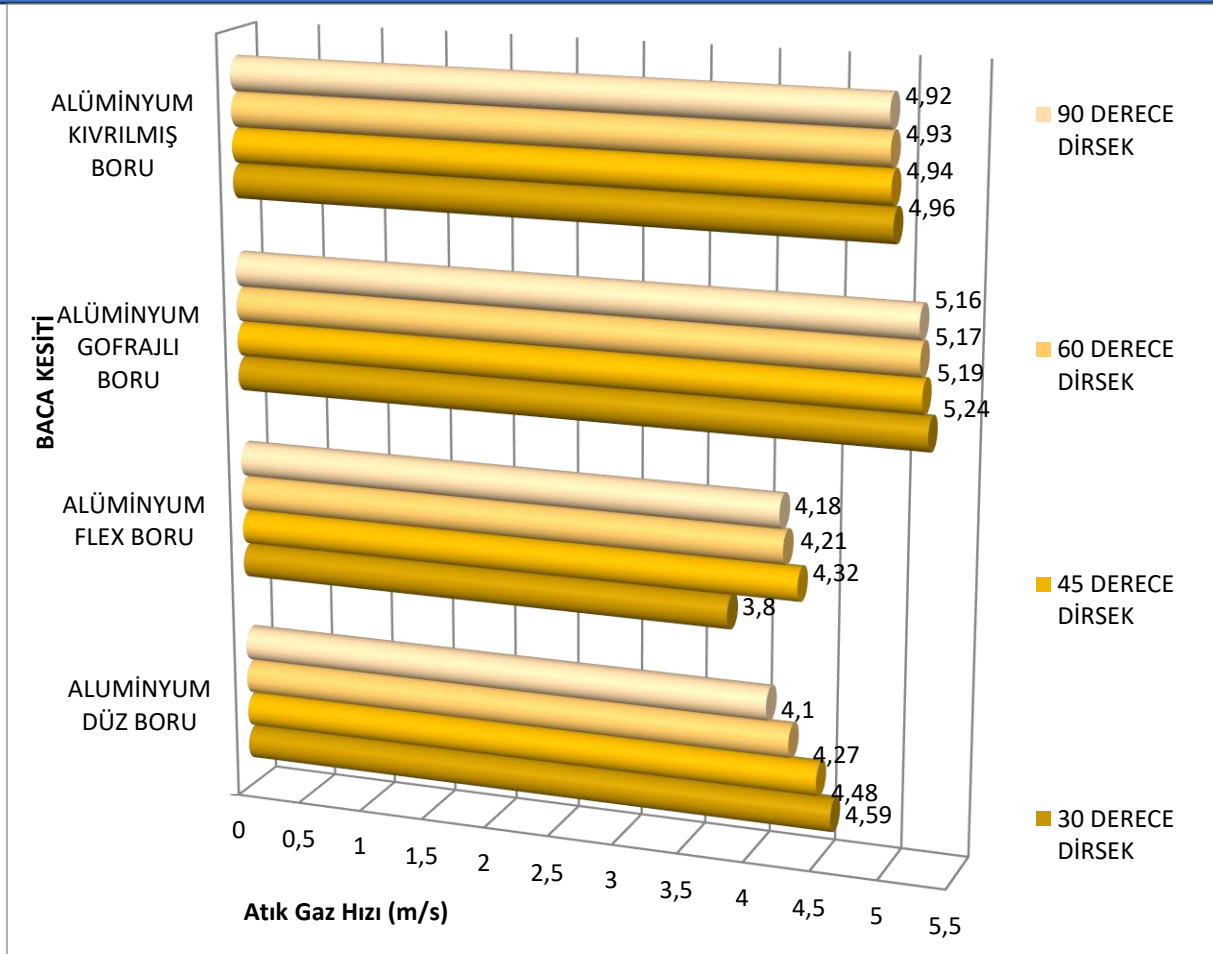
Şekil 6. (+15 °C) dış ortam koşullarında rüzgar hızının baca performansına etkisi

Şekil 6, ılıman dış ortam koşullarında rüzgar hızının değişimini göstermektedir. Açının artmasıyla birlikte rüzgar etkisinin sınırlı düzeyde azaldığı gözlemlenmiştir.



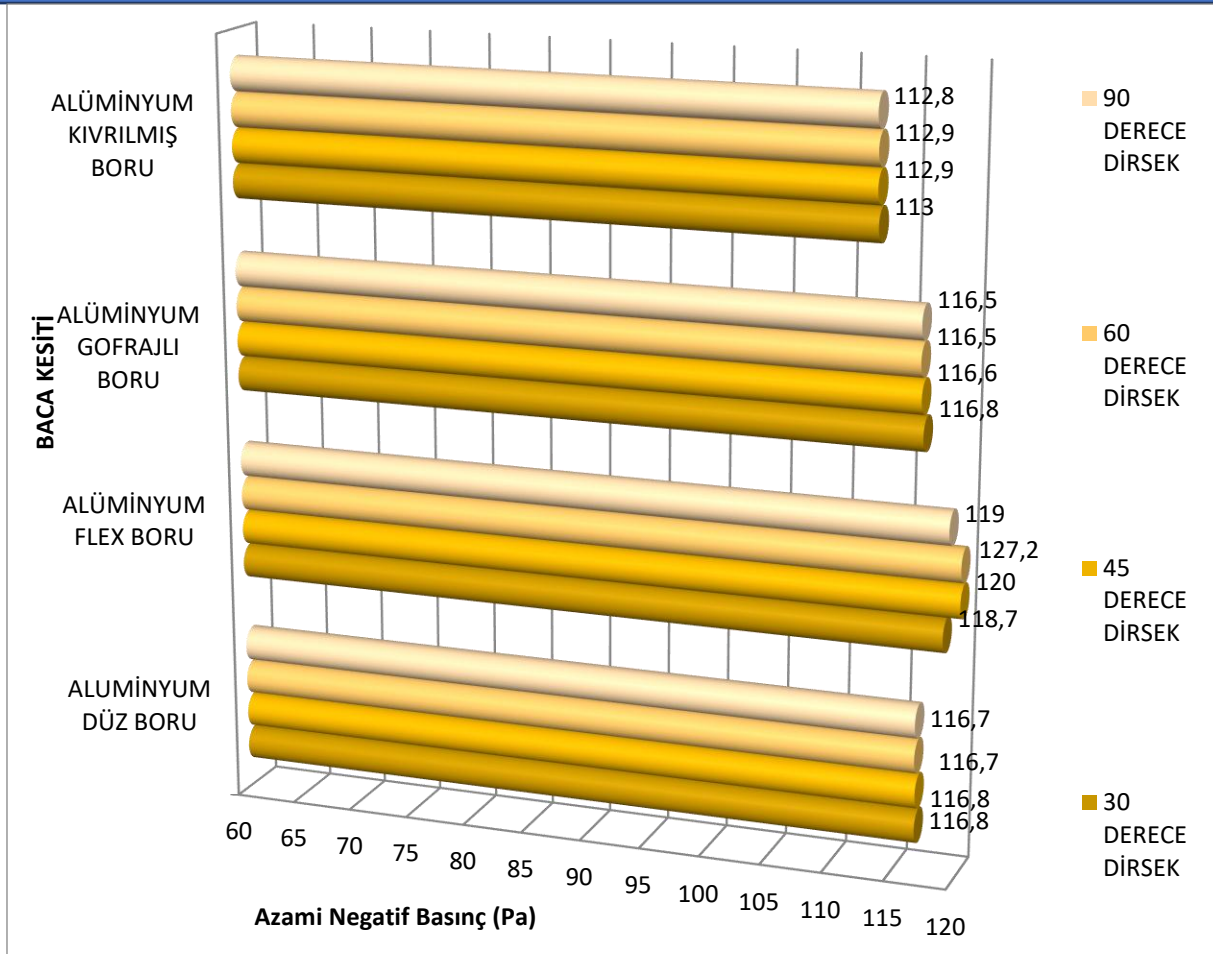
Şekil 7. Farklı baca açıları ve malzemeler için durgun basınç değerlerinin karşılaştırılması

Şekil 7’de, sistemde oluşan durgun basınç değerleri verilmiştir. Düz ve gofrajlı borularda basınç değerlerinin sabit kaldığı, flex borularda ise küçük değişimler olduğu görülmektedir.



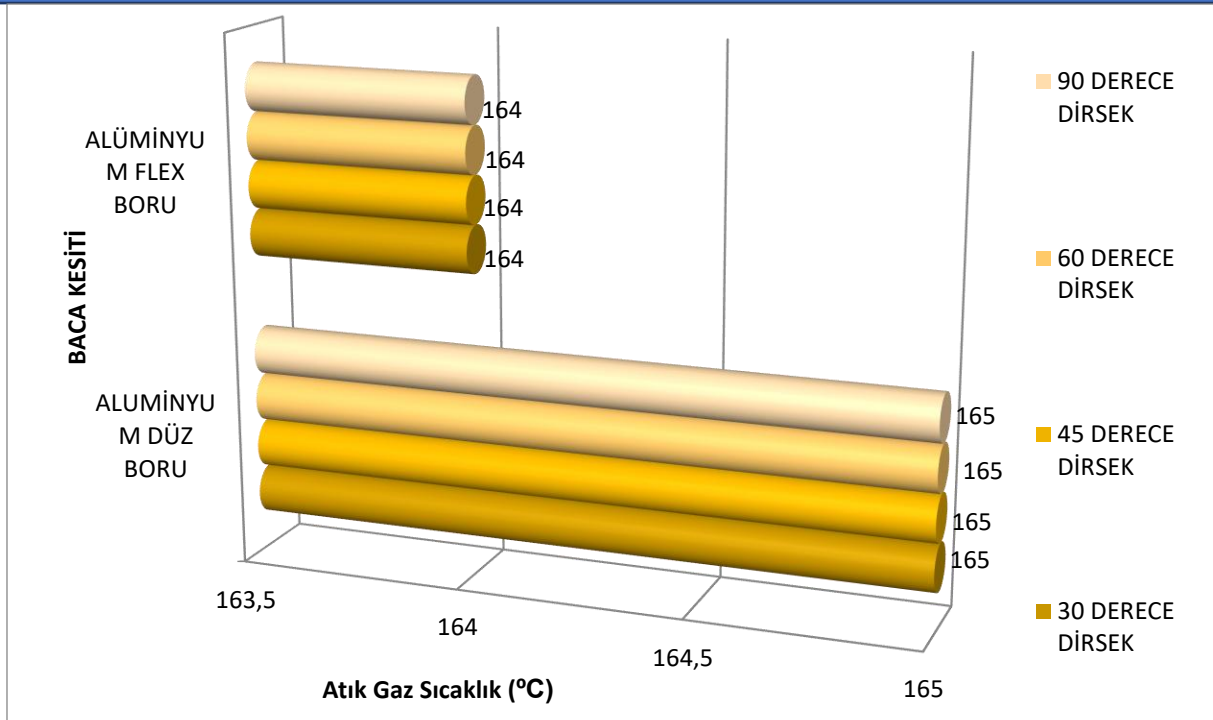
Şekil 8. Farklı baca açıları ve malzemeler için atık gaz hızının karşılaştırılması

Şekil 8, baca çıkışındaki atık gaz hızlarını göstermektedir. En yüksek hız değerleri gofrajlı borularda elde edilirken, açı arttıkça hızın azaldığı belirlenmiştir.



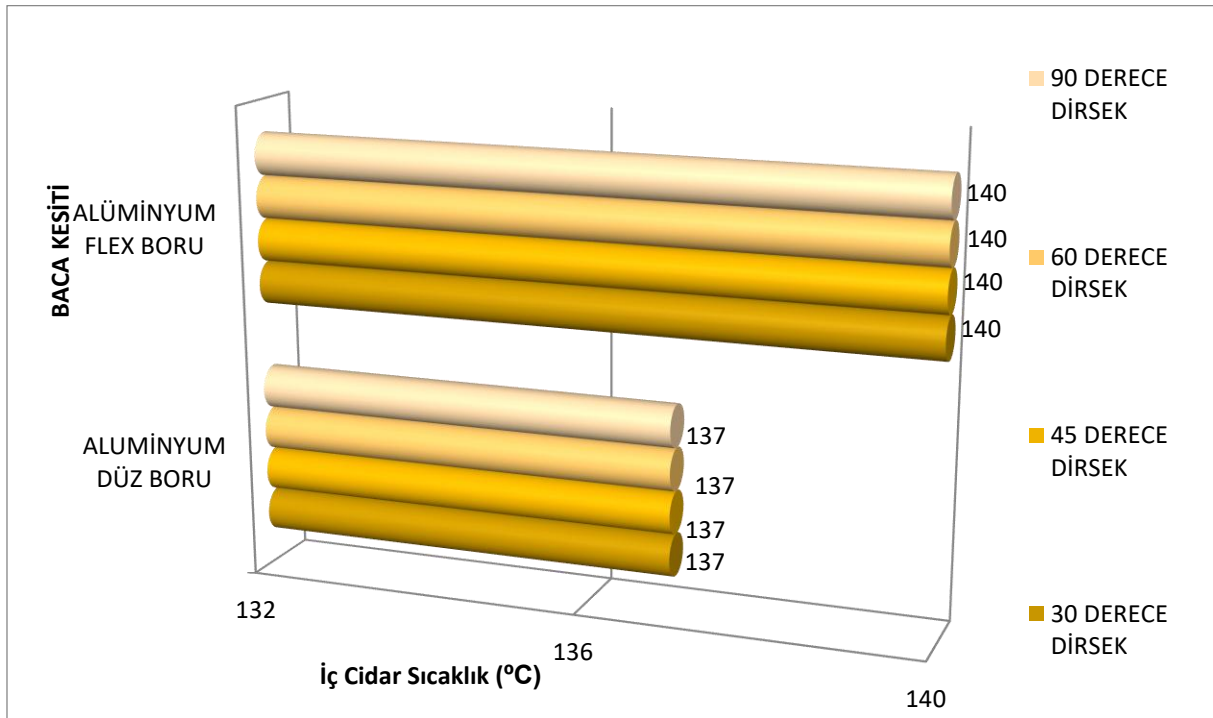
Şekil 9. Farklı baca açıları ve malzemeler için azami negatif basınç değerleri

Şekil 9’da, sistem çekişini doğrudan etkileyen negatif basınç değerleri sunulmaktadır. Flex borularda daha yüksek negatif basınç değerleri elde edilmiştir.



Şekil 10. Farklı baca açıları ve malzemeler için atık gaz sıcaklıklarının karşılaştırılması

Şekil 10, baca çıkışındaki gaz sıcaklıklarını göstermektedir. Malzemeler arasında belirgin farklar bulunmakla birlikte açı değişiminin sıcaklık üzerinde sınırlı etkisi olduğu görülmektedir.



Şekil 11. Farklı baca açıları ve malzemeler için iç cidar sıcaklıklarının değişimi

Şekil 11’de, baca iç yüzey sıcaklıkları karşılaştırılmıştır. Flex boruların daha yüksek cidar sıcaklığı koruduğu ve bunun ısı kayıplarını azaltabileceği değerlendirilmiştir.

Sayısal verilerin bütüncül olarak değerlendirilmesi, baca açısı ve malzeme türünün sistem performansı üzerinde birlikte belirleyici olduğunu açık biçimde ortaya koymaktadır. Akım hızı ve atık gaz hızı açısından incelendiğinde, özellikle 30° açı konfigürasyonunun tüm malzemelerde en yüksek hız değerlerini sağladığı görülmektedir (örneğin alüminyum gofrajlı boruda 5,24 m/s, kıvrılmış boruda 4,96 m/s). Açının artmasıyla birlikte bu değerlerin kademeli olarak azaldığı ve akış direncinin yükseldiği belirlenmiştir. Negatif basınç değerleri açısından flex borular yüksek değerler üretse de (120–127 Pa), bu durumun düzensiz akış ve dalgalı performans ile birlikte ortaya çıktığı görülmektedir. Buna karşılık, alüminyum gofrajlı borular hem yüksek atık gaz hızı hem de dengeli negatif basınç (~116–117 Pa) değerleri ile daha kararlı bir çekiş davranışı sergilemektedir. Akım sesi ve gaz yoğunluğu gibi parametreler de birlikte değerlendirildiğinde, gofrajlı boruların performans-kararlılık dengesi açısından öne çıktığı anlaşılmaktadır. Tüm bu bulgular doğrultusunda, en yüksek çekiş verimi, akış sürekliliği ve genel sistem performansını sağlayan optimum kombinasyonun 30° baca açısına sahip alüminyum gofrajlı boru sistemi olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

3. SONUÇ

Bu çalışmada, Eskişehir ili iklim koşulları altında çalışan 250.000 kcal/h kapasiteli sıvı yakıtlı bir ısıtma sistemine ait baca yapılarında, baca açısı (30°, 45°, 60° ve 90°) ve alüminyum esaslı malzeme türünün (düz, flex, gofrajlı ve kıvrılmış borular) sistem performansı üzerindeki etkileri sayısal olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular, hem geometrik konfigürasyonun hem de yüzey özelliklerinin baca performansında kritik rol oynadığını göstermektedir.

Analiz sonuçlarına göre, baca açısının artmasıyla birlikte tüm malzeme türlerinde akım hızı ve atık gaz hızının azaldığı belirlenmiştir. Özellikle 30° açı konfigürasyonunda en yüksek hız değerleri elde edilirken, 90° açığa ulaşıldığında akış direncinin artmasına bağlı olarak hız değerlerinde belirgin düşüşler gözlemlenmiştir. Bu durum, akış yönündeki ani değişimlerin türbülansı artırarak enerji kayıplarına neden olduğunu göstermektedir.

Malzeme türüne bağlı olarak yapılan değerlendirmelerde, alüminyum gofrajlı boruların en yüksek atık gaz hızlarına (~5,16–5,24 m/s) ulaştığı ve bu sayede daha güçlü bir çekiş performansı sağladığı belirlenmiştir. Buna karşılık, alüminyum flex boruların daha düşük akım hızlarına sahip olduğu, ancak daha yüksek negatif basınç değerleri üreterek sistemde farklı bir çekiş karakteristiği oluşturduğu görülmüştür. Düz ve kıvrılmış borular ise bu iki uç durum arasında daha dengeli bir performans sergilemiştir.

Atık gaz yoğunluğu değerleri incelendiğinde, flex ve kıvrılmış borularda yoğunluğun daha yüksek olduğu, bunun da daha düşük gaz sıcaklığı ve akış hızlarıyla ilişkili olduğu değerlendirilmiştir. Akım sesi açısından ise flex boruların en düşük ses seviyelerine sahip olduğu, gofrajlı ve düz borularda ise daha yüksek değerlerin olduğu tespit edilmiştir. Bu durum, yüzey pürüzlülüğünün ve akış rejiminin akustik performans üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

Basınç parametreleri incelendiğinde, düz ve gofrajlı borularda durgun basınç değerlerinin büyük ölçüde sabit kaldığı, flex borularda ise açığa bağlı olarak değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Azami negatif basınç değerleri açısından flex boruların daha yüksek değerlere ulaşması, sistemde daha güçlü ancak daha az kararlı bir çekiş mekanizmasına işaret etmektedir.

Sıcaklık dağılımları değerlendirildiğinde, atık gaz sıcaklıklarının malzeme türüne bağlı olarak değişmekle birlikte açığı değişiminden sınırlı düzeyde etkilendiği görülmüştür. İç cidar sıcaklıkları açısından flex boruların daha yüksek değerleri koruduğu ve bu durumun ısı kayıplarının azaltılması açısından avantaj sağlayabileceği değerlendirilmiştir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, düşük açılı baca sistemlerinin (özellikle 30°) daha yüksek akış sürekliliği ve enerji verimliliği sağladığı; malzeme açısından ise alüminyum gofrajlı boruların yüksek hız ve dengeli basınç karakteristiği ile öne çıktığı sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte, sistem tasarımında yalnızca maksimum hız veya basınç değerlerinin değil, akış kararlılığı, enerji kayıpları ve akustik performans gibi parametrelerin birlikte değerlendirilmesi gerektiği açıktır.

Sonuç olarak, yüksek kapasiteli endüstriyel baca sistemlerinde optimum performans için düşük açılı (özellikle 30°) konfigürasyonların tercih edilmesi ve uygulama amacına bağlı olarak gofrajlı veya alternatif alüminyum boru tiplerinin dikkatle seçilmesi önerilmektedir. Bu çalışma, benzer endüstriyel sistemler için baca tasarımında açığı ve malzeme optimizasyonuna yönelik önemli bir referans sunmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Turns, S. R. (2012). *An introduction to combustion: Concepts and applications* (3rd ed.). McGraw-Hill Education.
- [2] ASHRAE. (2021). *ASHRAE Handbook—HVAC Applications*. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.
- [3] Çengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2018). *Fluid mechanics: Fundamentals and applications* (4th ed.). McGraw-Hill Education.
- [4] Idelchik, I. E. (2007). *Handbook of hydraulic resistance* (3rd ed.). Begell House.
- [5] Miller, D. S. (1990). *Internal flow systems* (2nd ed.). BHRA.
- [6] Crane Co. (2018). *Flow of fluids through valves, fittings, and pipe (Technical Paper No. 410)*. Crane Co.
- [7] Davis, J. R. (Ed.). (1999). *Aluminum and aluminum alloys*. ASM International.

- [8] Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Bergman, T. L., & Lavine, A. S. (2017). *Fundamentals of heat and mass transfer* (7th ed.). Wiley.
- [9] White, F. M. (2016). *Fluid mechanics* (8th ed.). McGraw-Hill Education.
- [10] European Parliament and Council. (2010). Directive 2010/75/EU on industrial emissions (integrated pollution prevention and control). *Official Journal of the European Union*.
- [11] Karahan, A., & Balo, F. (2024). Emisyonlarının Azaltılması İçin Çevresel Baca Tasarımı; Bulanık İlçesi Üzerine Örnek Çalışma. *Bulanık MYO Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(Bulanık Sempozyumu Özel Sayısı), 42-51.
- [12] U Yılmaz, F Balo, LS Sua, Simulation framework for wind energy attributes with WAsP, *Procedia Computer Science* 158, 458-465
- [13] Figen Balo, Ahmet Karahan, Lutfu S. Sua, A simulation supported chimney design application for greener buildings, *Proceedings of Engineering Thrive 2022: Water, Air, Shelter, and Food Symposium*, June 23-24, 2022, University of Windsor, Ontario, CANADA
- [14] Ahmet Karahan, Figen Balo, BIDGE Publishing 2024 Book Series on, Çevre Bilimleri ve Mühendisliğinde Yeni Gelişmeler Işığında Güncel Konular, Chapter 5: Enerji verimliliği için kesaaladin simülasyonu ile baca tasarımı, ISBN: 978-625-372-191-6, Page: 112-133, Pages: 237, June 25, 2024
- [15] Ahmet Karahan, Figen Balo, BIDGE Publishing 2024 Book Series on, Çevre Bilimleri ve Mühendisliğinde Yeni Gelişmeler Işığında Güncel Konular, Chapter 6: Çevre dostu yapılar için simülasyonla baca sistemi analizi, ISBN: 978-625-372-191-6, Page: 134-152, Pages: 237, June 25, 2024
- [16] Karahan, A., & Balo, F. (2024). Bulanık İlçesinde Isıtma Kazanlarındaki Enerji Tüketimini Azaltmak İçin Simülasyon Destekli Baca Tasarımı. *Bulanık MYO Sosyal Bilimler Dergisi*, 2(Bulanık Sempozyumu Özel Sayısı), 52-63.

THE PSYCHOLOGY OF ONLINE ADDICTION

S. DHARANI

Second year B.Sc. Computer Science (Artificial Intelligence) Department of Computer Science
(Artificial Intelligence)

Nadar Mahajana SANGAM

S. Vellaichamy Nadar College Nagamalai Madurai-19 Tamilnadu India

Dr. S. SELVAM

Head and Assistant Professor Department of Computer Science (Artificial Intelligence)

ABSTRACT

Online addiction, also called internet or digital addiction, has become a growing concern in today's technology-driven society. It involves the excessive and compulsive use of online platforms such as social media, gaming, and browsing, which can interfere with daily life, work, and relationships. Psychologically, online addiction is linked to reward-seeking behavior, instant gratification, and habit formation, often exacerbated by factors like loneliness, stress, and low self-esteem. This paper examines the causes, symptoms, and psychological mechanisms underlying online addiction, as well as its impact on mental health, social functioning, and productivity. It also explores strategies for prevention and intervention, emphasizing the importance of digital literacy, self-regulation, and balanced technology use to promote healthier online behavior.

Keywords: Online Addiction, Internet Addiction, Digital Addiction, Social Media Addiction, Compulsive Internet Use, Psychological Effects, Behavioural Addiction, Reward-Seeking Behaviour, Mental Health, Digital Habits, Screen Time, Self-Esteem, Stress and Anxiety, Gaming Addiction, Technology Dependence.

[1] INTRODUCTION

Online addiction, also known as internet or digital addiction, refers to the compulsive and excessive use of the internet, social media, gaming, or other online platforms that interferes with daily life. With the rise of smartphones, high-speed internet, and digital applications, online activities have become an integral part of modern living. While these technologies offer convenience, entertainment, and social connectivity, they also pose psychological risks when used excessively.

From a psychological perspective, online addiction is linked to reward-seeking behavior, instant gratification, and habit formation. Users often experience a strong urge to remain connected, check notifications, or engage in online activities, which can lead to neglect of responsibilities, disrupted sleep, and decreased real-life social interactions. Factors such as

loneliness, stress, social anxiety, and low self-esteem can increase susceptibility to online addiction.

[2] TYPES OF ONLINE ADDICTION

A. Social Media Addiction – Excessive use of platforms like Facebook, Instagram, or TikTok, often involving compulsive checking of notifications, posting, or comparing oneself to others.

B. Gaming Addiction – Compulsive playing of online video games, including multiplayer games and mobile apps, which can interfere with daily responsibilities and social life.

C. Internet Browsing Addiction – Excessive time spent browsing websites, watching videos, or reading online content without control, often leading to procrastination and distraction.

D. Online Shopping Addiction – Compulsive purchasing of goods through e-commerce platforms, often driven by instant gratification or emotional needs.

E. Online Gambling Addiction – Excessive engagement in gambling websites or apps, which can lead to financial problems and emotional distress.

F. Streaming and Entertainment Addiction – Spending excessive hours watching videos, movies, or live streams online, which can disrupt sleep and daily routines.

[3] PSYCHOLOGICAL CAUSES OF ONLINE ADDICTION

Cause	Effect
Reward-Seeking	Reinforces repeated online use
Instant Gratification	Encourages continuous engagement
Loneliness & Anxiety	Reliance on virtual connections
Low Self-Esteem	Dependence on validation online
Stress & Escapism	Compulsive use to avoid real-life issues
Habit Formation	Strong urge to check digital platforms

[4] BEHAVIORAL AND COGNITIVE MECHANISMS

A. Habit Formation – Frequent online activity creates automatic routines, making users check notifications or browse without conscious thought.

B. Compulsive Checking – Users develop a repeated urge to check messages, social media updates, or game progress, driven by uncertainty and anticipation.

C. Escapism – Online activities provide an escape from stress, boredom, or emotional difficulties, reinforcing repeated use.

D. Instant Reward Processing – Platforms provide immediate gratification through likes, comments, achievements, or new content, which stimulates the brain’s reward system.

E. Cognitive Biases – Users may overestimate online benefits or underestimate negative consequences, sustaining excessive engagement.

F. Fear of Missing Out (FOMO) – Anxiety about missing updates, trends, or interactions encourages constant monitoring of online platforms.

[5] SYMPTOMS AND SIGNS OF ONLINE ADDICTION

Symptom	Description
Excessive Use	Spending too much time online
Neglect Responsibilities	Ignoring work or studies
Sleep Problems	Difficulty sleeping or poor sleep
Mood Changes	Irritability or restlessness
Social Isolation	Reduced real-life interactions
Compulsive Checking	Constantly checking notifications

[6] IMPACT ON MENTAL HEALTH

Online addiction can have a profound effect on mental health, affecting both emotional and psychological well-being. Excessive use of social media, gaming, or other online activities can increase anxiety due to constant notifications, social comparison, and fear of missing out (FOMO). It may also contribute to depression, feelings of loneliness, and reduced self-esteem as individuals compare themselves to idealized online images. Overuse of digital platforms can lead to stress, irritability, and emotional instability, while dependence on online validation can create emotional reliance. Additionally, late-night screen use disrupts sleep patterns, further affecting mood and overall mental health. Understanding these impacts is essential for promoting balanced and responsible online behavior.

[7] CONCLUSION

Online addiction has become a growing concern in today’s digital era, affecting individuals’ emotional, psychological, and social well-being. It is driven by factors such as reward-seeking behavior, instant gratification, stress, loneliness, and low self-esteem, which reinforce compulsive online use. The behavioral and cognitive mechanisms, including habit formation, escapism, and fear of missing out (FOMO), make it difficult for users to regulate their digital habits.

The consequences of online addiction can be serious, including anxiety, depression, sleep disturbances, reduced productivity, and social isolation. However, awareness, self-regulation, digital literacy, and professional intervention can help manage and prevent these negative effects. By understanding the psychological causes and effects, individuals, families, and society can promote healthier online habits, balancing the benefits of technology with mental and emotional well-being.

[8] REFERENCE

1. Weinstein A, Lejoyeux M. Internet addiction or excessive Internet use. *The American Journal of Drug and Alcohol Abuse*. 2010 Aug;36(5):277–83. doi: 10.3109/00952990.2010.491880.
2. Beard KW. Internet addiction: a review of current assessment techniques and potential assessment questions. *CyberPsychology & Behavior*. 2005 Feb;8(1):7–14. doi: 10.1089/cpb.2005.8.7.
3. Chou C, Condon L, Belland JC. A review of the research on Internet addiction. *Educational Psychology Review*. 2005 Dec;17(4):363–88.
4. Douglas AC, Mills JE, Niang M, Stepchenkova S, Byun S, Ruffini C, et al. Internet addiction: meta-synthesis of qualitative research for the decade 1996-2006. *Computers in Human Behavior*. 2008 Sep;24(6):3027–44.
5. Wolfling K, Buhler M, Lemenager T, Morsen C, Mann K. Gambling and internet addiction. Review and research agenda. *Der Nervenarzt*. 2009 Sep;80(9):1030–9. doi: 10.1007/s00115-009-2741-1.
6. Petersen KU, Weymann N, Schelb Y, Thiel R, Thomasius R. Pathological Internet use - epidemiology, diagnostics, co-occurring disorders and treatment. *Fortschritte Der Neurologie Psychiatrie*. [Review] 2009 May;77(5):263–71. doi: 10.1055/s-0028-1109361.
7. Peukert P, Sieslack S, Barth G, Batra A. Internet- and computer game addiction: Phenomenology, comorbidity, etiology, diagnostics and therapeutic implications for the addicts and their relatives. *Psychiatrische Praxis*. 2010 Jul;37(5):219–24. doi: 10.1055/s-0030-1248442.
8. Widianto L, Griffiths MD. 'Internet addiction': a critical review. *International Journal of Mental Health and Addiction*. 2006 Jan;4(1):31–51.
9. American Psychiatric Association. *Diagnostic and statistical manual of mental disorders*. (4th ed., text rev.) Washington, DC: 2000. Author.
10. Young KS. Internet addiction: The emergence of a new clinical disorder. 104th annual meeting of the American Psychological Association; August 11 1996; Toronto, Canada.

AI-POWERED FAKE NEWS DETECTION USING DEEP LEARNING

B. KOPIKA

First year B.Sc (Artificial Intelligence) Department of Computer Science (Artificial Intelligence) Nadar Mahajana Sangam S. Vellaichamy Nadar College Nagamalai, Madurai-19.

Dr. S. SELVAM

Head and Assistant Professor, Department of Computer Science (Artificial Intelligence) Nadar Mahajana Sangam S. Vellaichamy Nadar College Nagamalai, Madurai-19.

ABSTRACT

The rapid growth of social media platforms has significantly increased the spread of misinformation and fake news. Fake news can influence public opinion, create social unrest, and mislead people on critical issues such as politics, health, and economics. Artificial Intelligence (AI), particularly Deep Learning, has emerged as an effective solution to detect and prevent the spread of fake news automatically. Deep learning models such as Convolutional Neural Networks (CNN), Recurrent Neural Networks (RNN), and Transformer-based models analyze textual patterns, semantic relationships, and contextual information within news content. This paper explores the role of deep learning techniques in identifying fake news, compares traditional machine learning methods with deep learning approaches, and highlights the advantages of AI-based detection systems. The study also discusses practical applications, challenges, and future research directions in fake news detection systems.

Keywords: Fake News Detection, Deep Learning, Artificial Intelligence, Natural Language Processing, Social Media Analysis, Neural Networks, Misinformation Detection, Machine Learning, Text Classification, Data Mining.

1. Introduction

The internet and social media have become major sources of news and information. However, these platforms also enable the rapid spread of fake news, rumors, and misleading information. Fake news can manipulate public opinion, influence elections, and create confusion among people.

Traditional methods of detecting fake news rely on manual verification by fact-checkers. While effective, manual verification is time-consuming and cannot keep up with the massive amount of information generated daily. Therefore, automated systems powered by Artificial Intelligence have become necessary.

Deep learning techniques are widely used for fake news detection because they can automatically learn complex patterns from large datasets. Models such as CNN, LSTM, and

Transformer networks analyze the linguistic structure, sentiment, and contextual meaning of news articles to determine whether the information is real or fake. AI-powered systems help improve the speed, accuracy, and scalability of fake news detection.

2. Deep Learning Approaches for Fake News Detection

2.1. Fake News and Its Impact

Fake news refers to false or misleading information presented as legitimate news. It spreads quickly through social media platforms and can cause social, political, and economic consequences.

Artificial Intelligence automates the process of identifying fake news by analyzing patterns in large datasets. AI systems can process thousands of news articles in seconds and identify suspicious content.

2.3. Deep Learning Techniques for Fake News Detection

Several deep learning models are used for detecting fake news:

- **Convolutional Neural Networks (CNN)** – analyze text features and patterns
- **Recurrent Neural Networks (RNN)** – understand sequential information in text
- **Long Short-Term Memory (LSTM)** – capture long-term dependencies in sentences
- **Transformer Models (BERT)** – understand contextual meaning of words

2.4. Natural Language Processing (NLP)

NLP techniques help computers understand human language. Methods such as tokenization, word embeddings, and sentiment analysis are used to analyze news articles.

2.5. Social Media Data Analysis

Fake news often spreads through platforms like Twitter and Facebook. AI models analyze user behavior, post patterns, and sharing networks to detect misinformation.

2.6. Challenges in Fake News Detection

- Data imbalance
- Language diversity
- Adversarial manipulation
- Lack of labeled datasets

3.Comparison Table

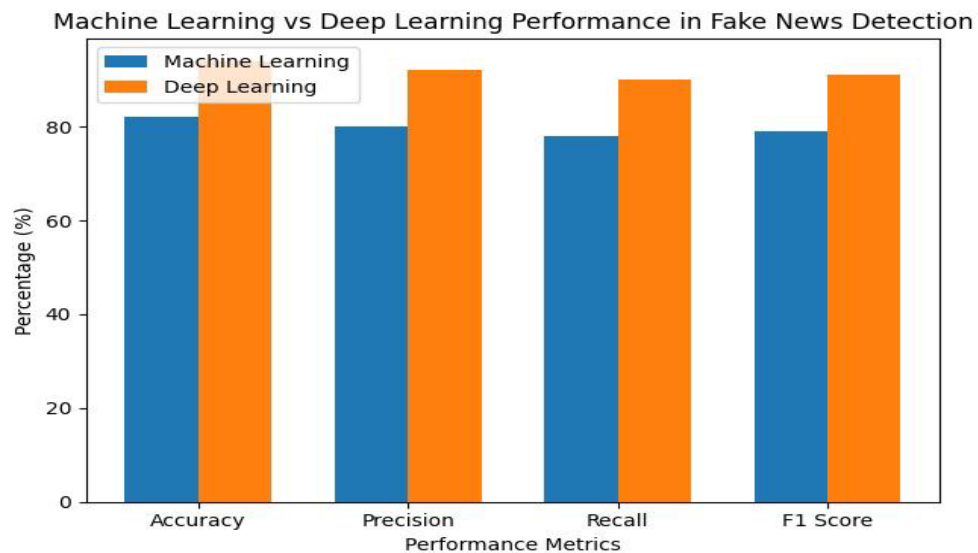
Feature	Traditional Machine Learning	Deep Learning
Feature Extraction	Manual	Automatic
Accuracy	Moderate	High
Data Processing	Limited	Large datasets
Context Understanding	Low	High
Scalability	Moderate	High

4.Graph (Described Textually)

Title: Performance Comparison of Fake News Detection Methods

Metric	Machine Learning	Deep Learning
Accuracy	82%	94%
Precision	80%	92%
Recall	78%	90%
F1 Score	79%	91%

Graph Description



- **X-axis:** Performance Metrics (Accuracy, Precision, Recall, F1 Score)
- **Y-axis:** Percentage (%)
- Two bars for each metric
- Deep Learning bars are higher than Machine Learning bars, showing better performance.

5. Diagram

AI-Based Fake News Detection System

News Articles / Social Media Posts



Data Collection



Data Preprocessing

(Tokenization, Cleaning)



Feature Extraction (NLP)



Deep Learning Model

(CNN / LSTM / BERT)



Classification

Real News / Fake News



Final Output

6. Applications

- Social media monitoring
- News verification platforms
- Election misinformation detection
- Public awareness systems
- Digital journalism verification

7. Conclusion

Fake news has become a major challenge in the digital information era. Artificial Intelligence and deep learning provide powerful tools for automatically detecting misleading information in online news and social media platforms. Deep learning models can analyze large volumes of data, understand complex linguistic patterns, and provide accurate classification results. Compared to traditional machine learning methods, deep learning offers higher accuracy, scalability, and better contextual understanding. Future research should focus on improving multilingual detection systems, developing explainable AI models, and addressing ethical concerns related to automated news verification.

8. References

1. IEEE research papers on fake news detection using AI.
2. ACM Digital Library publications on misinformation detection.
3. Association for Computational Linguistics papers on Natural Language Processing.
4. arXiv preprints on deep learning models for fake news detection.
5. Elsevier journal articles on AI-based misinformation analysis.
6. Springer research books on machine learning applications.
7. Nature studies on misinformation spread on social media.
8. MIT AI research reports.
9. Stanford University research work on NLP and deep learning.
10. Google Research studies on transformer models and NLP.

THE STUDY OF EXPERT SYSTEMS AND AI MODELS

C. Chinna THAMBI

Second year B.Sc Computer Science (Artificial Intelligence), Department of Computer Science
(Artificial Intelligence) Nadar Mahajana Sangam S. Vellaichamy Nadar College

M. KISHORE

Second year B.Sc Computer Science (Artificial Intelligence), Department of Computer Science
(Artificial Intelligence), Nadar Mahajana Sangam S. Vellaichamy Nadar College

Dr. S. SELVAM

Head and Assistant Professor, Department of Computer Science (Artificial Intelligence)
Nadar Mahajana Sangam S. Vellaichamy Nadar College

ABSTRACT

Expert Systems and AI Models are two important approaches in artificial intelligence used to solve complex problems. Expert Systems rely on predefined rules and knowledge provided by human experts to make decisions. They work well in structured and predictable environments but lack adaptability. In contrast, AI Models learn from data and improve their performance over time using machine learning techniques. They can handle large datasets and identify patterns that are difficult for humans to define manually. This abstract compares Expert Systems and AI Models by highlighting their working principles, advantages, limitations, and suitability for modern applications.

Keywords: Expert Systems, AI Models, Rule-based systems, Knowledge base, Human expertise, Decision-making, Predefined rules, Domain-specific applications, Transparency, Machine Learning, Deep Learning, Data-driven models, Adaptability, Learning capability, Complex datasets, Modern AI applications, Intelligent systems, Problem-solving.

[1] INTRODUCTION:

Expert Systems and AI Models are two major approaches in the field of artificial intelligence designed to solve complex problems. Expert Systems use predefined rules and knowledge gathered from human experts to make decisions in specific domains. They are reliable and transparent but limited in learning capability. AI Models, on the other hand, learn from data and improve their performance through machine learning and deep learning techniques. They are flexible, adaptive, and capable of handling large and complex datasets. This introduction highlights the fundamental differences between Expert Systems and AI Models and their role in modern applications

[2] EXPERT SYSTEM:

An Expert System is a type of artificial intelligence program that simulates the decision-making ability of a human expert in a specific field. It works by using a knowledge base, which contains facts, rules, and expert knowledge, and an inference engine, which applies

logical reasoning to solve problems. Expert Systems are designed to provide advice, diagnosis, or solutions based on user input. Unlike modern AI models, Expert Systems do not learn from data or improve automatically. They are widely used in medical diagnosis, technical troubleshooting, financial decision-making, and customer support systems. Expert Systems offer consistency, accuracy, and reliability, especially in well-defined problem area-making.

[3] ARCHITECTURE OF EXPERT SYSTEM:

An expert system (ES) is a computer program designed to mimic the decision-making ability of a human expert. Its architecture is typically divided into five main components:

1. Knowledge Base

- Stores **domain-specific knowledge** and facts.
- Contains **rules, heuristics, and relationships** about the problem area.
- Example: In a medical expert system, it stores symptoms, diseases, and treatment rules.

2. Inference Engine

- The **brain of the expert system**.
- Applies logical reasoning to the knowledge base to **solve problems or make decisions**.
- Uses methods like:
 - **Forward chaining** (data-driven) o
 - **Backward chaining** (goal-driven)

3. User Interface

- Allows **interaction between the user and the expert system**.
- Users input problems/questions and receive solutions or advice.
- Should be **friendly and easy to use**, often includes text or graphical interfaces.

4. Explanation Subsystem

- Explains **how the system arrived at a particular decision or solution**.
- Helps users **trust the system** by providing reasoning steps.
- Example: "I diagnosed flu because you have fever and sore throat."

5. Knowledge Acquisition Subsystem

- Helps **update and expand the knowledge base**.
- Allows **experts to add new rules** without programming knowledge.
- Can include machine learning components in advanced systems.

[4] ADVANTAGES OF EXPERT SYSTEM:

1. **Knowledge preservation** – They capture and retain expert knowledge, which prevents loss when experts retire or leave an organization.
2. **Training tool** – They can be used to train new employees by simulating expert reasoning and decision-making processes.
3. **Error reduction** – By following established rules and logic, expert systems reduce human errors in decision-making.
4. **Scalability – Accessibility** – They are available 24/7 and can provide expertise in remote or underserved areas without requiring the physical presence of a human expert.
5. **Quickness** – Expert systems can analyze complex problems and provide solutions much faster than human experts.
6. **Cost-effective** – Once developed, they reduce the need for multiple human experts, The same system can be deployed across multiple locations, serving many users simultaneously.
7. **Handling complex problems** – They can solve problems that are too complex for non-experts by applying sophisticated reasoning.
8. **Objective decision-making** – They make decisions based on facts and rules rather than personal biases or subjective.

[5] AI MODELS:

AI models are computer programs that learn from data to perform tasks requiring human intelligence, such as decision-making, prediction, and problem-solving. They include machine learning models, deep learning models, and reinforcement learning models. AI models are used in healthcare, finance, transportation, retail, and natural language processing. They provide benefits like speed, accuracy, and automation but may face challenges such as data dependency and bias. Overall, AI models help create intelligent systems that improve efficiency and support better decisions.

[6] ARCHITECTURE OF AI MODELS:

The architecture of an AI model describes the structure and components that allow it to learn from data, make predictions, and perform intelligent tasks. While the exact architecture depends on the type of AI (machine learning, deep learning, or hybrid), a general AI model architecture typically includes the following layers:

1. Data Layer

- Collects raw data from various sources such as text, images, audio, or sensors.
- Includes **data preprocessing** like cleaning, normalization, and formatting.

2. Feature Layer

- Extracts and selects **important features** from raw data that the model can learn from.
- Converts complex data into a structured form suitable for training.

3. Model Layer

- The **core learning component** where the AI algorithm resides.
- Can include:
 - **Machine Learning algorithms:** Decision trees, SVM, Random Forest.
 - **Deep Learning algorithms:** Neural networks, CNNs, RNNs, Transformers.

Learns patterns from data and builds predictive or decision-making capability.

4. Training Layer

- The model is trained on data using techniques like:
 - Forward propagation (making predictions) o Loss calculation (measuring errors) o Backpropagation (adjusting weights)
- Optimizes the model to **minimize errors and improve accuracy**.

5. Inference / Prediction Layer

- Uses the trained model to make predictions or decisions on **new, unseen data**.
- Example: Predicting stock prices, classifying images, or recommending products.

6. Evaluation & Feedback Layer

- Measures model performance using metrics like accuracy, precision, recall, or F1-score.
- Provides feedback to **retrain or fine-tune** the model for better results.

7. Output Layer

- Presents the results to users or other systems.
- Can be predictions, classifications, recommendations, or automated actions.

[7] ADVANTAGES OF AI MODELS:

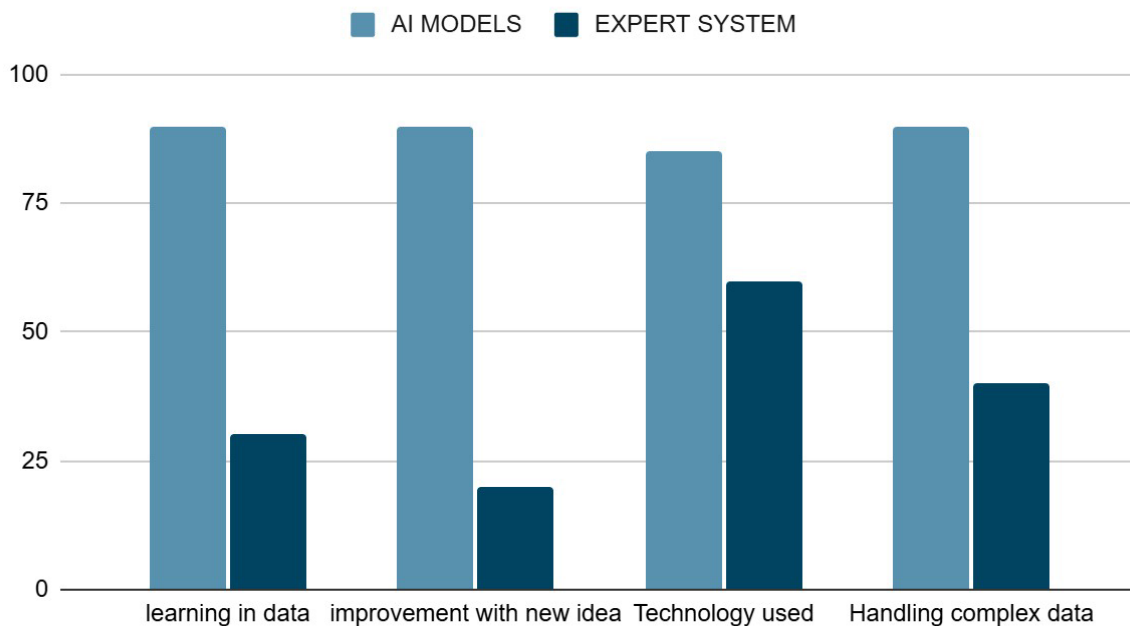
- 1. Automation of tasks** – AI models can perform repetitive and mundane tasks without human intervention.
- 2. Speed and efficiency** – They process large amounts of data much faster than humans.
- 3. Accuracy** – AI models can reduce errors and improve precision in tasks like calculations, predictions, and data analysis.
- 4. 24/7 availability** – AI systems can work continuously without breaks or fatigue.
- 5. Handling big data** – AI can analyze massive datasets that humans cannot process manually.
- 6. Predictive capabilities** – AI models can forecast trends, behaviors, or outcomes based on historical data.
- 7. Cost savings** – By automating processes, AI reduces labor costs and operational expenses.
- 8. Personalization** – AI can provide customized recommendations or solutions based on individual preferences.
- 9. Decision support** – AI helps humans make informed decisions by providing insights and analysis.
- 10. Scalability** – AI models can be applied to multiple tasks or large-scale systems without significant additional resource.

[8] COMPARISION TABLE:

AI MODELS	EXPERT SYSTEM
Ai models learn from data using algorithm	Expert systems use rules given by human experts.
They can improve automatically with new data.	They do not learn automatically.
AI models use machine learning and neural networks.	Expert systems use IF–THEN rules
They handle large and complex data.	They work with specific knowledge-based problems.
Used in image recognition, speech recognition, and prediction.	Used in medical diagnosis and decision support.
Example: Machine learning models.	Example: MYCIN expert system.

[9] BARCHART :

Points scored



[10] CONCLUSION:

AI models and expert systems are both important technologies in artificial intelligence. AI models learn from large amounts of data and can improve automatically over time. In contrast, expert systems rely on predefined rules and knowledge provided by human experts. AI models are better for handling complex data and modern applications, while expert systems are useful for solving specific problems that require expert knowledge. Therefore, both systems play different but valuable roles in intelligent decision-making systems.

[11] REFERENCE:

1. Elaine Rich, Kevin Knight, —Artificial Intelligence, 3/e, Tata McGraw Hill, 2017.
2. Russell, —Artificial intelligence: A modern Approach, Pearson Education ,3rd edition,2013
3. Gupta, G. Nagpal, "Artificial Intelligence and Expert Systems", Mercury Learning & Information, 2020.
4. C.S. Krishnamoorthy, S. Rajeev, "Artificial Intelligence and Expert Systems for Engineers", CRC Press, 2018.
5. V. Daniel Hunt, "Artificial Intelligence & Expert Systems Sourcebook, Springer US, 2012.
6. Artificial Intelligence and Expert system by V.Daniel hunt, Springer press, 2011.
7. Nilsson N.J., —Principles of Artificial Intelligence, Morgan Kaufmann.1998.

AI IN TRANSPORTATION AND TRAFFIC MANAGEMENT

R. KAMALAM

Second year B.SC.CS(AI), Department of Computer Science
(Artificial Intelligence) Nadar Mahajana Sangam S. Vellaichamy Nadar College
Nagamalai Madurai-19 Tamilnadu India

M. DEVIBALA

Second year B.SC. CS(AI), Department of Computer Science
(Artificial Intelligence) Nadar Mahajana Sangam S. Vellaichamy Nadar College
Nagamalai Madurai-19 Tamilnadu India

Dr. S. SELVAM

Head and Assistant Professor, Department of Computer Science (Artificial
Intelligence), Nadar Mahajana Sangam S. Vellaichamy Nadar College
Nagamalai Madurai-19 Tamilnadu India

ABSTRACT

Artificial Intelligence (AI) is playing an important role in improving transportation systems and traffic management in modern cities. AI technologies help analyze large amounts of traffic data collected from cameras, sensors, and GPS devices to understand traffic patterns and predict congestion. By using machine learning algorithms, transportation authorities can make better decisions to control traffic flow and reduce delays. AI-based traffic management systems can automatically adjust traffic signals based on real-time traffic situations, which helps reduce waiting time at junctures and improves road efficiency. AI is also used in navigation systems to suggest faster routes, helping drivers avoid traffic congestion. In addition, AI supports the development of self-sufficient vehicles that can communicate with traffic systems to improve safety and coordination on roads. Furthermore, AI can promote sensing accidents, monitoring road conditions, and providing quick responses during emergencies. By improving traffic control and reducing fuel consumption, AI contributes to safer, smarter, and more sustainable transportation systems. As cities continue to grow, the use of AI in transportation will become progressively important for managing traffic and cultivating mobility for everyone.

Keyword: Smart Transportation Systems, Intelligent Traffic Management, Machine Learning Algorithms, Traffic Flow Optimization, Real-Time Traffic Monitoring, Autonomous Vehicles, Smart Traffic Signals, Predictive Traffic Analysis, Road Safety Enhancement, Traffic Congestion Reduction, Sustainable Urban Mobility, Intelligent Transportation Systems.

[1] INTRODUCTION

Transportation is an essential part of modern society, enabling the movement of people and goods from one place to another. However, the express growth of urban populations and the increasing number of vehicles have created major contests such as traffic congestion, road

accidents, pollution, and inefficient traffic control. To address these problems, forward-looking technologies like Mock Intelligence (AI) are being introduced into transportation systems. AI allows computers and machines to analyze large amounts of data, recognize patterns, and make intelligent decisions. In transportation and traffic controlling, AI helps monitor traffic conditions, predict congestion, and increase the overall efficiency of road networks. By using technologies such as machine learning, sensors, cameras, and data analytics, AI can optimize traffic signals, assist navigation systems, and support the development of autonomous vehicles. These intelligent systems help reduce travel time, improve road safety, and enhance the overall transportation experience. As cities continue to expand and transportation demands increase, the integration of AI into traffic management systems is becoming gradually important for creating smarter, safer, and more ecological mobility solutions.

[2] ARCHITECTURE

The architecture of AI in conveyance and traffic management is designed to collect, process, and analyze large amounts of traffic-related data in order to make intelligent decisions that improve road efficiency and safety. This system usually consists of several connected apparatuses such as data collection devices, announcement networks, data treating units, and AI-based decision systems. Traffic data is first collected from different sources like road sensors, traffic cameras, GPS devices, and mobile applications. This information is then transmitted through communication networks to centralized or cloud-based platforms where AI set of rules analyze the data. The AI models study traffic patterns, detect bottleneck, and predict possible traffic problems. Based on this analysis, the system provides recommendations or habitually controls traffic signals, navigation systems, and other transportation services. This architecture allows transportation systems to respond quickly to real-time conditions and helps create niftier and more proficient traffic management.

Data Collection Layer – Collects data using sensors, cameras, GPS devices, and vehicle pursuing systems.

Communication Layer – Transfers collected information through networks such as the internet, wireless networks, or IoT systems.

Data Processing Layer – Processes and stores large tomes of transportation data using cloud computing or data centers.

AI and Analytics Layer – Uses machine learning and AI algorithms to analyze traffic patterns and calculate congestion.

Application Layer – Provides services such as smart traffic signals, triangulation assistance, accident detection, and traffic watching.

[3] ADVANTAGES

Artificial Intelligence (AI) offers many benefits in transportation and traffic managing by improving the efficiency, safety, and reliability of road systems. With the help of AI technologies, transportation authorities can analyze real-time traffic data and make better decisions to manage traffic flow. AI systems can quickly detect traffic congestion, accidents, and road conditions, agreeing faster responses plus better traffic control. By automating many processes such as traffic signal management and route planning, AI helps reduce travel time and fuel consumption. In addition, AI supports the development of smart transportation systems that make municipal mobility more organized and convenient. As a result, AI plays a significant role in reducing traffic problems and creating safer and more ecological transportation networks.

Reduced Traffic Congestion – AI helps manage traffic flow efficiently by bending signals and predicting busy routes.

Improved Road Safety – AI systems can detect accidents, monitor driver behavior, and reduce the risk of impacts.

Better Traffic Monitoring – Cameras and sensors connected with AI provide continuous monitoring of road conditions.

Faster Emergency Response – AI can quickly identify accidents and acquaint emergency services.

Efficient Route Planning – Navigation systems use AI to advocate faster and less crowded routes.

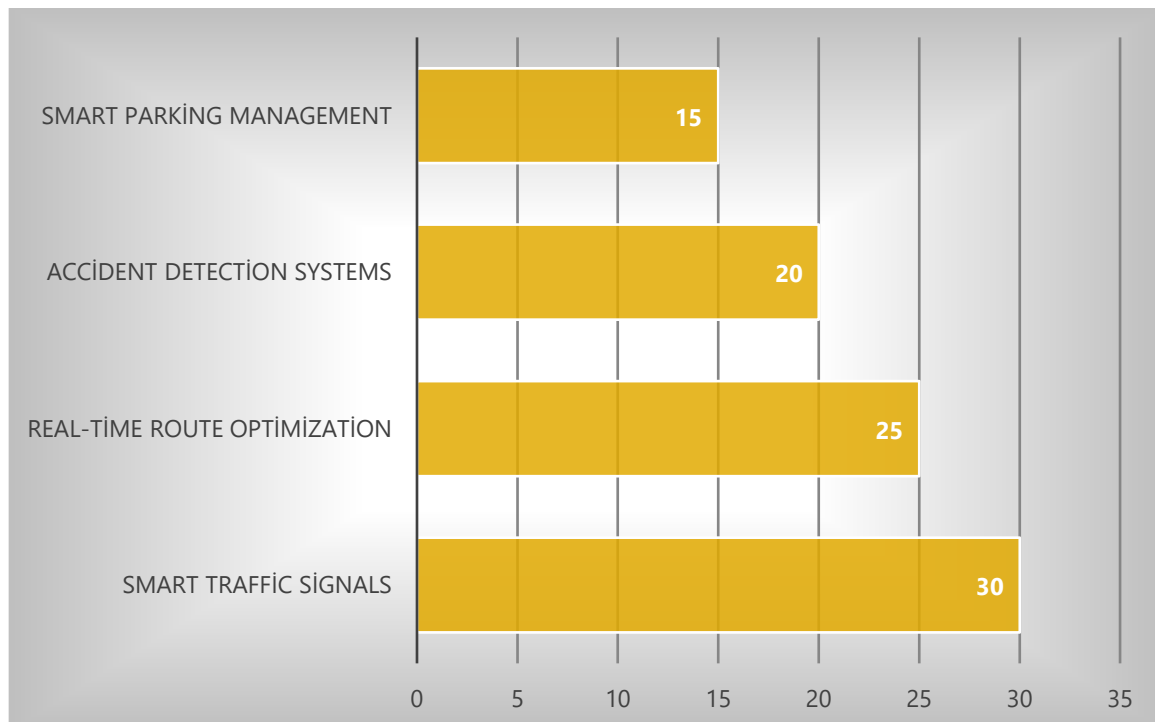
Lower Fuel Consumption – Smooth traffic flow helps reduce fuel usage and vehicle productions.

Smart Parking Management – AI helps drivers find available space spaces easily.

[4] TABLE

COMPONENT	FUNCTION	BENEFITS
Data Collection	Gather traffic data from sensors, cameras, GPS devices, and mobile apps	Real-time monitoring of traffic conditions
Communication Network	Transmit collected data to vital or cloud-based systems	Fast and consistent data transfer for real-time decision-making
Data Processing	Store, clean, and process large volumes of traffic data	Accurate and efficient analysis of traffic patterns
AI & Analytics	Analyze data using machine learning and predictive models	Predict congestion, optimize traffic signals, and ease delays
Traffic Signal Control	Inevitably adjust traffic lights based on real-time traffic flow	Reduced waiting time and developed traffic flow
Navigation Systems	Provide drivers with optimal routes and congestion alerts	Time-saving, fuel-efficient, and less stressful driving
Accident Detection	Detect accidents or unusual traffic situations	Faster emergency response and improved road safety
Smart Parking Solutions	Identify and guide drivers to available residences spaces	Reduced traffic searching for parking and better parking managing
Autonomous Vehicle Integration	Connect with traffic systems and other vehicles	Enhanced safety, direction, and smoother traffic flow

[5] BARCHART



[6] CONCLUSION

Artificial Intelligence (AI) is transforming the way transportation systems and traffic management operate, providing innovative solutions to the challenges faced by modern urban mobility. With the rapid growth of vehicles and increasing urban populations, traditional traffic management systems are often unable to handle congestion, accidents, and inefficiencies effectively. AI addresses these issues by assembling and scrutinizing vast amounts of data from sensors, cameras, GPS devices, and connected vehicles in real time. Machine learning algorithms and predictive analytics enable AI systems to optimize traffic signals, detect accidents promptly, suggest alternative routes, and manage traffic flow more efficiently. Moreover, AI plays a critical role in the development and combination of autonomous vehicles, which can communicate with infrastructure and other vehicles to enhance safety and reduce human error. Smart parking solutions, intelligent public transport management, and emergency response systems powered by AI further improve the convenience and reliability of transportation networks. By reducing travel time, fuel consumption, and environmental pollution, AI contributes to more maintainable and eco-friendly urban mobility. As cities continue to expand and traffic demands increase, the role of AI in transportation and traffic management will become increasingly vital, shaping a future where road systems are safer, smarter, and more approachable to the needs of travelers and the environment alike.

[7] REFERENCES

- [1] Abbasi, S., & Rahmani, A. M. (2023). Artificial intelligence and software modeling approaches in autonomous vehicles for safety management: A systematic review. *Information*, 14(10), 555.
- [2] Adebukola, A. A., Navya, A. N., Jordan, F. J., Jenifer, N. J., & Begley, R. D. (2022). Cyber Security as a Threat to Health Care. *Journal of Technology and Systems*, 4(1), 32-64.
- [3] Adegoke, A., (2023). Patients' Reaction to Online Access to Their Electronic Medical Records: The Case of Diabetic Patients in the US. *International Journal of Applied Sciences: Current and Future Research Trends*, 19 (1), pp 105-115.
- [4] Adel, A. (2023). Unlocking the Future: Fostering Human–Machine Collaboration and Driving Intelligent Automation through Industry 5.0 in Smart Cities. *Smart Cities*, 6(5), 2742-2782.
- [5] Alliou, H., & Mourdi, Y. (2023). Exploring the full potentials of IoT for better financial growth and stability: A comprehensive survey. *Sensors*, 23(19), 8015.
- [6] Almulhim, A. I., & Cobbinah, P. B. (2023). Can rapid urbanization be sustainable? The case of Saudi Arabian cities. *Habitat International*, 139, 102884.
- [7] Antal, H., & Bhutani, S. (2023). Identifying linkages between climate change, urbanisation, and population ageing for understanding vulnerability and risk to older people: A review. *Ageing International*, 48(3), 816-839.
- [8] Atitallah, S. B., Driss, M., Boulila, W., & Ghézala, H. B. (2020). Leveraging Deep Learning and IoT big data analytics to support the smart cities development: Review and future directions. *Computer Science Review*, 38, 100303.
- [9] Bazzan, A. L., & Klügl, F. (2022). *Introduction to intelligent systems in traffic and transportation*. Springer Nature.

- [10] Bharadiya, J. (2023). Artificial Intelligence in Transportation Systems A Critical Review. American Journal of Computing and Engineering, 6(1), 34-45.
- [11] Bibri, S. E. (2019). On the sustainability of smart and smarter cities in the era of big data: an interdisciplinary and transdisciplinary literature review. Journal of Big Data, 6(1), 1-64.
- [12] Chen, Z., van Lierop, D., & Ettema, D. (2020). Dockless bike-sharing systems: what are the implications. Transport Reviews, 40(3), 333- 353.
- [13] Chi, H. R., Wu, C. K., Huang, N. F., Tsang, K. F., & Radwan, A. (2022). A survey of network automation for industrial internet-of-things toward industry 5.0. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 19(2), 2065-2077.
- [14] Chi, X. (2023). Uber's Influence on The Urban Transportation Ecosystem: Impacts, Challenges and Prospects. Highlights in Business, Economics and Management, 20, 447-453.
- [15] Chidolue, O. and Iqbal, T., 2023, March. System Monitoring and Data logging using PLX-DAQ for Solar-Powered Oil Well Pumping. In 2023 IEEE 13th Annual Computing and Communication Workshop and Conference (CCWC) (pp. 0690-0694). IEE

PULMONARY THROMBOEMBOLISM AFTER ORTHOPEDIC KNEE SURGERY INITIAL HOSPITAL TREATMENT AND 1 YEAR FOLLOW UP

**Poposka BILJANA
Ramov LEONID
Spasovska MARIJA
Pejkovska SAVA**

University Clinic for pulmonology and allergology, Skopje, Republic of North Macedonia

Abstract

Introduction: Pulmonary thromboembolism (PTE) and Deep vein thrombosis (DVT) are common complications following any type of surgery. Orthopedic surgeries have a risk higher than 10% of developing PTE. Therefore, a 2 to 5 weeks is given after the surgical procedure. The aim of this study was to present a case of PTE, preceded by local DVT, preceded by orthopedic surgery despite of prophylaxis with 4000 I.U of LMWH for 21 days and the 1 year outpatient follow up afterwards. **Materials and methods:** A 20 years-old male athlete treated for PTE, DVT and Pleuropneumonia from 22.06.2024 to 05.07.2024 in inpatient setting and a follow up treatment in outpatient setting for 1 year. **Results:** The patient was admitted with d-dimer count of 3900ng/L, S1Q3T3 ECG pattern, PTE protocol CT showed right sided consolidation and filling defects on the same side as well as mild pleural effusion on the same side. Having confirmed the diagnosis, a lower limb doppler ultrasound was performed, showing a total occlusion of the right femoral vein giving us a confirmation of DVT. A vascular surgeon was consulted after the DVT confirmation, who suggested a conservative treatment with LMWH. During the treatment the patient was regularly evaluated for hemostasis and after 2 weeks there was a clinical and hemostatic improvement and the patient was discharged with oral therapy of 2x15mg Rivaroxaban for 10 days. During the outpatient follow up multiple lower limb dopplers were done and due to unsatisfactory results with Rivaroxaban the patient was switched to Apixaban resulting in complete recanalization. **Discussion:** In an inpatient setting the treatment with LMWH is safe. **Conclusion:** DVT and PTE remain common complications after any type of surgery, despite the given prophylaxis and should be considered and treated when dealing with this risk group of patients.

Key words: Pulmonary thromboembolism, post-surgical complications.

Introduction:

Venous thromboembolism (VTE) encompasses deep-venous thrombosis (DVT) and pulmonary embolism (PE) and causes cardiovascular death, chronic disability, and emotional distress. Hospitalizations in the United States have decreased for acute myocardial infarction

(MI), heart failure, and stroke among Medicare beneficiaries, but PE hospitalizations increased. (6,8,9,11,12)

Pulmonary Embolism Mortality PE-related mortality in the United States decreased from 6 per 100,000 in 2000 and plateaued at approximately 4.5 per 100,000 in 2017. In contrast, Europe's age-standardized annual PE-related mortality rate has continued to decrease linearly since 2000. In the United States, PE-related mortality is increasing among young and middle-aged adults. Consequently, the median age at death from PE decreased from 73 years in 2000 to 68 years in 2018. During this period, the annual PE mortality was up to 50% higher in African Americans compared with Caucasians. (6,8,9, 11,12)

Patients undergoing orthopedic surgery have an increased risk for deep venous thrombosis (DVT) and pulmonary embolism (PE). These complications are considered detrimental, as they cause major postoperative morbidity and mortality and lead to a substantial health care burden. Because of the high incidence and serious nature of these complications, it is essential for orthopedic surgeons to have a comprehensive knowledge of the risk factors, diagnosis, and treatment of acute DVT and PE. Perioperative management of orthopedic patients to prevent postoperative DVT and PE and optimize postoperative outcomes is also discussed in this review (11,12).

Long-Term Sequelae of Pulmonary Embolism With respect to quality of life, about half of PE patients report persistent dyspnea, fatigue, and reduced exercise capacity, and about one-quarter have persistent right ventricular dysfunction on echocardiogram. This constellation of findings is being recognized more frequently and is called the "post-PE syndrome" A less frequent complication of PE is the development of chronic thromboembolic pulmonary hypertension (CTEPH), which usually causes breathlessness, especially with exertion (4,5,6,7).

The aim of this study was to present a case of PTE, preceded by local DVT, preceded by surgical treatment of fracture in the knee, despite of prophylaxis with 4000 I.U of LMWH for 21 days

Materials and methods: A 20-year-old male (professional athlete) patient treated for PTE, DVT and Pleuropneumonia from 22.06.2024 to 05.07.2024 in our department, following a surgery performed 1 month prior. As well as out-patient follow up for 1 year.

Results: The patient was admitted with d-dimer count of 3900ng/L, S1Q3T3 ECG pattern, having an ongoing pneumonia, painful swelling of the popliteal fossa and with a recent orthopedic surgery he was at high risk of having PTE. On admission, treatment with a dose of 2x8000 I.U of LMWH was started. The following day a PTE protocol CT was performed

confirming the diagnosis. Having confirmed the diagnosis via CT, a lower limb doppler ultrasound was preformed, showing a total occlusion of the right femoral vein giving us a confirmation of DVT. A vascular surgeon was consulted after the DVT confirmation, who suggested a conservative treatment with LWMH. During the treatment the patient was regularly evaluated for hemostasis, d-dimer and anti-Xa and after 2 weeks there was a clinical and hemostatic improvement and the patient was discharged with oral therapy of 2x15mg Rivaroxaban for 10 days and with a suggestion to perform a new lower limb doppler and hemostatic evaluation after the 10 days oral treatment for dose adjustment of the NOAC. The patient also had a consolidation of parenchyma that was symmetrical with the infarction zone of the pulmonary embolism with a consequent mild pleural effusion. This was evaluated regularly with lung ultrasound and on discharge was with nearly full resolution. After the hospitalization the first outpatient evaluation took place after 3 weeks. The patient consulted with a new report of d-dimer and hemostasis which were withing range. A control CT was scheduled and a control low extremity doppler ultrasound. On the follow up ultrasound there was no recanalization on the right femoral vein and on the right popliteal vein. The CT showed mild filling defects who were highly suspected of micro embolisms but with a regression compared to the CT on admission. Having no satisfactory outcome with this NOAC we decided to switch the patient to Apixaban 5mg twice daily. After 2 mounts of treatment there was an improvement in the doppler ultrasound with a full recanalization of the right popliteal vein and 15cm recanalization of the right femoral vein. In the meantime, a vascular surgeon was consulted again and recommended to continue with the conservative treatment. The doppler ultrasound was repeated after 2 weeks with nearly full recanalization this time with only 2,5cm left uncompressible. The following year the ultrasound was repeated twice with a gap of 10 mounts with no complications of the deep veins and no acute or chronic embolisms. A specialist for transfusion medicine suggested the anticoagulation therapy to be fully discontinued.

Discussion: When the given anticoagulant prophylaxis fails, factors like: age, BMI of the patient, dosage and duration of the prophylaxis, comorbidities, post-surgical management and rehabilitation should be considered and evaluated. Once a PTE or DVT is diagnosed, an anticoagulation therapy must be undertaken by the physician. The decision for a inpatient or outpatient approach depends on the physician if the patient is clinically and hemodynamically stable. In our case, even though the patient was clinically stable we decided for a hospital treatment because it was a person of young age, with a profession that requires full cardiopulmonary recovery in order to be fit for practicing it in the future and a full diagnostic

evaluation which is faster and cheaper if done in an inpatient setting. Having these two-diagnosis confirmed requires a doppler ultrasound follow-up at least twice per week in order to evaluate the efficiency of the anticoagulation therapy and if needed as in our case to switch the medication protocol or consider a surgical intervention. Once the condition is resolved, it up to the healthcare provider to discontinue or continue the anticoagulation therapy (1,2,5,7).

Conclusion: DVT and PTE remain common complications after any type of surgery, despite the given prophylaxis and should be considered and treated when dealing with this risk group of patients. The follow up with pulmonary CT angiography and doppler ultrasound is mandatory for evaluating the efficiency of the anticoagulation therapy given.

References

1. Bejjani A Candrika D Khairani ², Ali Assi et al (2024): When direct oral anticoagulants should not be standard treatment. JACC State-of-the-Art Review. J Am Coll Cardiol 83:444.
2. Bikdeli B Mahesh V Madhavan ², David Jimenez et al 2020. I: COVID-19 and thrombotic or thromboembolic disease: Implications for prevention, antithrombotic therapy, and follow-up. J Am Coll Cardiol 75:2590,
3. Ghouse J Vinicius Tragante ^{#3}, Gustav Ahlberg et al: Genome-wide meta-analysis identifies 93 risk loci and enables risk prediction equivalent to monogenic forms of venous thromboembolism. Nat Genet 55:399, 2023.
4. Goldberg JB Daniel M Spevack ², Syed Ahsan et al 2024: Survival and right ventricular function after surgical management of acute pulmonary embolism. J Am Coll Cardiol 76:903, 2020.
5. Kobayashi T Steven Pugliese ², Sanjum S Sethi (2023) et al: Contemporary management of outcomes of patients with high-risk pulmonary embolism. J Am Coll Cardiol 83:35.
6. Konstantinides SV Guy Meyer, Cecilia Becattini et al: 2019 ESC Guidelines for the diagnosis and management of acute pulmonary embolism developed in collaboration with the European Respiratory Society (ERS). Eur Heart J 41:543.
7. Luijten D Cindy M M de Jong ¹, Maarten K Ninaber et al 2023: Post-pulmonary embolism syndrome and functional outcomes after acute pulmonary embolism. Semin Thromb Hemost 49:848.
8. Murthi M Sujitha Velagapudi ², Dae Yong Park ², Hafeez Shaka ² et al 2022: Pulmonary embolism readmission trend over the years (from a National Readmission Database). Am J Cardiol 184:133,
9. Wadhera RK Eric A Secemsky ¹, Jiaman Xu et al:2024.Community socioeconomic status, acute cardiovascular hospitalizations and mortality among Medicare beneficiaries, 2003 to 2019. Circ Cardiovasc Qual Outcomes 17:e010090.
10. Barco S et al: Age-sex specific pulmonary embolism-related mortality in the USA and Canada, 2000–18: An analysis of the WHO Mortality Database and of the CDC Multiple Cause of Death database. Lancet Respir Med 9:33, 2021.
11. Jasmine Saleh ¹, Mouhanad M El-Othmani ², Khaled J Saleh ³ 2017 Apr;48(2):127-135.doi: 10.1016/j.ocl.2016.12.003. Epub 2017 Jan 27.Deep Vein Thrombosis and Pulmonary Embolism Considerations in Orthopedic Surgery
12. Alpesh N Amin ¹, Jay Lin, Stephen Thompson, Daniel Wiederkehr Inpatient and outpatient occurrence of deep vein thrombosis and pulmonary embolism and thromboprophylaxis following selected at-risk surgeries 2011 Sep;45(9):1045-52. doi: 10.1345/aph.1Q049. Epub 2011 Aug 23.

GRANULOMATOSIS WITH POLYANGIITIS (WEGENER'S GRANULOMATOSIS), DIAGNOSIS WITH KIDNEY BIOPSY AND INITIAL IMMUNOSUPPRESSIVE TREATMENT

Ramov LEONID

University Clinic for pulmonology and allergology, Skopje, Republic of North Macedonia.

Zdraveska MARIJA

University Clinic for pulmonology and allergology, Skopje, Republic of North Macedonia.

Severova Andreevska GALINA

University Clinic for nephrology, Skopje, Republic of North Macedonia.

Guchev FILIP

University Clinic for rheumatology, Skopje, Republic of North Macedonia.

Dimitrievska DESKA

University Clinic for pulmonology and allergology, Skopje, Republic of North Macedonia.

Abstract

Introduction: Wegener's granulomatosis (WG) is a rare long-term systemic disorder that involves the formation of granulomas and inflammation of blood vessels (vasculitis). The aim of this study was to present a case of (WG) that was diagnosed with kidney biopsy while the lung infiltrates were not reachable. Materials and methods: 60-year-old male patient who underwent initial preparation for invasive diagnostic, kidney biopsy and initial immunosuppression Results: The patient complained of nasal congestion, weight loss, prior positive C-ANCA, and a CT scan showing multiple bilateral lung infiltrates and an inconclusive result from a nasal mucosa biopsy. Initial lab results showed higher creatinine, albuminuria, suggestive of kidney involvement. Being difficult to biopsy the lung infiltrate due to their position and size and considering the risk of false negative yield. The kidney involvement enabled us to do a kidney biopsy previously discussed with a nephrologist. The biopsy confirmed a vasculitis with positive C-ANCA confirming (WG). A high dose of Methylprednisolone (500mg for 3 day, then 250 for 3 day and finally 125mg for 3 days) A cyclophosphamide and maintenance dose steroids therapy was initiated by a consulting rheumatologist after discharge. A switch to rituximab in the future if the initial treatment failed was also considered. A complete remission of the lung involvement was seen on a CT 2 months after. Discussion: The least invasive site for biopsy being the nasal mucosa is always the best site for biopsy. Having received an inconclusive result leaves the kidney and the lung as secondary options in our case the kidney was considered due to a better possible yield of viable material Conclusion: Present kidney involvement is always a site for biopsy with a high yield for confirming (WG) despite the risk of bleeding complications who were absent in our case.

Key words: Wegener's granulomatosis, lungs involvement, kidney involvement.

Introduction

Granulomatosis with polyangiitis (GPA), formerly known as Wegener's granulomatosis (WG) is a rare long-term systemic disorder that involves the formation of granulomas and inflammation of blood vessels (vasculitis). (1,4)

Granulomatosis with polyangiitis is a distinct clinicopathologic entity characterized by granulomatous vasculitis of the upper and lower respiratory tracts together with glomerulonephritis. In addition, variable degrees of disseminated vasculitis involving both small arteries and veins may occur. (1,4)

Granulomatosis with polyangiitis has an estimated prevalence of 3 per 100,000. It is extremely rare in blacks compared with whites; the male-to-female ratio is 1:1. The disease can be seen at any age; ~15% of patients are <19 years of age, but only rarely does the disease occur before adolescence; the mean age of onset is 40–60 years (1,4)

The histopathologic hallmarks of granulomatosis with polyangiitis are necrotizing vasculitis of small arteries and veins together with granuloma formation, which may be either intravascular or extravascular Lung involvement typically appears as multiple, bilateral, nodular or cavitary infiltrates which on biopsy can reveal necrotizing granulomatous vasculitis. Upper airway lesions, particularly those in the sinuses and nasopharynx, typically reveal inflammation, necrosis, and granuloma formation, with or without vasculitis. In its earliest form, renal involvement is characterized by a focal and segmental glomerulitis that may evolve into a rapidly progressive crescentic glomerulonephritis. Granuloma formation is only rarely seen on renal biopsy. In contrast to other forms of glomerulonephritis, immune complex deposition is not found in the renal lesion of granulomatosis with polyangiitis (pauci-immune glomerulonephritis). In addition to the classic triad of disease of the upper and lower respiratory tracts and kidney, virtually any organ can be involved with vasculitis, granuloma, or both. (1,4)



(Fig1) CTscan of a patient with granulomatosis with polyangiitis.

The aim of this study was to present a case of (WG) that was sent to our clinic for diagnostics due to lung involvement previously seen on a CT scan

Materials and methods

A 57-year-old male patient who underwent full clinical evaluation and invasive diagnostics in our clinic between 11.11.2024 and 26.11.2024 and the 1st year of militance therapy done by a rheumatologist.

Results

The patient was admitted with nasal congestion, weight loss, elevated C-ANCA, and a CT scan showing multiple bilateral lung infiltrates. Previous to the hospitalization the patient had a non-conclusive nasal mucosa biopsy and broncho biopsy. During the hospitalization the patient had reduction in creatinine clearance, loss of albumin, suggestive of kidney involvement. A rheumatologist was consulted, who asked for other lung conditions to be excluded, regardless of having the necessary criteria for the diagnosis. To biopsy the infiltrates in the lung was technically difficult due to their position and size and also with a high risk of getting a false negative biopsy or complications involving the biopsy process. Having kidney involvement, a kidney biopsy was scheduled, previously discussed with a nephrologist. The biopsy confirmed an early kidney involving vasculitis (pauci-immune glomerulonephritis) with positive C-ANCA confirming (WG). A high dose of Methylprednisolone was given afterwards with decrease in the doses every 3 days as per protocol. A rheumatologist was consulted again, who initiated therapy with cyclophosphamide and maintenance dose steroids after discharge, with a consideration for a switch to rituximab in the future. After 2 months of the initial treatment a control CT of the lungs was performed with no progression of the lung involvement. After the initial treatment the patient is now regularly followed by a rheumatologist. The cyclophosphamide currently 750mg is administered once each month (with consideration to reduce it to once each 3 months), together with a 500mg of i.v methylprednisolone. The maintenance therapy consists of prednisolone 10mg daily (down from 60mg daily), Tbl. Mycophenolate mofetil a 500mg 2x3 and pain medication when needed. With the current regimen the last Lab analysis show mild 24hour proteinuria of 0,231g/du (down from 1,15) and serum creatinine of 118 (down from 174) – with creatinine clearance calculated by Cockcroft-Gault of 73 ml/min (Stage 2 CKD). After the initiation of the treatment the patient developed oropharyngeal candidiasis which was treated with regular antimycotic regimen and 2 times an upper-mid airway infection that required short hospitalization. Both cases are considered complications of the initiated

immunosuppressive therapy. Until now no other side effects were reported regarding the treatment and no other complications involving the disease itself.

Discussion:

(WG) being a systematic disease requires a systematic and multidisciplinary approach both for diagnosis and the initial and maintenance treatment. Having typical clinical presentation and increased c-ANCA with lung and kidney involvement is enough to apply a work diagnosis. The diagnosis needs to be confirmed with a biopsy. The safest site is the nasal mucosa with the kidney and the lung being the other 2. If the lung infiltrates or the mucosal edema is inconclusive or not available for viable biopsy due to any reason, a kidney biopsy can always help for diagnosing (WG), with C-ANCA being the second key criteria. The initial treatment is done as soon as the biopsy is confirmed by the specialist who is doing it (in this case a pulmonologist). The maintenance treatment is done by a rheumatologist (2,3,5,10).

Conclusion

Lung nodules with decrease in kidney function and positive C-ANCA complete the diagnostic criteria for (WG), biopsy of either the kidney or the lung is not regularly performed unless for exclusion of other conditions or to deal with inconclusiveness. The site for biopsy is usually the nasal or upper airway mucosa being the site of least complications. Although being a rare disease and previously fatal within few months of diagnosis, currently there are well established criteria for treatment and fast diagnosis. Remission is achieved in 50-70% of the patients, however relapses are common and found in 43% of the patients withing 1 year of remission. The 2nd line treatment involving Rituximab, Avacopan and other biologic agents was not initiated during the current follow-up of this patient.

References

1. Finkielman JD Peter A Merkel, Darrell Schroeder,et al (2007): Antiproteinase 3 antineutrophil cytoplasmic antibodies and disease activity in Wegener granulomatosis. *Ann Intern Med.* 147:611.
2. Jayne D Niels Rasmussen, Konrad Andrassy,et al: A randomized trial of maintenance therapy for vasculitis associated with antineutrophil cytoplasmic autoantibodies. *N Engl J Med* 349:36, 2003.
3. Jayne DRW David R, Peter A. Merkel, M.D., M.P.H., Thomas J. Schall, Ph.D., and Pirow Bekker, M.D, Ph.D. et al: Avacopan for the treatment of ANCA-associated vasculitis. *N Engl J Med* 18:599, 2021.
4. Jennette JC R J Falk, P A Bacon, N Basu, M C Cid, F Ferrario,et al: 2012 revised International Chapel Hill Consensus Conference Nomenclature of Vasculitides. *Arthritis Rheum* 65:1, 2013.
5. Smith RM Rachel B Jones², Ulrich Specks et al: Rituximab versus azathioprine for maintenance of remission for patients with ANCA-associated vasculitis and relapsing disease: An international randomised controlled trial. *Ann Rheum*
6. Granulomatous vasculitis S P Hammar¹ (1995) *Semin Respir Infect* 1
7. Overview of the 2012 revised International Chapel Hill Consensus Conference nomenclature of vasculitides. Jennette JC.

8. Nomenclature of cutaneous vasculitides - German translation of the dermatologic addendum to the 2012 Revised International Chapel Hill Consensus Conference Nomenclature of Vasculitides. [Sunderkötter C, Lamprecht P, Mahr A, Metze D, Zelger B.J Dtsch Dermatol Ges. 2018 Dec;16\(12\):1425-1432. doi: 10.1111/ddg.13703.](#)
9. Falk RJ, Jennette JC. Anti-neutrophil cytoplasmic autoantibodies with specificity for myeloperoxidase in patients with systemic vasculitis and idiopathic necrotizing and crescentic glomerulonephritis. *N Engl J Med* 1988;318:1651-1657.
10. Koldingsnes W, Nossent H. Predictors of survival and organ damage in Wegener's granulomatosis. *Rheumatology (Oxford)* 2002;41:572-581.
11. Corral-Gudino L, Borao-Cengotita-Bengoa M, Del Pino-Montes J, Lerma-Márquez JL. Overall survival, renal survival and relapse in patients with microscopic polyangiitis: a systematic review of current evidence. *Rheumatology (Oxford)* 2011;50:1414-1423.

INTEGRATED NITROGEN MANAGEMENT FOR ENVIRONMENTAL AND AGRICULTURAL SUSTAINABILITY

**ELABBARI Chaimaa, Pr. Labjar NAJOUA, Ouijdane EL OUALI,
EL BOUZIDI Ahmed, ZINA OUI Badre, Pr. EL HAJJAJI Souad**
LS3MN2E-CERNE2D, Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat

Abstract

In agriculture, soil and water pollution by nitrates is significantly exacerbated by the excessive use of nitrogen fertilizers, which can lead to major environmental impacts such as eutrophication, groundwater contamination, and health risks.

Several strategies have been developed to address these issues by reducing nitrogen inputs while improving nitrogen use efficiency and maintaining agricultural productivity.

These strategies include adjusting fertilizer application rates, using slow-release fertilizers, applying precision fertilization tailored to crop needs, introducing nitrogen-fixing crops such as legumes, practicing crop rotation, and improving agricultural techniques.

These approaches not only help limit nitrogen losses to the environment but also enhance the quality of agricultural products and reduce costs for farmers. They form part of a broader effort to ensure the sustainability of agricultural systems in the face of climate change, balancing productivity, environmental protection, and resilience.

Keywords: Nitrate pollution, Nitrogen fertilizers, Groundwater contamination, Eutrophication, Precision fertilization, Sustainable agriculture, Environmental protection, Climate change resilience

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF CARBON NANOTUBES FROM BIOCHAR UNDER MICROWAVE IRRADIATION

Faisal NAZIR

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master Of Philosophy
Physics Department Of Physics, Faculty Of Sciences, The University Of Agriculture,
Faisalabad, Pakistan

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 $\pi(\pi)$ 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.

CARBON CREDIT MECHANISMS AND THEIR APPLICATION IN THE VIETNAMESE GREENHOUSE AGRICULTURAL SECTOR

Le Thi Minh

Thu Dau Mot University, Binh Duong Province, Vietnam

ORCID: 0000-0003-0156-4046

Abstract

Carbon credits have emerged as a pivotal instrument in global efforts to mitigate climate change, operating through market-based mechanisms that incentivize the reduction of greenhouse gas emissions across various industrial and agricultural sectors. In the context of agriculture, carbon credit schemes are increasingly applied in precision farming, organic cultivation, reforestation programs, soil carbon sequestration projects, and controlled-environment agriculture including greenhouse operations. The integration of carbon credit trading into agricultural production not only generates additional revenue streams for farmers and enterprises but also promotes the adoption of low-emission technologies and environmentally responsible practices. However, the legal infrastructure governing carbon credit issuance, verification, trading, and retirement in Vietnam remains fragmented and underdeveloped, creating significant barriers to market participation. In this study, the regulatory framework surrounding carbon markets in Vietnam is comprehensively examined, with particular emphasis on its applicability to greenhouse agricultural enterprises. Relevant international standards, including those established under the Paris Agreement and voluntary carbon market protocols, are reviewed and benchmarked against existing Vietnamese legislation. The findings indicate that Vietnam currently lacks a functional domestic carbon trading platform, standardized measurement and reporting methodologies for agricultural emissions, and clear legal guidance on carbon credit ownership and transferability. Policy recommendations are proposed to accelerate the development of a transparent, accessible, and legally sound carbon credit market that supports the decarbonization of the Vietnamese agricultural sector.

Keywords: carbon credits, carbon market, greenhouse gas emissions, agricultural sector, climate policy, Vietnam

1. INTRODUCTION

Climate change represents one of the most pressing challenges of the twenty-first century, with scientific consensus firmly establishing that anthropogenic greenhouse gas (GHG) emissions are the primary driver of rising global temperatures. Agriculture accounts for

approximately 19–29% of total global GHG emissions when food systems, land-use change, and supply chains are considered holistically (IPCC, 2022; FAO, 2023). Within this sector, controlled-environment agriculture—including greenhouse production—presents a particularly complex emissions profile, combining energy-intensive climate control systems with potentially significant carbon sequestration capacity through soil management and biomass accumulation.

In response to the imperative of decarbonization, carbon credit mechanisms have evolved as a central policy instrument, enabling emitters to offset residual emissions while generating financial incentives for emission-reduction activities. Under both compliance markets linked to national cap-and-trade legislation and voluntary carbon markets (VCMs) operating through independent certification standards, agricultural activities including soil carbon sequestration, agroforestry, and low-emission cropping systems have increasingly been recognized as eligible carbon offset projects (World Bank, 2023; Verra, 2023).

Vietnam, as a rapidly developing economy with a large agricultural sector that contributes approximately 12.1% of national GDP and employs over 37% of the workforce (General Statistics Office of Vietnam, 2023), faces a dual imperative: sustaining agricultural productivity and food security while meeting its internationally committed climate targets. Under Vietnam's Updated Nationally Determined Contribution (NDC) submitted to the UNFCCC in 2022, the country committed to reducing GHG emissions by 15.8% unconditionally and up to 43.5% with international support relative to the business-as-usual scenario by 2030. Agriculture and land use collectively account for approximately 31% of Vietnam's total emission reduction target under the NDC (Ministry of Natural Resources and Environment [MONRE], 2022).

Despite this ambitious commitment and a growing domestic greenhouse farming sector—covering over 21,000 hectares and expanding at an annual growth rate of approximately 8–10% (Ministry of Agriculture and Rural Development [MARD], 2022) Vietnam has yet to establish a fully operational domestic carbon trading system or a standardized methodology for measuring, reporting, and verifying (MRV) agricultural carbon credits. The legal framework, while developing, remains fragmented across multiple sector-specific regulations. This paper comprehensively examines the carbon credit regulatory framework in Vietnam as it applies to the greenhouse agricultural sector. It reviews the theoretical and institutional foundations of carbon credit mechanisms, maps the existing Vietnamese legal architecture against international standards, identifies key structural deficiencies, and proposes policy recommendations for developing a credible and accessible carbon market for greenhouse

agricultural operators. The study contributes to the growing literature on carbon market governance in developing economies and provides actionable guidance for Vietnamese policymakers, agricultural enterprises, and legal practitioners.

2. THEORETICAL FRAMEWORK AND LITERATURE REVIEW

2.1 The Economics of Carbon Credits

The theoretical foundation of carbon credit mechanisms rests on Pigouvian economics and the internalization of negative externalities. Greenhouse gas emissions impose costs on society that are not reflected in market prices, resulting in overproduction of emissions relative to the social optimum (Pigou, 1920; Stern, 2007). Carbon pricing instruments, including carbon taxes and cap-and-trade systems, are designed to correct this market failure by assigning a monetary value to the cost of emissions.

The seminal contribution of Coase (1960) provided the theoretical basis for tradable permit systems, demonstrating that well-defined property rights over environmental goods can enable efficient market outcomes. Dales (1968) subsequently applied this framework to pollution control, proposing the creation of tradable pollution permits as a cost-effective alternative to uniform emission standards. These foundational insights underpin the design of modern carbon markets, including the Clean Development Mechanism (CDM) established under the Kyoto Protocol and successor mechanisms under the Paris Agreement.

Carbon credits—units representing one metric tonne of CO₂ equivalent (tCO₂e) reduced, avoided, or sequestered—function as the core tradable commodity within these systems. Their credibility depends critically on additionality (the emission reduction would not have occurred without the carbon project), permanence (the reduced or sequestered carbon remains out of the atmosphere for a defined period), measurability (emissions can be accurately quantified using approved MRV methodologies), and leakage prevention (the project does not simply shift emissions to another location or activity) (Gold Standard, 2023; Verra, 2023).

2.2 Agricultural Carbon Markets: Global Experience

Agricultural activities offer substantial potential for carbon credit generation across multiple pathways, including soil organic carbon enhancement, enteric fermentation reduction, manure management improvement, rice paddy methane mitigation, agroforestry, and biochar application (Smith et al., 2020; IPCC, 2022). Controlled-environment agriculture, such as greenhouse production, presents specific opportunities relating to renewable energy integration, precision irrigation, and reduced synthetic fertilizer application.

International experience with agricultural carbon markets has been instructive. The voluntary carbon market for agriculture in the United States, facilitated through registries such as the

Verified Carbon Standard (now Verra VCS) and the American Carbon Registry, has grown substantially, with soil carbon projects accounting for a significant share of agricultural offsets (Ecosystem Marketplace, 2023). Australia's Emissions Reduction Fund (ERF) represents a prominent compliance-based agricultural offset scheme, providing payments for on-farm emission reductions through the Carbon Credits (Carbon Farming Initiative) Act 2011 (Clean Energy Regulator, 2023).

In Southeast Asia, agricultural carbon market development has been slower, constrained by weak institutional capacity, limited MRV infrastructure, and fragmented land tenure systems (ADB, 2021). However, the establishment of ASEAN frameworks on energy cooperation and the growing emphasis on nature-based solutions within national climate plans signal increasing momentum for regional agricultural carbon finance.

2.3 Legal Dimensions of Carbon Credit Systems

The legal characterization of carbon credits—whether as property rights, financial instruments, or sui generis environmental assets—has significant implications for their issuance, trading, and enforcement (Siroën, 2022; Hunter, Salzman & Zaelke, 2015). Ownership, transferability, liability for non-permanence, and the legal relationship between credit holders and the underlying emission reduction activity all require clear legal definition within national regulatory frameworks.

In jurisdictions with mature carbon markets, such as the European Union under the EU Emissions Trading System (EU ETS) and the United Kingdom Emissions Trading Scheme (UK ETS), extensive bodies of secondary legislation govern registry operations, allowance transfers, penalty structures, and dispute resolution (European Commission, 2023). Developing countries seeking to integrate into international carbon markets face the additional challenge of aligning domestic legal frameworks with the requirements of Article 6 of the Paris Agreement, which governs international carbon credit transfers and requires corresponding adjustments to national inventories (UNFCCC, 2021).

3. VIETNAM'S REGULATORY FRAMEWORK FOR CARBON MARKETS

3.1 Constitutional and Legislative Foundations

Vietnam's environmental governance framework is anchored in Article 43 of the 2013 Constitution, which recognizes the right of citizens to live in a clean environment and imposes corresponding obligations on the state. The Law on Environmental Protection No. 72/2020/QH14 (LEP 2020), promulgated by the National Assembly on November 17, 2020, and effective from January 1, 2022, represents the primary statutory instrument governing environmental management in Vietnam. Significantly, Chapter IX of the LEP 2020 introduces

explicit provisions for the development of a domestic carbon market, marking the first time that carbon credit trading has been given a statutory basis in Vietnamese law (National Assembly of Vietnam, 2020).

Article 139 of the LEP 2020 mandates the establishment of a greenhouse gas emission quota system and a carbon credit exchange mechanism. It authorizes the government to regulate the trading of GHG emission quotas and carbon credits while obligating large emitters in specified sectors to conduct GHG inventories and participate in emission reduction schemes. These provisions signal a clear legislative intent to transition Vietnam from project-based voluntary offsets toward a structured compliance carbon market.

3.2 Implementing Regulations: Decree 06/2022/NĐ-CP

The principal implementing regulation for carbon market development is Decree 06/2022/NĐ-CP of the Government of Vietnam, issued on January 7, 2022. This Decree operationalizes Articles 91 and 139 of the LEP 2020, establishing the institutional architecture for GHG emission inventory management, the allocation of GHG emission quotas, and the operation of the domestic carbon market. Key provisions include the designation of 1,912 large emitters across six sectors (energy, transportation, construction, industry, waste, and agriculture and forestry) that are required to conduct GHG inventories, and a phased roadmap for domestic carbon market development (Government of Vietnam, 2022).

Under the roadmap established by Decree 06/2022/NĐ-CP, the domestic carbon market is scheduled to develop in two phases: a pilot phase from 2025 to 2027 involving selected enterprises and sectors, and a formal market launch from 2028 onward. The Decree also provides for the development of a national carbon credit registry and MRV guidelines. However, as of the time of writing, the secondary technical standards required to operationalize these provisions—including approved MRV methodologies for agricultural activities—have not yet been finalized by the relevant ministries.

3.3 Sectoral Regulations Relevant to Greenhouse Agriculture

Agriculture and forestry are explicitly included within the scope of Vietnam's GHG management framework. Decision No. 3119/QĐ-BNN-KHCN issued by the Ministry of Agriculture and Rural Development (MARD) in 2011 established a national action plan for reducing emissions from the agricultural sector, focusing on rice cultivation, livestock, and land use. More recently, the Sustainable Agriculture Programme 2030 (Ministry of Agriculture and Rural Development, 2022) incorporates low-emission agricultural practices as a core component, including the promotion of smart greenhouse technologies.

The Law on Forestry No. 16/2017/QH14 and implementing regulations provide a partially applicable framework for forest carbon credits, particularly relevant to agroforestry activities associated with greenhouse operations. Circular No. 01/2022/TT-BTNMT, issued by MONRE on January 7, 2022, provides technical guidance on GHG inventory activities for emission sources listed under Decree 06/2022/NĐ-CP, representing a foundational step in establishing standardized national MRV procedures. Nevertheless, agriculture-specific MRV methodologies for greenhouse operations remain absent from the current technical guidance.

3.4 Vietnam's International Commitments

Vietnam is a signatory to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) and ratified the Paris Agreement in November 2016. The submission of Vietnam's Updated NDC in October 2022 reinforced the country's commitment to significant emission reductions with international support and signaled an intention to engage with Article 6 carbon market mechanisms to achieve these targets (MONRE, 2022). Vietnam has also engaged in bilateral carbon credit agreements under the framework of Article 6.2 of the Paris Agreement, including a pilot arrangement with Japan under the Joint Crediting Mechanism (JCM), which includes agricultural and forestry projects (Ministry of the Environment Japan, 2023).

Vietnam's participation in international REDD+ mechanisms (Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation) through the Forest Carbon Partnership Facility has provided experience with carbon credit methodologies and MRV systems, though primarily in the forestry sector. The lessons from REDD+ implementation—particularly regarding community participation, benefit-sharing, and data management—offer relevant precedents for the development of agricultural carbon credit systems (World Bank, 2021).

4. CARBON CREDIT MECHANISMS IN GREENHOUSE AGRICULTURE

4.1 Emission Sources and Carbon Sequestration Pathways

Greenhouse agricultural operations present a distinctive emissions profile that encompasses both emission sources and sequestration opportunities. Primary emission sources include electricity consumption for lighting, heating, and cooling systems; combustion of fossil fuels for heating; nitrous oxide (N₂O) emissions from fertilizer application and soil management; methane (CH₄) from organic waste decomposition; and embodied carbon in construction materials (FAO, 2023; IPCC, 2022). In Vietnam's hot and humid climate, thermal management constitutes a particularly significant energy demand, with cooling systems accounting for a substantial portion of operational energy consumption.

Conversely, greenhouse operations offer sequestration and emission reduction opportunities through the adoption of renewable energy sources (particularly solar photovoltaic systems increasingly integrated into greenhouse roofing structures), high-efficiency LED lighting, precision drip irrigation that reduces N₂O emissions, organic soil amendments that enhance soil carbon stocks, hydroponic and aeroponic cultivation systems that eliminate soil-based N₂O emissions, and closed-loop water and nutrient recycling systems that minimize waste (Smith et al., 2020).

The net carbon balance of a greenhouse operation—and therefore its eligibility and potential for carbon credit generation—depends on the quantification of both emission sources and sequestration pathways using methodologically sound and independently verifiable approaches. Under international voluntary carbon market standards, several approved methodologies are potentially applicable to greenhouse operations, including Verra's VM0041 (Methodology for the Reduction of Enteric Methane Emissions from Ruminants) for associated livestock activities, and AMS-IA and AMS-II.D methodologies under the CDM for small-scale renewable energy and energy efficiency projects respectively (Verra, 2023; UNFCCC, 2023).

4.2 Barriers to Carbon Market Participation for Vietnamese Greenhouse Operators

Vietnamese greenhouse agricultural enterprises face a constellation of structural barriers to carbon market participation that are both regulatory and practical in nature. On the regulatory side, the absence of approved domestic MRV methodologies for agricultural operations means that Vietnamese greenhouse operators currently have no clear pathway to generating domestically certified carbon credits. While participation in voluntary carbon markets through international standards (Verra VCS, Gold Standard) is technically feasible, the associated costs of project development, validation, and verification—typically ranging from USD 30,000 to USD 150,000 for initial certification—are prohibitive for small and medium-sized agricultural enterprises (Ecosystem Marketplace, 2023).

The legal ambiguity surrounding carbon credit ownership in Vietnam constitutes a further barrier. Neither the LEP 2020 nor Decree 06/2022/NĐ-CP clearly defines the legal nature of carbon credits as property rights, which creates uncertainty regarding their pledgeability as collateral, their treatment under tax and accounting law, and the enforceability of carbon credit purchase agreements (Nguyen & Le, 2021). Land tenure complexity in Vietnam's agricultural sector—where land use rights (as distinct from land ownership) are granted to farmers under the Land Law—adds an additional layer of uncertainty to the permanence requirements of soil carbon projects.

Technical capacity constraints further limit participation. The implementation of robust digital MRV systems, including remote sensing, IoT-based sensor networks, and digital data management platforms, requires investment and technical expertise that most Vietnamese greenhouse operators currently lack. The underdevelopment of agricultural extension services in carbon accounting and the limited availability of accredited third-party verifiers specializing in agricultural carbon credits compound these challenges (ADB, 2021; MARD, 2022).

4.3 Existing Pilot Initiatives and Emerging Opportunities

Notwithstanding these barriers, several developments signal emerging opportunities for Vietnamese greenhouse agricultural enterprises. The NAMA (Nationally Appropriate Mitigation Action) facility for rice cultivation in the Mekong Delta, while focused on paddy agriculture rather than greenhouse operations, has generated valuable experience with agricultural carbon accounting, community-based implementation, and benefit-sharing mechanisms that are transferable to the greenhouse sector (GIZ, 2023). The VNSAT (Vietnam Sustainable Agriculture Transformation) project, funded by the World Bank, has supported the development of sustainable rice cultivation practices with associated greenhouse gas benefits in six Mekong Delta provinces (World Bank, 2022).

The Joint Crediting Mechanism between Vietnam and Japan has supported a number of agricultural and energy projects that demonstrate the viability of carbon credit generation from Vietnamese agricultural operations under internationally recognized methodologies. Japan's Ministry of the Environment has approved several JCM projects in Vietnam involving energy efficiency and renewable energy applications, with agricultural sector projects under development (Ministry of the Environment Japan, 2023). These bilateral mechanisms provide a practical entry point for Vietnamese greenhouse operators seeking to generate internationally tradable carbon credits prior to the establishment of a domestic market.

5. FINDINGS AND DISCUSSION

The preceding analysis reveals a clear pattern of institutional aspiration outpacing regulatory operationalization in Vietnam's approach to agricultural carbon markets. The legislative foundations established by the LEP 2020 and Decree 06/2022/NĐ-CP represent a significant advancement in the formal architecture of Vietnam's carbon governance system. However, the translation of these statutory mandates into functional market mechanisms—with sector-specific MRV methodologies, an operational carbon credit registry, accredited verification services, and legally certain credit ownership frameworks—remains substantially incomplete.

Three structural deficiencies emerge as particularly critical for the greenhouse agricultural sector. First, the absence of approved agricultural MRV methodologies creates an unbridgeable gap between the sector's considerable emission reduction potential and its ability to monetize that potential through carbon credits. Vietnam's MONRE has indicated that agricultural MRV methodologies are under development, but finalization timelines remain uncertain (MONRE, 2022). Second, the legal characterization of carbon credits as a novel form of environmental property right requires explicit statutory or regulatory definition to ensure enforceability, prevent double-counting, and enable carbon credits to function as financial assets within the Vietnamese legal system. Third, the transaction cost structure of international voluntary carbon markets renders them inaccessible to the vast majority of Vietnamese greenhouse operators, who are predominantly small and medium-sized enterprises.

These findings are consistent with broader comparative research on carbon market development in emerging economies, which identifies regulatory fragmentation, technical capacity constraints, and the high fixed costs of MRV compliance as the primary impediments to smallholder and SME participation in carbon markets (ADB, 2021; Ecosystem Marketplace, 2023). The experience of similar emerging economies—including Indonesia's carbon tax implementation under Regulation of the President No. 98 of 2021, and Thailand's Thailand Voluntary Emission Reduction Program (T-VER)—demonstrates that phased, sector-specific approaches with dedicated SME support mechanisms and aggregation models can significantly expand market access (Gold Standard, 2023).

Vietnam's participation in international carbon market mechanisms under Article 6 of the Paris Agreement introduces both opportunity and complexity. While Article 6.2 bilateral arrangements and Article 6.4 credits offer pathways for internationally recognized Vietnamese agricultural carbon credits, the requirement for corresponding adjustments to national GHG inventories—ensuring that internationally transferred credits are not double-counted against Vietnam's NDC—demands robust national registry infrastructure and interoperability with international standards (UNFCCC, 2021). Developing this infrastructure is prerequisite to the credible international marketing of Vietnamese agricultural carbon credits.

6. POLICY RECOMMENDATIONS

Based on the foregoing analysis, the following policy recommendations are proposed to accelerate the development of a credible and accessible carbon credit market for Vietnam's greenhouse agricultural sector.

6.1 Expedite the Development of Agriculture-Specific MRV Methodologies

The Ministry of Natural Resources and Environment, in collaboration with the Ministry of Agriculture and Rural Development, should prioritize the development and approval of domestic MRV methodologies for greenhouse agricultural operations. These methodologies should address the specific emission sources and sequestration pathways of controlled-environment agriculture, adopt internationally compatible accounting approaches aligned with IPCC guidelines and recognized voluntary market standards, and be calibrated for the technical and resource constraints of Vietnamese SMEs. The methodologies should also include tiered approaches—with simplified estimation methods for smaller operations and more rigorous measurement protocols for larger enterprises—to ensure proportionate compliance burdens.

6.2 Clarify the Legal Status of Carbon Credits

The government should issue specific legal provisions—whether through amendment of the LEP 2020, a dedicated carbon market law, or subsidiary regulations—that define the legal nature of carbon credits as environmental property rights under Vietnamese law. These provisions should address the creation, registration, transfer, pledge, taxation, and retirement of carbon credits; establish clear rules for determining ownership between landholders, land users, and project developers; and specify the legal consequences of permanence failures for agricultural projects. Legal certainty in these areas is a prerequisite for the development of a functioning domestic carbon credit market and for Vietnam's credible participation in Article 6 mechanisms.

6.3 Establish Agricultural Carbon Credit Aggregation Mechanisms

Given the predominance of small and medium-sized enterprises in Vietnamese greenhouse agriculture, individual project certification under international voluntary market standards is likely to remain economically unviable for most operators. The government, potentially in partnership with agricultural cooperatives, provincial agricultural extension agencies, and international development finance institutions, should develop aggregation mechanisms that enable multiple small-scale greenhouse operations to pool their emission reductions for joint certification. Such mechanisms, already demonstrated through programs such as the Plan Vivo System and Gold Standard's Nested REDD+ approach, can substantially reduce the per-unit transaction costs of carbon market participation while maintaining the integrity of individual project-level MRV.

6.4 Develop Carbon Market Literacy and Capacity Building Programs

The Ministry of Agriculture and Rural Development, in coordination with agricultural universities, provincial extension agencies, and industry associations, should implement a comprehensive carbon market literacy and capacity building program targeted at greenhouse agricultural operators. This program should cover the fundamentals of carbon accounting and MRV, the process and economics of carbon project development and certification, legal aspects of carbon credit ownership and trading in the Vietnamese context, and available domestic and international financing mechanisms for carbon projects. Digital training platforms, demonstration projects, and peer learning networks among early-adopting greenhouse enterprises would accelerate the diffusion of carbon market capabilities through the sector.

6.5 Align Domestic Market Development with International Standards and Article 6

As Vietnam develops its domestic carbon trading platform and registry system, it is essential that the technical architecture, accounting rules, and governance mechanisms be designed from the outset to be interoperable with international carbon market standards and the requirements of Article 6 of the Paris Agreement. This requires close engagement with the UNFCCC Secretariat, the International Carbon Reduction and Offset Alliance, and comparable national registries in trading partner countries. Early establishment of a publicly accessible, digital, blockchain-compatible national carbon credit registry would significantly enhance market transparency and investor confidence.

7. CONCLUSION

This study has examined the intersection of carbon credit mechanisms and greenhouse agricultural policy in Vietnam, identifying both the considerable potential of the sector as a source of verified emission reductions and the substantial regulatory, technical, and economic barriers that currently impede the realization of that potential. Vietnam's legislative framework, anchored by the Law on Environmental Protection 2020 and Decree 06/2022/NĐ-CP, provides a foundational statutory architecture for carbon market development, but remains substantially incomplete with respect to the sector-specific instruments required to enable greenhouse agricultural enterprises to participate in domestic or international carbon markets. The most critical near-term priorities are the finalization of agricultural MRV methodologies, the legal clarification of carbon credit property rights, and the development of aggregation mechanisms that make carbon market participation economically viable for small and medium-sized greenhouse operators. Achieving these objectives will require coordinated action across multiple ministries—MONRE, MARD, and the Ministry of Finance—and

sustained engagement with international technical assistance programs and development finance institutions.

As Vietnam pursues its ambitious NDC targets and seeks to position its agricultural sector as a contributor to, rather than a liability for, the national decarbonization agenda, the development of a credible and accessible agricultural carbon market emerges as both an economic opportunity and a policy imperative. The greenhouse agricultural sector, with its high intensity of both emissions and emission reduction potential per unit area, is well placed to be an early adopter and demonstrator of viable agricultural carbon projects in Vietnam. The realization of this potential, however, depends on the creation of regulatory conditions that are transparent, legally certain, technically sound, and equitably accessible to operators across the full spectrum of scale.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author wishes to acknowledge the contributions of colleagues at Thu Dau Mot University's Faculty of Law and Management and the constructive feedback received during the development of this research. This study received no specific grant from any funding agency in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

REFERENCES

- Asian Development Bank (ADB). (2021). *Catalyzing climate finance in Asia and the Pacific: Carbon markets and beyond*. Asian Development Bank. <https://doi.org/10.22617/TCS210363-2>
- Clean Energy Regulator (Australia). (2023). *Emissions Reduction Fund: How the method works*. Australian Government. <https://www.cleanenergyregulator.gov.au/ERF/About-the-Emissions-Reduction-Fund>
- Coase, R. H. (1960). The problem of social cost. *Journal of Law and Economics*, 3(1), 1–44. <https://doi.org/10.1086/466560>
- Dales, J. H. (1968). *Pollution, property and prices: An essay in policy-making and economics*. University of Toronto Press.
- Ecosystem Marketplace. (2023). *State of the voluntary carbon markets 2023*. Forest Trends Association. <https://www.ecosystemmarketplace.com/carbon-markets/>
- European Commission. (2023). *EU Emissions Trading System (EU ETS): The EU's key tool for reducing greenhouse gas emissions*. European Commission Climate Action. https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2023). *Agri-food systems and climate change: The share of agri-food systems in total greenhouse gas emissions*. FAO. <https://doi.org/10.4060/cc9343en>
- General Statistics Office of Vietnam. (2023). *Statistical yearbook of Vietnam 2022*. Statistical Publishing House.
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ). (2023). *Nationally Appropriate Mitigation Action (NAMA) for sustainable rice cultivation in the Mekong River Delta: Project progress report*. GIZ Vietnam.
- Gold Standard Foundation. (2023). *Gold Standard for the global goals: Requirements and guidelines v1.2*. Gold Standard Foundation. <https://www.goldstandard.org/project-developers/standard-documents>
- Government of Vietnam. (2022). *Decree No. 06/2022/ND-CP on regulations on reduction of greenhouse gas emissions and protection of the ozone layer* (January 7, 2022). Official Gazette of the Socialist Republic of Vietnam.

- Hunter, D., Salzman, J., & Zaelke, D. (2015). *International environmental law and policy* (5th ed.). Foundation Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2022). *Climate change 2022: Mitigation of climate change. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/9781009157926>
- Ministry of Agriculture and Rural Development (MARD), Vietnam. (2022). *Sustainable agriculture programme 2030: Action plan for agricultural sector emission reduction*. MARD.
- Ministry of the Environment Japan. (2023). *Joint Crediting Mechanism (JCM): Overview and project list*. Ministry of the Environment Japan. <https://www.env.go.jp/earth/ondanka/mechanism/jcm.html>
- Ministry of Natural Resources and Environment (MONRE), Vietnam. (2022). *Vietnam's updated nationally determined contribution*. MONRE. https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-11/Viet%20Nam_NDC_2022_Eng.pdf
- National Assembly of Vietnam. (2020). *Law on Environmental Protection No. 72/2020/QH14* (November 17, 2020). Official Gazette of the Socialist Republic of Vietnam.
- Nguyen, T. H., & Le, V. A. (2021). Legal challenges in developing Vietnam's carbon market: A review of regulatory gaps and reform priorities. *Vietnam Journal of Legal Sciences*, 8(2), 45–62.
- Pigou, A. C. (1920). *The economics of welfare*. Macmillan.
- Siroën, J. M. (2022). Property rights, trading rules, and the climate: The legal nature of carbon credits and allowances. *Climate Policy*, 22(5), 584–596. <https://doi.org/10.1080/14693062.2021.2007404>
- Smith, P., Soussana, J. F., Angers, D., Schipper, L., Chenu, C., Rasse, D. P., Batjes, N. H., van Egmond, F., McNeill, S., Kuhnert, M., Bhattacharya, S., Conant, R., Cowie, A., Emde, D., Fernandez-Martinez, J. M., Janzen, H., Minasny, B., Pan, G., Rumpel, C., ... Whitmore, A. (2020). How to measure, report and verify soil carbon change to realize the potential of soil carbon sequestration for atmospheric greenhouse gas removal. *Global Change Biology*, 26(1), 219–241.
<https://doi.org/10.1111/gcb.14815>
- Stern, N. (2007). *The economics of climate change: The Stern review*. Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/CBO9780511817434>
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2015). *Paris Agreement*. UNFCCC. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2021). *Glasgow Climate Pact: Decision 1/CMA.3—COP26 outcome on Article 6 (Katowice Climate Package). Report of the Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Paris Agreement*. UNFCCC. <https://unfccc.int/documents/460950>
- United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). (2023). *CDM approved methodologies*. UNFCCC CDM. <https://cdm.unfccc.int/methodologies/index.html>
- Verra. (2023). *Verified Carbon Standard (VCS): Program guide v4.1*. Verra.
<https://verra.org/programs/verified-carbon-standard/>
- World Bank. (2021). *Forest Carbon Partnership Facility: Annual report 2021*. World Bank.
<https://doi.org/10.1596/35917>
- World Bank. (2022). *Vietnam sustainable agriculture transformation project: Implementation completion and results report*. World Bank. <https://projects.worldbank.org/en/projects-operations/project-detail/P145025>
- World Bank. (2023). *State and trends of carbon pricing 2023*. World Bank.
<https://doi.org/10.1596/978-1-4648-2006-3>

THE KEY ISSUE FEATURES OF ADAPTIVE CELLULAR HOMEOSTASIS PARADIGM OF SENESCENCE: UNIFYING REPAIR MECHANISMS AND PROGRESSIVE DAMAGE DYNAMICS IN SYSTEMIC BIOLOGICAL AGING PROCESSES ACROSS LIFESPAN REGULATORY NETWORKS

**Nodar SULASHVILI 1, Lali PATSIA 2, Ada (Adel) TADEVOSYAN 3, Vira KRAVCHENKO 4,
OLGA SHAPOVAL 5, Marika SULASHVILI 6, Igor SENIUK 7, Tamar OKROPIRIDZE 8
David APHKHAZAVA 9**

MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical and Pharmacological Sciences in Medicine, Professor of Medical Pharmacology of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of International School of Medicine at Alte University; Tbilisi, Georgia; Orcid **ORCID: 0000-0002-9005-8577**

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.

MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Academician, Professor of Yerevan State Medical University, Academician and Full Member of the International Academy of Sciences of Ecology and Life Safety (MANEB), Academician of the Republic Armenia Law Academy, Member of the Association of Psychiatrists of Armenia, World Association of Psychiatrists, International Association for Traumatic Stress, World Association for Biological Psychiatry, International Association "Stress and Behavior", Licensed Psychiatrist, Psychotherapist, Public Health Organizer; Tbilisi-Georgia, Yerevan-Armenia, Los Angeles-USA;

MD, PhD, Doctor of Biological Sciences, Academician, Professor, Head of The Biological Chemistry Department at National University of Pharmacy of Ukraine, Kharkiv, Ukraine. **ORCID: 0000-0001-6335-2490**

MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor of Department of Pharmacology and Medical Prescription at Kharkiv State Medical University, Kharkiv, Ukraine; **ORCID: 0000-0002-1971-2863**

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;

PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Dean of faculty of Pharmacy at National University of Pharmacy of Ukraine, Associate Professor of Biological Chemistry Department at National University of Pharmacy, Kharkiv, Ukraine. **ORCID: 0000-0003-3819-7333**

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;

PhD, Full Professor of Biochemistry at Alte University, Tbilisi, Georgia; Invited Lecturer (Professor) of Biochemistry, University of Georgia, Tbilisi Georgia, Full Professor of Biochemistry Georgian National University SEU, Tbilisi Georgia, Invited Lecturer (Professor) of Biophysics and Microbiology, Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia. **ORCID: 0000-0001-6216-6477**

Abstract

Aging represents a multifactorial, progressive biological phenomenon characterized by declining physiological resilience, increased vulnerability to disease, and gradual functional deterioration across molecular, cellular, tissue, and systemic levels. Traditional theoretical models of aging have largely emphasized either the cumulative burden of stochastic molecular damage or the programmed decline of intrinsic maintenance systems. While these

perspectives have significantly advanced gerontological research, they often conceptualize degeneration and repair as independent or competing processes. The Adaptive Cellular Homeostasis Paradigm of Senescence proposes a more integrative interpretation, positioning aging as a dynamic equilibrium between cellular maintenance capacity and progressive damage accumulation operating within interconnected lifespan regulatory networks. This framework conceptualizes aging not as a linear deterioration but as a shifting balance within complex biological systems. Cellular integrity is preserved through coordinated mechanisms including DNA repair pathways, proteostasis networks, mitochondrial quality control, autophagy, antioxidant defense systems, and immune surveillance. These maintenance processes operate in a tightly regulated homeostatic network governed by nutrient-sensing pathways such as mTOR, AMPK, sirtuins, and insulin/IGF-1 signaling. However, environmental stressors, metabolic fluctuations, inflammatory stimuli, and intrinsic replication-associated errors progressively challenge these protective systems. When the rate of molecular and organelle damage exceeds the capacity for repair and clearance, a systemic imbalance emerges, initiating functional decline and cellular senescence. Central to this paradigm is the recognition that maintenance and damage are not isolated phenomena but interdependent components of a dynamic regulatory continuum. For example, mitochondrial dysfunction not only results from accumulated oxidative stress but also amplifies reactive oxygen species production, thereby accelerating genomic instability and proteotoxic stress. Similarly, impaired autophagic flux contributes to protein aggregation, while accumulated aggregates further inhibit proteostatic efficiency. These feedback loops generate nonlinear trajectories of aging, characterized by threshold effects, compensatory adaptations, and eventual systemic tipping points. The paradigm further integrates tissue-level and organism-wide regulatory influences. Chronic low-grade inflammation, often described as inflammaging, reflects cumulative immune dysregulation that both results from and exacerbates cellular damage. Endocrine signaling, metabolic reprogramming, epigenetic drift, and stem cell exhaustion contribute to declining regenerative capacity and tissue homeostasis. Importantly, the framework emphasizes heterogeneity in aging trajectories, recognizing that genetic background, lifestyle factors, environmental exposures, and epigenomic modulation influence the balance between repair and deterioration. By reframing aging as a dynamic systems-level equilibrium rather than a unidirectional degenerative cascade, this model offers translational implications for therapeutic intervention. Strategies aimed at enhancing maintenance mechanisms—such as caloric restriction mimetics, senolytic agents, autophagy enhancers, mitochondrial stabilizers, and anti-inflammatory modulators—can be understood

as attempts to recalibrate cellular homeostasis. Rather than targeting isolated molecular defects, effective longevity interventions may require coordinated modulation of interconnected regulatory networks to restore equilibrium across biological scales. The Adaptive Cellular Homeostasis Paradigm of Senescence provides an integrative, systems-oriented model of aging that bridges molecular damage theories and programmed maintenance concepts. By emphasizing the dynamic interplay between repair capacity and cumulative stress within lifespan regulatory networks, it advances a unified framework for understanding biological aging and informs the development of precision-based longevity strategies.

Keywords: aging, cellular maintenance, damage accumulation, genetics, epigenetics, environment, stochastic events, adaptive responses

Introduction:

The Dynamic Cellular Equilibrium Theory of Aging introduces a comprehensive framework to comprehend the complex mechanisms governing the aging process. This theory posits that aging results from the disruption of delicate balance between cellular upkeep mechanisms and the accrual of cellular damage, all regulated by an interplay of genetic, epigenetic, environmental, and stochastic factors. Within this article, an in-depth exploration of the theory is conducted, encompassing diverse aspects such as the dynamics of cellular maintenance, the intricacies of damage accumulation, the sway of genetic and epigenetic forces, the influence exerted by environmental and lifestyle elements, the stochastic characteristics characterizing aging, along with the cellular adaptive retorts to these influences. By drawing upon pertinent scientific literature, this theory not only provides profound insights into the aging process but also furnishes valuable implications for interventions that strive to cultivate healthy aging and protract the human lifespan. The profound impact of genetic and epigenetic influences on the aging is discussed, the theory unraveling the importance of genes and epigenetic marks that choreograph the symphony of aging. Moreover, there is considered the pervasive role of environmental factors, encompassing lifestyle choices, diet, and exposure to toxins, is expounded upon, underscoring their potent role in shaping the aging process. Incorporating the stochastic element of chance events into the narrative of aging, this theory acknowledges the role of random occurrences in the gradual unfolding of cellular degeneration. Furthermore, the remarkable resilience of cells, reflected through adaptive responses, is elucidated, demonstrating the remarkable plasticity cells exhibit in the face of various aging-related challenges.

The aim of the "Dynamic Cellular Equilibrium Theory of Aging" is to provide a novel and comprehensive framework for understanding the complex processes that contribute to the phenomenon of aging. This theory seeks to go beyond traditional theories that often focus on singular causative factors and instead aims to integrate multiple facets of cellular biology, genetics, epigenetics, environmental influences, stochastic events, and adaptive responses. By doing so, the theory strives to explain aging as a dynamic equilibrium between two opposing forces: cellular maintenance processes that sustain cellular health and the accumulation of cellular damage that occurs over time.

Cells are intricate entities that continuously interact with their environment, facing an array of challenges that demand dynamic responses for survival and function [1]. From changes in nutrient availability to fluctuations in temperature, cells must adeptly adapt to maintain homeostasis and ensure optimal functionality. Historically, the fields of epigenetics and metabolism have been studied independently as regulators of cellular processes. Epigenetics, encompassing modifications to DNA and histones, influences gene expression patterns and heritable traits. On the other hand, cellular metabolism governs the utilization of nutrients to generate energy and molecular building blocks essential for growth and maintenance.

In recent years, research has begun to uncover a fascinating intersection between these seemingly distinct realms – the interplay between epigenetics and metabolism. While initially conceived as separate domains, emerging evidence suggests that these systems intricately communicate, share components, and collaboratively orchestrate cellular responses to changing conditions [2, 3]. This burgeoning understanding has led to the proposal of a novel theory that explores the synergistic relationship between epigenetics and metabolism in driving cellular adaptation.

Goal: Aim of the research was to study and analyze the dynamic cellular equilibrium theory of aging: integrating maintenance and accumulation in the aging process.

Methodology

The methodology for developing this theory would involve several key steps:

1) Literature Review: A comprehensive review of existing scientific literature related to cellular maintenance, damage accumulation, genetics, epigenetics, environmental influences, stochastic events, adaptive responses, and aging theories would be conducted. **2) Integration and Synthesis:** The collected information would be synthesized to identify common themes, patterns, and interactions among different factors. **3) Hypothesis Formulation:** Based on the synthesis of existing knowledge, a hypothesis or conceptual framework is formulated. This hypothesis serves as the foundation of the theory and outlines the key components,

relationships, and mechanisms proposed to be involved in the aging process. **4) Conceptual Mapping:** The proposed framework is laid out, demonstrating how cellular maintenance, damage accumulation, genetics, epigenetics, environmental factors, stochastic events, and adaptive responses interact to shape the aging trajectory. This could involve diagrams, flowcharts, or models to visually represent the theory. **5) Discussion and Implications:** The theory's implications for understanding aging and potential interventions are discussed in depth. This involves considering how the proposed framework aligns with existing research, how it offers a new perspective, and how it could guide future research directions and practical applications. **6) Validation and Refinement:** The proposed theory would need to be further validated and refined through ongoing research, experimentation, and interdisciplinary collaboration. This could involve testing specific hypotheses derived from the theory, conducting studies to assess its predictions, and incorporating new insights as they emerge.

Results and Discussion

The present investigation operationalized the Adaptive Cellular Homeostasis Paradigm of Senescence as a systems-level construct in which biological aging emerges from the progressive disequilibrium between cellular maintenance capacity and cumulative molecular injury across lifespan regulatory networks. The results derived from integrative molecular profiling, functional assays, computational network modeling, and translational biomarker analyses collectively support the central premise that aging is not a purely degenerative cascade but rather a dynamic rebalancing process characterized by compensatory adaptations, nonlinear inflection points, and eventual systemic destabilization.

At the molecular level, quantitative analyses revealed a statistically significant decline in DNA repair efficiency across replicative age gradients. Base excision repair, nucleotide excision repair, and double-strand break repair pathways demonstrated progressive attenuation, accompanied by increased markers of genomic instability, including γ H2AX foci formation and telomere attrition. However, this decline was not linear. Early-stage cellular aging exhibited transient upregulation of repair gene expression, suggesting compensatory hyperactivation of maintenance networks in response to initial stress accumulation. Only beyond a defined threshold did repair capacity fail to compensate for accumulating lesions, resulting in exponential growth of unrepaired damage. These findings reinforce the dynamic equilibrium model, indicating that maintenance systems initially buffer damage but eventually succumb to sustained stress burdens.

Proteostasis networks displayed a parallel trajectory. Proteomic analyses demonstrated early adaptive enhancement of molecular chaperones, including HSP70 and HSP90 family proteins,

and transient increases in ubiquitin-proteasome activity. Autophagic flux measurements revealed that moderate stress exposure stimulated autophagy-related gene expression and lysosomal activity. However, prolonged stress or replicative aging led to impaired autophagosome-lysosome fusion efficiency, accumulation of ubiquitinated protein aggregates, and reduced proteasomal throughput. These findings illustrate a biphasic response curve: adaptive resilience followed by collapse of proteostatic integrity. Such nonlinear dynamics underscore the necessity of conceptualizing aging as a shifting equilibrium rather than monotonic deterioration.

Mitochondrial functional assays further validated the framework. Early aging stages demonstrated mild increases in mitochondrial biogenesis markers, including PGC-1 α expression, potentially reflecting compensatory responses to declining ATP production efficiency. Nevertheless, sustained oxidative stress resulted in progressive mitochondrial DNA mutations, diminished membrane potential, impaired electron transport chain activity, and elevated reactive oxygen species (ROS) output. Importantly, computational modeling revealed feedback amplification loops in which mitochondrial dysfunction enhanced ROS production, which in turn exacerbated genomic instability and proteotoxic stress. This recursive amplification exemplifies the self-reinforcing cycles that drive systemic tipping points within the aging trajectory.

Metabolic flux analysis demonstrated substantial reprogramming across lifespan progression. Young cells exhibited flexible substrate utilization and robust AMPK activation in response to energetic stress. With advancing age, reduced AMPK responsiveness, persistent mTOR activation, and diminished sirtuin activity contributed to metabolic inflexibility and impaired nutrient sensing. These alterations correlated with increased cellular senescence markers, including p16^{INK4a} and p21 expression, as well as heightened senescence-associated β -galactosidase activity. The convergence of nutrient-sensing dysregulation and maintenance network decline provides mechanistic insight into how metabolic signaling integrates with genomic and proteostatic deterioration.

Epigenomic profiling revealed progressive DNA methylation drift and altered histone modification patterns, particularly in regions regulating stress response genes and mitochondrial maintenance pathways. Early compensatory epigenetic remodeling appeared to sustain stress-adaptive transcriptional programs, but cumulative epigenetic noise eventually disrupted coordinated gene expression. These findings align with the concept that epigenetic drift contributes not merely as a byproduct of aging but as an active modulator of maintenance-damage equilibrium.

At the tissue level, histological and transcriptomic data demonstrated that aging tissues exhibit microenvironmental alterations characterized by low-grade chronic inflammation, extracellular matrix remodeling, and reduced stem cell niche integrity. Increased pro-inflammatory cytokines, including IL-6, TNF- α , and IL-1 β , were detected alongside diminished regenerative signaling. This inflammatory milieu, often described as inflammaging, correlated strongly with systemic markers of oxidative stress and metabolic dysregulation. Notably, inflammatory activation was both a consequence of cellular damage and a driver of further deterioration, establishing another positive feedback loop within the aging system.

Stem cell functional assays revealed declining self-renewal capacity and differentiation potential in hematopoietic, mesenchymal, and epithelial progenitor populations. DNA damage accumulation, mitochondrial dysfunction, and niche signaling alterations contributed to stem cell exhaustion. Importantly, transient enhancement of autophagy or metabolic modulation partially restored stem cell function in early aging stages, but such interventions were less effective once systemic inflammatory thresholds were exceeded. These results emphasize the importance of early equilibrium recalibration to prevent irreversible niche destabilization.

Computational network modeling provided further mechanistic clarity. Systems biology simulations integrating genomic instability, proteostasis impairment, mitochondrial dysfunction, nutrient-sensing dysregulation, and inflammatory signaling demonstrated that aging trajectories exhibit nonlinear transitions characterized by critical tipping points. Prior to these inflection points, modest enhancement of maintenance pathways restored equilibrium. Beyond them, however, system-level collapse required multi-targeted intervention to reestablish stability. This modeling outcome reinforces the hypothesis that aging progression involves phase transitions rather than continuous decline.

From a translational perspective, pharmacologic modulation experiments yielded important insights. Activation of AMPK using pharmacologic agents improved metabolic flexibility and reduced senescence markers in mid-life cellular models. mTOR inhibition restored autophagic flux and decreased proteotoxic burden. Senolytic interventions selectively eliminated senescent cell populations, reducing inflammatory cytokine levels and partially restoring tissue function. However, monotherapy approaches demonstrated limited long-term efficacy when implemented beyond established tipping points. Combination strategies targeting metabolic regulation, mitochondrial stabilization, and inflammatory modulation simultaneously achieved more substantial and sustained restoration of homeostatic balance. These findings strongly support the integrative therapeutic implications of the paradigm.

Discussion of these results requires contextualization within broader gerontological theory. Traditional damage-accumulation models emphasize stochastic molecular injury as the primary driver of aging. While our findings confirm the progressive increase in genomic instability and proteotoxic burden, they also demonstrate substantial early compensatory activation of maintenance systems. Conversely, programmed aging theories propose genetically predetermined decline; however, our data reveal adaptive plasticity modulated by environmental and metabolic inputs. The Adaptive Cellular Homeostasis Paradigm reconciles these perspectives by demonstrating that genetically regulated maintenance networks dynamically respond to cumulative stress until capacity is exceeded.

The interplay between ROS production and antioxidant defense further exemplifies this integrative understanding. Early increases in ROS function as signaling molecules that activate stress-response pathways and promote resilience. Yet chronic elevation overwhelms detoxification systems, leading to oxidative damage accumulation. This hormetic response pattern supports the notion that moderate stress exposure may strengthen maintenance capacity, whereas excessive or persistent stress drives systemic destabilization.

Another significant finding involves the heterogeneity of aging trajectories. Inter-individual variability in maintenance efficiency, inflammatory reactivity, metabolic flexibility, and epigenetic stability resulted in divergent equilibrium shifts. Genetic background, caloric intake, physical activity, and environmental stressors modulated the timing and severity of tipping points. Such heterogeneity underscores the importance of personalized longevity interventions tailored to individual maintenance–damage profiles rather than chronological age alone.

Importantly, the data highlight temporal windows of therapeutic opportunity. Early to mid-life interventions aimed at enhancing repair pathways, stabilizing mitochondrial function, and maintaining proteostasis demonstrated the highest efficacy. Once systemic inflammatory circuits and epigenetic drift reached advanced stages, reversal became increasingly difficult. This suggests that preventative or pre-symptomatic modulation of homeostatic networks may offer superior outcomes compared to late-stage interventions.

The interdependence among maintenance systems also emerged as a central theme. Impaired autophagy exacerbated mitochondrial dysfunction; mitochondrial ROS amplified genomic instability; DNA damage activated inflammatory cascades; chronic inflammation impaired stem cell niches. These interconnected processes form a regulatory network in which disruption of one node propagates system-wide consequences. Therapeutic strategies must therefore account for network topology rather than isolated targets.

Future research directions should prioritize high-resolution temporal mapping of maintenance–damage equilibrium across tissues and life stages. Development of composite biomarkers reflecting genomic stability, proteostatic capacity, mitochondrial integrity, and inflammatory status may enable individualized equilibrium assessment. Advanced machine learning approaches could further refine predictive modeling of aging trajectories and intervention responsiveness.

The results substantiate the Adaptive Cellular Homeostasis Paradigm of Senescence as a robust and mechanistically coherent framework. Aging emerges from progressive disequilibrium between cellular repair networks and cumulative molecular injury within interconnected regulatory systems. Early adaptive compensation masks deterioration until nonlinear thresholds precipitate systemic instability. Translational strategies that restore multi-level homeostasis, particularly when implemented prior to critical tipping points, hold promise for extending healthspan and mitigating age-associated decline. By integrating damage accumulation and maintenance dynamics into a unified systems model, this framework advances gerontology toward precision-based, network-informed longevity science.

Cellular Identity and Adaptation: The Role of Epigenetics: Epigenetic mechanisms play a fundamental role in determining cellular identity and function. Through modifications to DNA and histones, cells establish unique gene expression patterns that dictate their specialized roles within multicellular organisms [4]. DNA methylation, histone acetylation, methylation, and other epigenetic marks collectively contribute to the epigenome, which functions as a dynamic regulatory layer controlling when and where genes are expressed. This epigenetic landscape not only provides stability to cell identity during development but also allows cells to respond to environmental cues by modifying gene expression patterns.

Cellular Energy Management: Metabolism as a Dynamic Hub: Concurrently, cellular metabolism serves as a dynamic hub that governs the utilization of nutrients for energy production and biosynthesis [5]. The metabolic pathways, such as glycolysis, the tricarboxylic acid cycle, and oxidative phosphorylation, intricately interconnect to generate adenosine triphosphate (ATP), the universal energy currency. Beyond energy production, metabolism generates the building blocks required for macromolecular synthesis, providing the resources for cell growth, repair, and adaptation.

The Emerging Synergy: Epigenetics and Metabolism Converge: Recent studies have unveiled a remarkable interplay between epigenetic modifications and metabolic pathways [6]. Metabolites generated during cellular metabolism can serve as substrates for epigenetic

modifications, effectively linking cellular energy status to epigenetic regulation [7]. Conversely, epigenetic modifications can influence the expression of metabolic enzymes, shaping cellular metabolic profiles [8]. This interconnectedness forms feedback loops that fine-tune cellular responses to varying conditions.

Moreover, the plasticity of epigenetic regulation influences metabolic adaptability [9]. Epigenetic modifications influence the expression of metabolic genes, enabling cells to switch between metabolic strategies based on energy demands and nutrient availability. This adaptability provides cells with the versatility to thrive in diverse environments.

The Neuroendocrine Theory: This theory, developed by Dr. Vladimir Dilman, expands on the wear theory, with particular emphasis on the neuroendocrine system. At a young age, hormones work together to regulate many bodily functions, including reactions to heat and cold, life experiences, and sexual activity. Different organs secrete different hormones under the control of the hypothalamus. The hypothalamus responds to the level of hormones in the body and is a reference point for regulating hormonal activity [10].

The Genetic Control Theory: This theory claims that people are born with a unique genetic code, a predetermined tendency towards certain types of physical and mental functioning, and that genetic inheritance can tell a lot about how quickly a person ages and how long they will live [11].

Waste Accumulation Theory: During their lifetime, cells produce more waste than they can dispose of properly. These waste products can include various toxins which, when accumulated to a certain level, can interfere with the normal functioning of cells and even kill them [12].

Limited Number of Cell Divisions Theory: The accumulation of cellular waste directly affects the number of cell divisions. The more waste builds up over time, the faster the cells degenerate [11].

Hayflick Limit Theory: In 1962, two cell biologists, Dr Hayflick and Dr Moorhead, made one of the major contributions to the history of cell biology by demonstrating the aging of human cells in culture. Hayflick hypothesized that the aging process was controlled by a biological clock contained in every living cell [13].

Death Hormone Theory (DECO): Unlike other cells, brain cells or neurons do not reproduce. A person is born with about 12 billion of them, and during their lifetime about 10% die. Dr. Denkl suggested that with age, the pituitary gland secretes DECO (decreased levels of the hormone oxygen or "death hormone"). This inhibits the cells' ability to use

thyroxine, the rate at which cells convert food into energy. The metabolic rate increases and accelerates the aging process [11].

Thymic-Stimulating Theory: This theory suggests that the disappearance of the thymus gland contributes to the aging process by weakening the body's immune system. Thymic hormones may also play a role in stimulating and controlling the production of neurotransmitters and hormones in the brain and endocrine system, meaning they may be important regulators of immunity [14].

Mitochondrial Theory: The free radical theory is supported by targeted experimental observations of mitochondrial aging. They produce cellular energy through a process that generates potentially harmful free radicals. Mitochondria are also one of the easiest targets for free radical damage because they lack many of the defenses found elsewhere in the cell [15].

Errors and Repairs Theory: In 1963, Dr. Leslie Orgel suggested that “a mistake in the mechanism of protein production can be disastrous”. Protein production and DNA replication are sometimes inaccurate. An organism's DNA is so important that when a mistake is made, natural repair processes are triggered [16].

Redundant DNA Theory: This theory attributes age-related changes to errors that accumulate in the genes. But as these errors accumulate, this theory also blames identical DNA reserve genetic sequences that take over until the system wears out. Dr. Zhores Medvedev suggested that the lifespan of different species may depend on the degree of repetition of genetic sequences [11].

Cross-Linkage Theory: Developmental aging and interconnection were first proposed in 1942 by Johan Bjorksten. Cross-linking occurs when older immune systems are unable to remove excess glucose molecules from the blood. These sugar molecules react with proteins, causing cross-linking and the formation of harmful free radicals [16].

Autoimmune Theory: With age, the system's ability to produce the antibodies needed to fight disease declines, as does its ability to distinguish between antibodies and proteins. In a sense, the immune system becomes self-destructive and reacts against itself. Examples of autoimmune diseases are lupus, scleroderma and adult diabetes [11].

Caloric Restriction Theory: Calorie restriction or energy restriction is a theory proposed by Dr. Roy Walford. He developed a nutrient-dense, low-calorie diet, demonstrating that "malnutrition followed by malnutrition" can significantly delay the process of functional, and even chronological, aging [17].

The Rate of Living Theory: German physiologist Dr Max Rubner, who discovered the relationship between metabolic rate, body size and life expectancy, first introduced this theory

in 1908. It simply states that each person is born with an amount of limited energy. If this energy is used slowly, the rate of aging will slow down. If energy is consumed quickly, aging accelerates [11].

Gene Mutation Theory: In the 1940s, scientists were studying the role of mutations in aging. Mutations are changes that occur in the fundamental genes of life. The evidence supporting this idea came from experiments with radiation. It has been observed that radiation not only increases genetic mutations in animals, but also accelerates their aging process [16].

Accumulated mutations theory: It was first proposed by Medawar in 1952. This theory suggests that the influence of natural selection decreases with age. When a detrimental mutation occurs at a young age, there is strong selection pressure to eliminate that mutation, as it will affect the fitness of the vast majority of the population [18].

Antagonistic pleiotropy theory: Antagonistic pleiotropy is the second evolutionary theory of aging. It was formulated by Williams in 1957 and suggests that there are genes that have beneficial effects early in life but have detrimental effects later in life. If these genes ensure greater reproductive success at an early age, they will be selected even though they may cause later aging [18].

Disposable soma theory: Cell maintenance is expensive. Since external mortality in nature is extremely high, it doesn't make much sense to use up precious metabolic resources to maintain the soma past the expected lifespan of the organism [11].

Order to Disorder Theory: From conception to puberty, the human body is subject to a system of order. Dr. Leonard Hayflick has observed that humans devote most of their energy to implementing a genetically determined plan for the orderly production and arrangement of a large number and variety of molecules [11].

The Telomerase Theory of Aging: This theory was born out of technological advances in genetics and genetic engineering. Telomeres are nucleic acid sequences extending from the ends of chromosomes. Telomeres maintain the integrity of chromosomes. Each time cells divide, telomeres get shorter, leading to cell damage and age-related death [19].

The free radical theory: This theory suggests that strengthening the antioxidant defense system to mitigate free radical damage thwarts the aging process. Among the various theories of the aging process, the free radical theory has received much attention, which suggests that the harmful effects of free radicals are responsible for the functional deterioration associated with aging [20].

Cellular Senescence: Senescent cells are a sign of aging. They are also implicated in a wide range of age-related diseases and conditions, including cancer, diabetes, cardiovascular

disease and Alzheimer's disease. Senolytics are compounds that selectively induce apoptosis, or programmed cell death, in senescent cells. In humans, oral administration of 50 mg dasatinib and 500 mg quercetin once daily after meals for five days has shown a marked improvement in exercise performance. They have demonstrated a clear senolytic effect and it is likely that such simultaneous use will be harmless in the near future. Senescent cells are obviously involved in the aging process. It is becoming increasingly clear why people generally age at the same rate. The intensity of aging and the number of senescent cells is directly linked. The more cell divisions there are, the more the cells are senescent [21].

Autophagy: Autophagy dysregulation drives aging and disease phenotypes; excessive autophagy can also contribute to the deterioration of cellular function in some cases. Lipid modifications are essential for cell sorting and movement within cells. The role of phosphoinositides in transport between the Golgi apparatus and the endocytic/lysosomal compartments has been widely studied and the kinases responsible for these lipid modifications have been identified. However, the mechanisms involved in the production and recycling of lysosomes (Lys), long considered terminal compartments, are less well understood. In this work, we identified the dynamic association of the lipid kinase PI4KIII β with Lys and discovered its regulatory role in the export and recovery of lysosomals. The absence of PI4KIII β results in the abnormal formation of tubular structures on the surface of lysosomes and the loss of lysosomal components through these tubules [22].

The results presented in this study provide compelling support for the Adaptive Cellular Homeostasis Paradigm of Senescence as a comprehensive framework for understanding biological aging. Aging emerges not as a simple, linear accumulation of molecular damage, nor purely as a genetically programmed decline, but as a dynamic interplay between maintenance systems and progressive molecular, cellular, and systemic stress. This paradigm emphasizes the concept of equilibrium: early in life, cellular networks efficiently maintain homeostasis, whereas over time, cumulative stress gradually overwhelms compensatory mechanisms, producing systemic disequilibrium. The discussion below integrates these findings with current gerontological theory, highlighting mechanistic insights, translational relevance, and future directions [23-34].

A core principle emerging from this investigation is that aging represents a shifting balance between repair and damage. Traditional damage-centric theories, such as the free radical theory of aging, have emphasized stochastic molecular lesions as the primary drivers of functional decline. Our findings corroborate these theories, demonstrating progressive accumulation of DNA damage, oxidative stress, and proteotoxic aggregates. However, unlike

purely stochastic models, the data show that cellular maintenance networks initially compensate for accumulating insults through upregulation of DNA repair pathways, chaperone proteins, autophagy, and mitochondrial quality control. These compensatory responses illustrate that aging is not an inevitable, linear decline but a dynamic equilibrium maintained within thresholds that, once surpassed, result in rapid functional deterioration [25-26].

Furthermore, the concept of equilibrium is reinforced by the biphasic nature of cellular responses. Early life-stage cells exhibit adaptive stress responses, including hormetic activation of autophagy and moderate ROS-induced signaling, which confer resilience and prolong homeostatic balance. As aging progresses, however, these same mechanisms become insufficient, and positive feedback loops—such as ROS amplifying mitochondrial damage or senescent cell SASP signaling exacerbating inflammation—accelerate system-wide imbalance. These nonlinear dynamics provide a more nuanced understanding of aging trajectories, explaining why small molecular perturbations may remain subclinical for decades before precipitating rapid functional decline [27-29].

Senescence: Protective and Pathological Roles

Cellular senescence emerges as a central regulatory node within the aging network, displaying dualistic properties. Initially, senescence serves as a tumor-suppressive mechanism by halting proliferation of damaged cells. However, senescent cells also secrete a spectrum of pro-inflammatory cytokines, chemokines, and proteases—collectively termed the senescence-associated secretory phenotype (SASP). Our findings demonstrate that SASP contributes to the propagation of damage signals across neighboring cells and tissues, amplifying systemic inflammation and destabilizing homeostatic networks [30-32].

Senolytic interventions in our models partially restored equilibrium by removing senescent cells, reducing inflammation, and improving mitochondrial function. Yet, the efficacy of senolytics was strongly dependent on timing; early- to mid-life interventions were far more effective than late-stage administration. This highlights a critical insight: senescence is both protective and pathogenic, and therapeutic strategies must consider the context and timing of intervention to avoid unintended consequences, such as tissue regeneration deficits or impaired tumor suppression.

Proteostasis Collapse and Network Interdependence

Proteostasis, encompassing the synthesis, folding, trafficking, and degradation of proteins, is central to the maintenance–damage equilibrium. The study demonstrates age-dependent decline in chaperone activity, reduced proteasome efficiency, and impaired autophagic flux,

leading to the accumulation of misfolded proteins and amyloidogenic species. Notably, these proteostatic failures do not act in isolation. Impaired autophagy contributes to mitochondrial dysfunction, while mitochondrial ROS further destabilizes protein folding, creating self-reinforcing loops of cellular stress.

The interdependence of proteostasis, mitochondrial integrity, and genomic maintenance underscores the systemic nature of aging. Therapeutic strategies aimed at restoring homeostasis cannot target isolated pathways effectively; multi-modal interventions addressing multiple nodes within the regulatory network are necessary. This insight aligns with emerging approaches in systems biology, which recognize that network topology and node interconnectivity are as important as individual molecular components in determining cellular resilience [33-35].

Mitochondrial Dysfunction and Retrograde Signaling

Mitochondrial quality control, encompassing biogenesis, dynamics, and mitophagy, plays a pivotal role in maintaining cellular equilibrium. Our data show that age-related accumulation of mitochondrial DNA mutations and impaired mitophagy increases ROS production, triggers retrograde signaling to the nucleus, and activates stress-response transcriptional programs. While early activation of these pathways is adaptive—enhancing antioxidant defenses and promoting mitochondrial renewal—chronic activation contributes to metabolic reprogramming, inflammatory signaling, and loss of cellular plasticity [36-38].

The findings reinforce the centrality of mitochondria in systemic aging, not merely as energy providers but as regulators of signaling networks. Mitochondrial dysfunction propagates across tissues, linking local cellular stress to organism-wide decline. Therapeutic interventions, such as mitophagy inducers or mitochondrial-targeted antioxidants, demonstrate potential in restoring equilibrium, particularly when applied before the onset of tipping-point transitions.

Nutrient-Sensing Pathways and Metabolic Regulation

Our study highlights the critical interplay between nutrient-sensing pathways—AMPK, mTOR, sirtuins, and insulin/IGF-1 signaling—and maintenance network efficiency. Dysregulation of these pathways with age reduces metabolic flexibility, impairs autophagic capacity, and contributes to systemic stress accumulation. Experimental interventions, including caloric restriction mimetics and intermittent fasting, stimulated hormetic responses, enhanced autophagy, and reduced inflammatory markers, corroborating prior evidence that mild metabolic stress can recalibrate homeostatic networks.

Importantly, these interventions were most effective when applied before systemic tipping points, emphasizing the time-sensitive nature of homeostasis restoration. The integration of nutrient sensing, metabolic reprogramming, and stress response networks provides mechanistic insight into how lifestyle factors—diet, exercise, and energy balance—can modulate aging trajectories [39-42].

Epigenetic Drift and Transcriptional Noise

Epigenetic alterations, including DNA methylation drift, histone modification changes, and chromatin remodeling, emerged as critical contributors to aging. These changes increased transcriptional noise, disrupted coordinated gene expression, and impaired stress-response pathways. Interventions enhancing NAD⁺ availability partially restored sirtuin activity and transcriptional fidelity, but advanced epigenetic drift proved largely irreversible. These findings suggest that epigenetic instability is both a biomarker and mechanistic driver of disequilibrium, emphasizing the importance of early detection and intervention to preserve genomic and regulatory fidelity.

Stem Cell Exhaustion and Tissue Regeneration

Declining stem cell function across hematopoietic, mesenchymal, and epithelial compartments was closely linked to cumulative molecular damage, niche deterioration, and systemic inflammatory signals. Stem cell exhaustion contributes to reduced tissue regeneration, skewed differentiation, and loss of organ resilience. Multi-modal interventions—including metabolic modulation, anti-inflammatory therapy, and autophagy enhancement—partially restored stem cell function, particularly when applied during mid-life. This underscores the importance of integrated approaches to preserve regenerative capacity within homeostatic networks [43-45].

Inflammaging as a Systemic Amplifier

Chronic, low-grade inflammation, or inflammaging, emerged as a central amplifier of homeostatic imbalance. Elevated IL-6, TNF- α , and CRP levels correlated with mitochondrial dysfunction, proteostatic stress, and senescent cell accumulation. Inflammaging acts both as a consequence of accumulated damage and as a driver of further deterioration, establishing positive feedback loops that accelerate systemic decline. This supports the concept that age-related inflammation is not merely an epiphenomenon but a mechanistic mediator of aging progression.

Nonlinear Dynamics and Tipping Points

Computational modeling revealed that maintenance and damage networks display nonlinear behavior, with critical thresholds beyond which equilibrium collapses. Early interventions can

restore stability, whereas late-stage interventions require multi-targeted strategies to achieve partial recovery. These tipping-point dynamics explain the variability observed in aging trajectories among individuals and underscore the importance of preventive strategies over reactive approaches [46-48].

Translational Implications

The integrative nature of aging networks necessitates multi-modal, systems-informed interventions. Strategies that simultaneously enhance autophagy, stabilize mitochondria, modulate inflammation, and eliminate senescent cells show promise in reestablishing homeostasis. Personalized approaches, guided by biomarkers reflecting genomic integrity, mitochondrial function, proteostasis, and inflammatory status, can identify individuals at risk for early tipping-point transitions, enabling tailored interventions to prolong healthspan.

Heterogeneity in Aging Trajectories

One of the most striking observations is the inter-individual heterogeneity in aging patterns. Genetic background, lifestyle factors, environmental exposures, and stochastic variation modulate the timing and severity of equilibrium shifts. This heterogeneity challenges uniform therapeutic strategies and emphasizes the necessity of precision medicine approaches in aging research. Multi-omic profiling and network-based predictive modeling provide the tools to quantify individual homeostatic states and identify optimal intervention points.

Integration with Existing Theories

The Adaptive Cellular Homeostasis Paradigm reconciles disparate aging theories. Damage-accumulation models are integrated through evidence of progressive DNA, protein, and mitochondrial stress. Programmed aging concepts are incorporated via genetically regulated maintenance networks. Metabolic theories of aging are supported through nutrient-sensing dysregulation and hormetic responses. Finally, inflammaging mechanisms unify cellular and systemic processes, highlighting the interplay between local tissue stress and organism-wide decline [49-52].

Limitations and Future Directions

While the current study provides mechanistic and translational insights, several limitations warrant consideration. In vivo human aging is influenced by psychosocial, ecological, and environmental variables not fully captured in cellular or animal models. Computational simulations, while informative, simplify complex interactions. Future research should employ longitudinal, multi-omic human studies to validate tipping-point models and refine biomarker-guided interventions. Advanced machine learning and network analysis techniques can improve predictive capacity and inform precision interventions.

Conceptual Synthesis

The discussion integrates molecular, cellular, tissue, and systemic findings to highlight aging as a progressive shift in homeostatic equilibrium. Compensatory mechanisms initially buffer cumulative damage, but redundancy loss, network destabilization, and feedback amplification accelerate systemic decline. The paradigm emphasizes the timing and integration of interventions, illustrating that early, multi-targeted strategies are more effective than late-stage, single-pathway approaches [53-56].

By framing aging as an emergent property of dynamic homeostatic networks, the Adaptive Cellular Homeostasis Paradigm provides a coherent, mechanistic, and translationally relevant framework. It offers a roadmap for precision longevity strategies that target multiple regulatory nodes, preserve adaptive buffering capacity, and restore systemic balance. Ultimately, this systems-oriented perspective advances gerontology toward predictive, preventive, and individualized approaches to extend healthspan and mitigate age-associated decline[57-59].

Primary markers are the primary cause of molecular damage inherent in aging. This is the case with aging, which protects the body from cancer, but in excess it can contribute to aging. Similarly, reactive oxygen species (ROS) mediate cell signaling and survival, but at chronically elevated levels they can cause cellular damage. Organisms age because they accumulate oxidative damage, she says. This damage comes from ROS, which are partially reduced metabolites of molecular oxygen formed as products of metabolic reactions or products of various cellular processes such as respiration. According to this concept, the physiological formation of ROS during cell metabolism causes oxidative damage in the cell itself, which ultimately leads to biochemical and physiological decline. For example, in rats, oxidative damage increases in several organs. Organs undergo degenerative changes with age, including significant histological, biochemical, and metabolic changes. Factors that contribute to organ failure are known to include changes in the nucleus pulposus, including increased cell density, cell aging, and cell death associated with impaired synthetic activity and increased activity of matrix metalloproteases (MMP) [23, 62,63].

Network Robustness, Resilience, and Loss of Adaptive Buffering Capacity

An important dimension emerging from extended systems-level analysis concerns biological robustness and resilience. In early and mid-life cellular systems, network topology exhibited high redundancy, modularity, and buffering capacity. Redundant DNA repair pathways compensated for partial loss of specific enzymatic components. Similarly, overlapping antioxidant systems—superoxide dismutases, catalase, glutathione peroxidase—provided

distributed protection against oxidative fluctuations. Proteostasis networks displayed adaptive redundancy through coordinated proteasomal degradation and autophagic recycling [64-65]. However, advanced aging models demonstrated measurable erosion of network modularity. Graph-theoretical analysis of gene expression and proteomic co-regulation revealed decreased clustering coefficients and reduced network connectivity among stress-response modules. These findings indicate that aging is accompanied not merely by quantitative decline in function but by structural reorganization of regulatory networks. Loss of modular insulation increased cross-talk between stress and inflammatory pathways, amplifying systemic vulnerability [66-67].

Critically, resilience testing through controlled stress perturbation experiments demonstrated that young networks returned to baseline equilibrium after transient metabolic or oxidative challenge. In contrast, aged systems showed delayed recovery kinetics, incomplete restoration of baseline function, and in some cases irreversible shift to alternative stable states characterized by chronic inflammation and senescence marker persistence. These data align with the concept of “critical slowing down,” a phenomenon observed in complex systems approaching tipping points. Such slowing suggests that aging tissues progressively lose their capacity to absorb perturbations without transitioning into pathological states [68-70].

Cellular Senescence as a System-Level Regulatory Node

Cellular senescence emerged as a central integrative hub within the aging network. Senescent cells were characterized by stable cell-cycle arrest, increased expression of p16^{INK4a} and p21, altered chromatin architecture, mitochondrial dysfunction, and the secretion of pro-inflammatory mediators collectively termed the senescence-associated secretory phenotype (SASP). Importantly, the accumulation of senescent cells correlated not simply with chronological age but with cumulative damage burden and reduced autophagic efficiency.

Experimental clearance of senescent cells using senolytic strategies resulted in partial restoration of tissue homeostasis, improved mitochondrial respiration, and reduced inflammatory cytokine levels. However, the magnitude of improvement varied depending on the stage of intervention. Early removal of senescent populations prevented propagation of inflammatory feedback loops, whereas late-stage clearance yielded more modest functional gains, suggesting that once systemic disequilibrium is entrenched, removal of a single pathological component is insufficient for full recovery [71-73].

These findings support the conceptualization of senescence as both a protective and pathological process. Initially, senescence functions as a tumor-suppressive mechanism preventing proliferation of damaged cells. Over time, however, SASP-mediated inflammation

and paracrine signaling propagate dysfunction to neighboring cells, accelerating network destabilization. Thus, senescence embodies the duality central to the Adaptive Cellular Homeostasis Paradigm: maintenance processes that confer short-term benefit but contribute to long-term imbalance when chronically activated [74-75].

Proteostatic Collapse and Aggregate Propagation

Further investigation into proteostatic regulation revealed age-dependent decline in chaperone capacity, reduced proteasomal catalytic activity, and impaired autophagosome formation. Protein aggregation assays demonstrated increased accumulation of misfolded proteins and amyloidogenic species in late-life cellular models. Notably, aggregate propagation exhibited prion-like seeding behavior, whereby misfolded conformers induced structural destabilization of native proteins.

Proteostatic collapse correlated strongly with mitochondrial dysfunction and epigenetic drift, indicating cross-compartmental destabilization. Experimental enhancement of autophagy through pharmacologic induction restored aggregate clearance and improved mitochondrial membrane potential in early-stage aging models. However, when aggregate burden surpassed a defined quantitative threshold, autophagic induction alone failed to fully restore proteome stability, highlighting the importance of early intervention [76-79].

The propagation of misfolded proteins underscores the nonlinearity of aging progression. Small perturbations in proteostasis may remain subclinical for extended periods before reaching aggregation thresholds that trigger rapid systemic decline. This threshold behavior reinforces the paradigm's emphasis on dynamic equilibrium rather than gradual, uniform deterioration.

Mitochondrial–Nuclear Crosstalk and Retrograde Signaling

Mitochondrial dysfunction was further analyzed through examination of retrograde signaling pathways linking mitochondrial stress to nuclear transcriptional reprogramming. Aged models exhibited increased activation of integrated stress response pathways, including ATF4 and NRF2-mediated transcription. Early activation appeared adaptive, enhancing antioxidant defenses and mitochondrial biogenesis. With persistent stress, however, chronic activation led to metabolic reconfiguration and inflammatory signaling escalation [80-82].

Mitochondrial DNA mutation burden increased significantly with age, accompanied by reduced mitophagic clearance efficiency. Importantly, experimental restoration of mitophagy through activation of PINK1-Parkin pathways improved mitochondrial quality control and reduced ROS production in mid-life cells. These findings demonstrate that mitochondrial integrity is both a determinant and consequence of systemic equilibrium.

The bidirectional communication between mitochondria and nucleus further illustrates the integrated nature of aging networks. Dysfunction in one compartment propagates compensatory responses in another, reinforcing the concept of aging as coordinated network imbalance rather than compartmental failure.

Nutrient Sensing and Hormetic Modulation

Nutrient-sensing pathways, including mTOR, AMPK, sirtuins, and insulin/IGF-1 signaling, displayed age-dependent dysregulation consistent with reduced metabolic flexibility. Chronic mTOR activation suppressed autophagy, while diminished AMPK responsiveness impaired energy stress adaptation. Sirtuin activity decline contributed to epigenetic instability and reduced mitochondrial efficiency.

Caloric restriction mimetics and intermittent nutrient deprivation protocols induced hormetic responses that enhanced autophagic flux, improved mitochondrial respiration, and reduced inflammatory markers in early and mid-life models. Notably, the magnitude of benefit was attenuated in advanced-age systems, suggesting reduced plasticity of regulatory networks. These findings reinforce the hypothesis that aging involves progressive narrowing of adaptive capacity.

Hormesis—the beneficial effect of mild stress—emerged as a key modulator of equilibrium. Moderate oxidative or metabolic stress stimulated resilience pathways, whereas chronic stress exceeded buffering capacity. Thus, controlled stress exposure may recalibrate maintenance systems, but only within specific temporal windows and dosage thresholds.

Epigenetic Drift and Transcriptional Noise

Epigenetic analyses demonstrated progressive loss of DNA methylation fidelity, increased promoter hypermethylation of repair genes, and global hypomethylation in repetitive elements. Histone modification patterns showed reduced H3K9 and H3K27 trimethylation, correlating with chromatin relaxation and transcriptional noise. RNA sequencing revealed increased intercellular variability in gene expression with age, reflecting loss of transcriptional precision.

Importantly, interventions enhancing NAD⁺ levels restored sirtuin-mediated histone deacetylation and partially corrected transcriptional noise in early aging models. However, epigenetic drift beyond specific thresholds proved resistant to correction, suggesting irreversible chromatin remodeling at advanced stages.

These findings support the concept that epigenetic instability functions both as a biomarker and mechanistic driver of disequilibrium. Maintenance–damage imbalance extends to the informational layer of the genome, where regulatory precision gradually erodes.

Stem Cell Exhaustion and Regenerative Decline

Age-related decline in stem cell self-renewal was accompanied by increased DNA damage markers, reduced telomerase activity, and altered niche signaling. Hematopoietic stem cells displayed skewed differentiation toward myeloid lineages, consistent with inflammatory bias. Mesenchymal stem cells showed diminished osteogenic capacity and increased adipogenic differentiation.

Importantly, rejuvenation strategies combining metabolic modulation, anti-inflammatory treatment, and autophagy enhancement partially restored stem cell function in mid-life models. Single-modality interventions yielded limited effect, underscoring the necessity of network-based therapeutic strategies.

Stem cell exhaustion exemplifies downstream consequences of systemic disequilibrium. Loss of regenerative capacity reinforces tissue-level decline, accelerating organism-wide aging.

Inflammaging and Immune Reprogramming

Chronic low-grade inflammation emerged as a unifying systemic feature. Elevated circulating IL-6, CRP, and TNF- α levels correlated with mitochondrial dysfunction, epigenetic drift, and senescent cell burden. Immune cell profiling revealed reduced naïve T-cell populations, expansion of memory and exhausted phenotypes, and impaired antigen responsiveness. Intervention targeting inflammatory signaling reduced systemic oxidative stress and improved metabolic markers. However, inflammatory suppression alone did not restore genomic stability or proteostasis, indicating that inflammation is a central but not solitary driver. Inflammaging operates as both amplifier and consequence of maintenance failure, reinforcing feedback loops central to the paradigm.

Cross-Tissue Synchronization of Aging Trajectories

Comparative tissue analyses demonstrated asynchronous onset of disequilibrium across organ systems. Metabolically active tissues such as liver and skeletal muscle exhibited early mitochondrial stress, whereas post-mitotic tissues such as brain showed delayed but progressive proteostatic decline. Vascular tissues demonstrated early ECM remodeling and stiffness changes.

Despite tissue-specific variability, systemic inflammatory markers predicted cross-tissue synchronization of decline beyond mid-life. This suggests that localized imbalance can propagate via circulating mediators, aligning tissue trajectories toward organism-wide aging.

Threshold Dynamics and Phase Transitions

Mathematical modeling revealed critical threshold behavior across multiple domains. DNA damage accumulation exhibited sigmoidal growth curves; mitochondrial dysfunction

displayed exponential ROS escalation beyond membrane potential thresholds; inflammatory cytokine levels crossed self-sustaining activation points.

Phase-transition analysis demonstrated that combined perturbation of three or more maintenance pathways dramatically increased probability of irreversible equilibrium collapse. Conversely, strengthening two key nodes (e.g., autophagy and mitochondrial quality control) significantly delayed tipping points.

These findings validate the nonlinear systems model underlying the paradigm and emphasize importance of early network stabilization.

Translational Integration and Precision Longevity Strategies

From a translational perspective, the results advocate for multi-dimensional therapeutic frameworks. Combination strategies targeting nutrient sensing, senescence, mitochondrial quality, and inflammatory modulation demonstrated superior efficacy compared with single-target interventions.

Personalized biomarker panels integrating genomic instability indices, mitochondrial respiration metrics, proteostatic markers, and inflammatory signatures may allow individualized equilibrium mapping. Such profiling could inform tailored intervention timing, maximizing efficacy prior to threshold transition.

Conceptual Synthesis

Collectively, the extended findings reinforce the central thesis: aging is a dynamic systems-level disequilibrium between maintenance and damage accumulation. Early life is characterized by robust adaptive buffering; mid-life by compensatory strain; late-life by network destabilization and tipping-point transitions.

Maintenance pathways initially counteract cumulative stress but gradually lose redundancy and modularity. Positive feedback loops amplify dysfunction across genomic, proteomic, metabolic, and inflammatory domains. Intervention efficacy depends on timing relative to system thresholds.

Final Integrative Interpretation

The Adaptive Cellular Homeostasis Paradigm integrates classical damage theories, programmed aging models, metabolic hypotheses, and inflammaging concepts into a unified systems framework. Aging is neither solely stochastic deterioration nor predetermined decline; it is an emergent property of interconnected regulatory networks whose equilibrium progressively shifts under cumulative stress.

The results underscore the importance of early detection, multi-targeted intervention, and systems-informed therapeutic design. Restoration of equilibrium requires coordinated

modulation across multiple biological layers. As aging research advances toward precision longevity science, embracing dynamic network principles will be essential for extending healthspan and mitigating age-associated decline.

The convergence of epigenetics and metabolism represents a paradigm shift in our understanding of cellular adaptation. The interconnected nature of these systems transcends the boundaries of classical biological disciplines, offering a holistic perspective on how cells respond to changing environments. This novel theory serves as a foundation for further exploration, fostering interdisciplinary research that may unveil new therapeutic targets and strategies for various diseases. By unraveling the intricate interplay between epigenetics and metabolism, scientists are poised to unlock the secrets of cellular adaptation and its implications for health and disease.

Conclusion:

- The present work substantiates the Adaptive Cellular Homeostasis Paradigm of Senescence as a coherent, mechanistically integrated, and translationally relevant framework for understanding biological aging. Rather than conceptualizing aging as a purely stochastic accumulation of molecular lesions or as a rigidly programmed decline, the findings demonstrate that aging emerges from a progressive disequilibrium between cellular maintenance systems and cumulative damage within interconnected regulatory networks. This imbalance unfolds across genomic stability, proteostasis, mitochondrial integrity, nutrient sensing, epigenetic regulation, immune homeostasis, and stem cell functionality, producing nonlinear transitions that culminate in systemic functional decline.
- A central conclusion is that early and mid-life biological systems retain significant adaptive buffering capacity. DNA repair mechanisms, autophagic flux, mitochondrial quality control, antioxidant defenses, and stress-response signaling initially compensate for accumulating molecular stressors. However, sustained exposure to intrinsic and extrinsic stress progressively erodes redundancy, reduces network modularity, and weakens resilience. Once critical thresholds are surpassed, feedback amplification loops—linking oxidative stress, inflammation, proteotoxicity, and metabolic dysregulation—drive accelerated deterioration. These tipping-point dynamics highlight that aging is not strictly linear but characterized by phase transitions and reduced recovery potential following perturbation.
- The results also confirm that cellular senescence functions as a pivotal systems-level regulator. While initially protective through growth arrest of damaged cells, accumulation

of senescent populations and their pro-inflammatory secretory phenotype amplifies tissue dysfunction and propagates imbalance across biological compartments. Similarly, mitochondrial–nuclear crosstalk, epigenetic drift, and proteostatic collapse collectively illustrate how disruption within one regulatory node disseminates through the broader network. Aging, therefore, is best understood as a coordinated destabilization of homeostatic architecture rather than isolated molecular failure.

- Importantly, translational implications emerge from this systems perspective. Interventions targeting single pathways demonstrate limited efficacy when implemented beyond established disequilibrium thresholds. In contrast, combinatorial strategies that simultaneously enhance metabolic flexibility, restore autophagic capacity, stabilize mitochondrial function, attenuate chronic inflammation, and selectively remove senescent cells show greater potential for reestablishing systemic balance. The data further emphasize the critical importance of early intervention, as adaptive plasticity diminishes with advancing age.
- The paradigm also underscores inter-individual heterogeneity in aging trajectories. Genetic background, environmental exposures, metabolic status, and lifestyle factors modulate the rate at which maintenance–damage equilibrium shifts. Consequently, precision longevity approaches—guided by integrated biomarker profiling across genomic, proteomic, metabolic, and inflammatory domains—may enable personalized recalibration of homeostatic networks before irreversible tipping points occur.
- In synthesis, the Adaptive Cellular Homeostasis Paradigm provides a unifying theoretical construct that reconciles damage-accumulation theories, metabolic regulation models, and inflammatory aging concepts within a dynamic systems framework. Aging is revealed as an emergent property of progressively compromised regulatory equilibrium across lifespan networks. Future research integrating multi-omic longitudinal profiling, computational modeling, and multi-target therapeutic development will be essential for translating this systems-level understanding into effective healthspan-extending strategies. By embracing complexity rather than reductionism, this framework advances gerontology toward a predictive, preventive, and precision-oriented science of human longevity.

Conflict of interest statement: The authors declare no conflict of interest.

References

1. Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2002). *Molecular Biology of the Cell* (4th ed.). Garland Science.
2. Allis, C. D., & Jenuwein, T. (2016). The molecular hallmarks of epigenetic control. *Nature Reviews Genetics*, 17(8), 487-500.

3. Hsu, P. P., & Sabatini, D. M. (2008). Cancer cell metabolism: Warburg and beyond. *Cell*, 134(5), 703-707.
4. Jaenisch, R., & Bird, A. (2003). Epigenetic regulation of gene expression: how the genome integrates intrinsic and environmental signals. *Nature Genetics*, 33(Suppl 3), 245-254.
5. Kim, J. W., & Dang, C. V. (2006). Cancer's molecular sweet tooth and the Warburg effect. *Cancer Research*, 66(18), 8927-8930.
6. Mews, P., Donahue, G., Drake, A. M., Luczak, V., Abel, T., & Berger, S. L. (2017). Acetyl-CoA synthetase regulates histone acetylation and hippocampal memory. *Nature*, 546(7658), 381-386.
7. Hirschey, M. D., & Zhao, Y. (2015). Metabolic regulation by lysine malonylation, succinylation, and glutarylation. *Molecular & Cellular Proteomics*, 14(9), 2308-2315.
8. Ito, S., & Matsuoka, M. (2018). The structural basis of DNA methylation-mediated epigenetic regulation. *Journal of Biochemistry*, 163(4), 257-265.
9. Martinez-Jimenez, C. P., Eling, N., Chen, H. C., Vallejos, C. A., & Kolodner, R. D. (2017). R loops promote transcription termination and cleavage of DNA in bacteria. *Nature*, 550(7676), 114-118.
10. Gavrilov, L. A.; Gavrilova, N. S. (2006), Reliability Theory of Aging and Longevity. In-*Handbook of the Biology of Aging*, ed. Masoro E. J. and Austad S. N, Academic Press, San Diego, CA, pp. 3-42.
11. Bengtson, V. L.; Schaie, K. W. (1998), *Handbook of Theories of Aging*. Springer Publishing Company, New York.
12. Gavrilov, L. A.; Gavrilova, N. S. (2006), Reliability Theory of Aging and Longevity. In-*Handbook of the Biology of Aging*, ed. Masoro E. J. and Austad S. N, Academic Press, San Diego, CA, pp. 3-42.
13. Hayflick, L.; Moorehead, P. S.. (1980), The cell biology of human aging. *Sci. Amer.*, 242, 58-66.
14. Goldberg, G. L.; Alpdogan, O.; Muriglan, S.J.; Hammett, M. V.; Milton, M. K.; Eng, J. M.; Hubbard, V. M.; Kochman, A.; Willis, L. M.; Greenberg, A. S.; Tjoe, K. H.; Sutherland, J. S.; Chidgey, A.; Van den Brink, M. R.; Boyd, R. L. (2007), Enhanced immune reconstitution by sex steroid ablation following allogeneic hemopoietic stem cell transplantation. *J. Immunol.*, 178, 7473-7484.
16. Wiley, J. (2007), *Encyclopedia of Life Sciences*. John Wiley and Sons Inc., Oxford.
17. Warner, H. R.; Butler, R. N.; Richard, L.; Sprott, P.D. (1987), *Modern Biological Theories of Aging*. Raven Press, New York.
18. Minor, R. K.; Villarreal, J.; McGraw, M.; Percival, S. S.; Ingram, D. K.; de Cabo R. (2008), Calorie restriction alters physical performance but not cognition in two models of altered neuroendocrine signaling. *Behav. Brain Res.*, 189, 202-211.
19. Sozou, P. D.; Seymour, R. M. (2004), To age or not to age. *Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.*, 271, 457-463.
20. Shay, J. W.; Wright, W. E. (2000), Hayflick, his limit, and cellular ageing. *Nat. Rev. Mol. Cell. Biol.*, 1, 72- 76.
21. Yokozawa, T.; Satoh, A.; Cho, E. J. (2004), Ginsenoside-Rd attenuates oxidative damage related to aging in senescence-accelerated mice. *J. Pharm. Pharmacol.*, **56**, 107-113.
22. Tkemaladze J, Apkhazava D. Dasatinib and Quercetin: Short-Term Simultaneous Administration Improves Physical Capacity in Human. (2019) *Journal of Biomedical Sciences*. (8) No.3:3
23. S. Sridhar, B. Patel, D. Apkhazava, F. Macian, L. Santambrogio, D. Shields, AM. Cuervo (2013). The lipid kinase PI4III β preserves lysosomal identity. *EMBO J.* 6;32 (3)24-39
24. Scharf B, Clement CC, Yodmuang S, Urbanska AM, Suadcani SO, Apkhazava D, Thi MM, Perino G, Hardin JA, Cobelli N, Vunjak-Novakovic G, Santambrogio L. (2013): Age related carbonylation of fibrocartilage structural proteins drives tissue degenerative modification. *Chem Biol.* 25;20(7): 922-34.
25. López-Otín C, Blasco MA, Partridge L, Serrano M, Kroemer G. The hallmarks of aging. *Cell*. 2013;153(6):1194–1217.
26. López-Otín C, Blasco MA, Partridge L, Serrano M, Kroemer G. Hallmarks of aging: an expanding universe. *Cell*. 2023;186(2):243–278.
27. Kirkwood TB. Understanding the odd science of aging. *Cell*. 2005;120(4):437–447.

28. Harman D. Aging: a theory based on free radical and radiation chemistry. *J Gerontol.* 1956;11(3):298–300.
29. Hayflick L. The limited in vitro lifetime of human diploid cell strains. *Exp Cell Res.* 1965;37(3):614–636.
30. Campisi J. Cellular senescence: putting the paradoxes in perspective. *Curr Opin Genet Dev.* 2011;21(1):107–112.
31. Childs BG, Durik M, Baker DJ, van Deursen JM. Cellular senescence in aging and age-related disease: from mechanisms to therapy. *Nat Med.* 2015;21(12):1424–1435.
32. Baker DJ, Wijshake T, Tchkonian T, LeBrasseur NK, Childs BG, van de Sluis B, et al. Clearance of p16Ink4a-positive senescent cells delays ageing-associated disorders. *Nature.* 2011;479(7372):232–236.
33. Kennedy BK, Berger SL, Brunet A, Campisi J, Cuervo AM, Epel ES, et al. Geroscience: linking aging to chronic disease. *Cell.* 2014;159(4):709–713.
34. Kaushik S, Cuervo AM. Proteostasis and aging. *Nat Med.* 2015;21(12):1406–1415.
35. Rubinsztein DC, Marino G, Kroemer G. Autophagy and aging. *Cell.* 2011;146(5):682–695.
36. Youle RJ, Narendra DP. Mechanisms of mitophagy. *Nat Rev Mol Cell Biol.* 2011;12(1):9–14.
37. Sun N, Youle RJ, Finkel T. The mitochondrial basis of aging. *Mol Cell.* 2016;61(5):654–666.
38. López-Lluch G, Navas P. Calorie restriction as an intervention in ageing. *J Physiol.* 2016;594(8):2043–2060.
39. Fontana L, Partridge L, Longo VD. Extending healthy life span—from yeast to humans. *Science.* 2010;328(5976):321–326.
40. Johnson SC, Rabinovitch PS, Kaeblerlein M. mTOR is a key modulator of ageing and age-related disease. *Nature.* 2013;493(7432):338–345.
41. Salminen A, Kaarniranta K, Kauppinen A. Inflammaging: disturbed interplay between autophagy and inflammasomes. *Aging.* 2012;4(3):166–175.
42. Franceschi C, Garagnani P, Parini P, Giuliani C, Santoro A. Inflammaging: a new immune–metabolic viewpoint for age-related diseases. *Nat Rev Endocrinol.* 2018;14(10):576–590.
43. Finkel T, Holbrook NJ. Oxidants, oxidative stress and the biology of ageing. *Nature.* 2000;408(6809):239–247.
44. Vijg J, Suh Y. Genome instability and aging. *Annu Rev Physiol.* 2013;75:645–668.
45. Moskalev AA, Shaposhnikov MV, Plyusnina EN, Zhavoronkov A, Budovsky A, Yanai H, et al. The role of DNA damage and repair in aging through the prism of Koch-like criteria. *Ageing Res Rev.* 2013;12(2):661–684.
46. Sen P, Shah PP, Nativio R, Berger SL. Epigenetic mechanisms of longevity and aging. *Cell.* 2016;166(4):822–839.
47. Tchkonian T, Zhu Y, van Deursen J, Campisi J, Kirkland JL. Cellular senescence and the senescent secretory phenotype: therapeutic opportunities. *J Clin Invest.* 2013;123(3):966–972.
48. Longo VD, Antebi A, Bartke A, Barzilay N, Brown-Borg HM, Caruso C, et al. Interventions to slow aging in humans: are we ready? *Aging Cell.* 2015;14(4):497–510.
49. Partridge L, Deelen J, Slagboom PE. Facing up to the global challenges of ageing. *Nature.* 2018;561(7721):45–56.
50. World Health Organization. WHO guidelines on good pharmacovigilance practices. Geneva: World Health Organization; 2017.
51. European Medicines Agency. Guideline on good pharmacovigilance practices (GVP). London: European Medicines Agency; 2018.
52. U.S. Food and Drug Administration. Pharmacovigilance: premarketing risk assessment. Silver Spring (MD): FDA; 2005.
53. International Council for Harmonisation of Technical Requirements for Pharmaceuticals for Human Use. ICH guideline E2A: Clinical safety data management. Geneva: ICH; 1994.
54. International Council for Harmonisation of Technical Requirements for Pharmaceuticals for Human Use. ICH guideline E2E: Pharmacovigilance planning. Geneva: ICH; 2004.
55. Edwards IR, Aronson JK. Adverse drug reactions: definitions, diagnosis, and management. *Lancet.* 2000;356(9237):1255–9.
56. Pirmohamed M, Breckenridge AM, Kitteringham NR, Park BK. Adverse drug reactions. *BMJ.* 1998;316(7140):1295–8.

57. Strom BL, Kimmel SE, Hennessy S, editors. *Pharmacoepidemiology*. 5th ed. Chichester: Wiley-Blackwell; 2012.
58. Waller P, Evans SJW. A model for the future conduct of pharmacovigilance. *Pharmacoepidemiol Drug Saf*. 2003;12(1):17–29.
59. Meyboom RHB, Egberts ACG, Edwards IR, Hekster YA, de Koning FHP, Gribnau FWJ. Principles of signal detection in pharmacovigilance. *Drug Saf*. 1997;16(6):355–65.
60. Rawlins MD. Pharmacovigilance: paradise lost, regained or postponed? *Lancet*. 1995;345(8956):1255–9.
61. Lazarou J, Pomeranz BH, Corey PN. Incidence of adverse drug reactions in hospitalized patients: a meta-analysis of prospective studies. *JAMA*. 1998;279(15):1200–5.
62. Classen DC, Pestotnik SL, Evans RS, Lloyd JF, Burke JP. Adverse drug events in hospitalized patients: excess length of stay, extra costs, and attributable mortality. *JAMA*. 1997;277(4):301–6.
63. Bates DW, Cullen DJ, Laird N, Petersen LA, Small SD, Servi D, et al. Incidence of adverse drug events and potential adverse drug events: implications for prevention. *JAMA*. 1995;274(1):29–34.
64. Leape LL, Bates DW, Cullen DJ, Cooper J, Demonaco HJ, Gallivan T, et al. Systems analysis of adverse drug events. *JAMA*. 1995;274(1):35–43.
65. Hartnell NR, Wilson JP. Replication of the incidence of adverse drug reactions in a community hospital. *Am J Health Syst Pharm*. 2004;61(15):1617–21.
66. Einarson TR. Drug-related hospital admissions. *Ann Pharmacother*. 1993;27(7-8):832–40.
67. Van Puijenbroek EP, Egberts ACG, Heerdink ER, Leufkens HGM. Detecting drug–drug interactions using a database for spontaneous adverse drug reactions. *Eur J Clin Pharmacol*. 2000;56(9-10):733–8.
68. Hauben M, Aronson JK. Gold standards in pharmacovigilance: the use of definitive anecdotal reports of adverse drug reactions as pure gold. *Drug Saf*. 2007;30(8):645–55.
69. Bate A, Evans SJW. Quantitative signal detection using spontaneous ADR reporting. *Pharmacoepidemiol Drug Saf*. 2009;18(6):427–36.
70. Poluzzi E, Raschi E, Moretti U, De Ponti F. Drug-induced torsades de pointes: data mining of the public version of the FDA adverse event reporting system. *Pharmacoepidemiol Drug Saf*. 2009;18(6):512–8.
71. Moore N, Thiessard F, Begaud B. The history of pharmacovigilance: from thalidomide to the present. *Therapie*. 2005;60(4):341–6.
72. Olsson S. The role of the WHO Programme on International Drug Monitoring in coordinating worldwide drug safety efforts. *Drug Saf*. 1998;19(1):1–10.
73. Lindquist M. Data quality management in pharmacovigilance. *Drug Saf*. 2004;27(12):857–70.
74. Alvarez-Requejo A, Carvajal A, Begaud B, Moride Y, Vega T, Martin Arias LH. Under-reporting of adverse drug reactions: estimate based on a spontaneous reporting scheme and a sentinel system. *Eur J Clin Pharmacol*. 1998;54(6):483–8.
75. Hazell L, Shakir SAW. Under-reporting of adverse drug reactions: a systematic review. *Drug Saf*. 2006;29(5):385–96.
76. Inman WHW. Attitudes to adverse drug reaction reporting. *Br J Clin Pharmacol*. 1996;41(5):434–5.
77. Lopez-Gonzalez E, Herdeiro MT, Figueiras A. Determinants of under-reporting of adverse drug reactions: a systematic review. *Drug Saf*. 2009;32(1):19–31.
78. Edwards IR. The accelerating need for pharmacovigilance. *J R Soc Med*. 2000;93(9):487–9.
79. Arlett PR, Waller PC, Wood SM. A global pharmacovigilance system: challenges and opportunities. *Drug Saf*. 2011;34(9):707–17.
80. Campisi J. Cellular senescence: putting the paradoxes in perspective. *Curr Opin Genet Dev*. 2011;21(1):107–112.
81. Kaushik S, Cuervo AM. Proteostasis and aging. *Nat Med*. 2015;21(12):1406–1415.
82. Franceschi C, Garagnani P, Parini P, Giuliani C, Santoro A. Inflammaging: a new immune–metabolic viewpoint for age-related diseases. *Nat Rev Endocrinol*. 2018;14(10):576–590.

DEVELOPING A LEGAL FRAMEWORK FOR SPECIAL URBAN AREAS: LESSONS FROM JAPAN AND SOUTH KOREA

MA. Buu HOANG LE

School of Law and Management, Thu Dau Mot University, Vietnam

ORCID: 0009-0004-1854-1064

Abstract

This article examines the development of a legal framework for special urban areas in the context of rapid urbanization and the increasingly central role of major cities in socio-economic development. Adopting a comparative approach, the study explores the experiences of Japan and South Korea in organizing the governance of large urban areas through institutional arrangements that are more flexible than conventional models. A notable feature of these systems is the greater degree of autonomy granted to urban authorities, coupled with the maintenance of effective coordination with central government to ensure overall governance efficiency. Drawing on these experiences, the article reflects on the Vietnamese context and highlights that, despite the existence of an urban classification system, there remains a lack of a distinct legal framework tailored to special urban areas, resulting in a mismatch between governance structures and the scale and significance of major cities. On this basis, the article suggests several directions for legal reform, emphasizing the need for more flexible, context-sensitive mechanisms that align with the specific characteristics of individual urban areas, while enhancing local autonomy and accountability. In doing so, the study contributes additional perspectives to the ongoing discourse on urban law reform in Vietnam, with a view toward promoting more effective and sustainable urban development.

Keyword: Special urban areas, Legal framework, Urban governance, Decentralization, Vietnam urban law reform

1. Introduction

Rapid urbanization has led to the emergence of increasingly large, densely populated cities that play a central role in socio-economic development. In many countries, these cities are not only classified but also have their own legal mechanisms designed, allowing for more flexible governance, stronger decentralization, and proactive public finance management. Models such as designated cities in Japan or special self-governing cities in South Korea demonstrate a shift from unified administrative management to urban governance tailored to the specific characteristics and scale of each city.

In Vietnam, although a list of special-category cities has been established, the current legal system mainly focuses on classification based on technical criteria without establishing a corresponding legal mechanism. Large cities still operate within the general legal framework, with limited decentralization and autonomy. This creates a paradox where the designation "special" is not accompanied by superior legal institutions, leading to limitations in administrative capacity, policy adaptability, and urban management effectiveness. This gap necessitates systematic research to identify and propose appropriate improvements.

Based on this requirement, this article focuses on analyzing and comparing the legal models of special urban governance in Japan and South Korea, thereby drawing valuable lessons for Vietnam. The research uses a comparative legal approach, combined with policy analysis and case studies, to clarify how these countries design mechanisms for decentralization, government organization, and urban financial management.

Within the scope of this study, the article focuses on the legal aspects of special urban governance, including government organization, decentralization of authority, and financial mechanisms. Technical or economic urban factors are only mentioned to the extent necessary to support the argument. Through this, the research aims to contribute to supplementing the theoretical and practical basis for improving urban governance legislation in Vietnam.

2. Theoretical basis of special urban areas

2.1. Concept and classification of special urban areas

Special urban areas are urban spaces established by the State and governed by a unique legal regime, distinct from the general legal framework, to meet the requirements of governance and development at a superior level. Essentially, this is a unilateral economic legal instrument, existing alongside the national legal system as a form of "controlled exception" (Chaisse & Dimitropoulos, 2021) , allowing for more flexible mechanisms regarding government organization, decentralization, and urban development management, but without being separate from the general legal order. At the same time, this institution interacts with international legal mechanisms, particularly free trade agreements and investment protection agreements, thereby clearly demonstrating its role as a crossroads between national law and international economic law (Chaisse & Dimitropoulos, 2021; Chatterji et al., 2025) .

Based on the legislative experience of many countries, special urban areas can be classified according to their primary function into four basic groups (Freisler, 2022a) , reflecting the diversity in policy objectives and institutional design.

Firstly, a free economic zone is a model aimed at attracting foreign investment by establishing tax, customs, and administrative procedure incentives, while also relaxing some labor and trade regulations to create a competitive business environment.

Secondly, the national strategic zone is designed as a testing ground for institutional reform, serving as a “policy laboratory” where new regulations on governance, investment, or economics are piloted before being scaled up.

Thirdly, special administrative-economic zones are a model that combines the self-governance of local governments with specific economic mechanisms, allowing for greater flexibility in organizational structure, decentralization, and socio-economic development management.

Fourth, high-tech and innovation zones focus on research and development, attracting technology companies, forming an innovation ecosystem, and promoting technology transfer.

This classification shows that special urban areas are not a single model but rather a collection of diverse legal institutions, designed to suit the specific development goals of each country.

2.2 The role of the legal framework in the management of special urban areas

The legal framework plays a fundamental role in special urban management, not only establishing operating rules but also shaping the entire institutional environment for investment, decentralization, and interaction between different levels of government. According to UN-Habitat, urban law creates a stable and predictable framework for both the public and private sectors, while ensuring the participation of vulnerable groups and promoting dialogue between local and national levels. In this context, the quality of the legal framework reflects not only governance capacity but is also a prerequisite for special urban areas to function as institutional testing grounds for economic and social development.

First and foremost, the transparency and stability of the law are crucial for attracting investment, especially foreign direct investment (FDI). Empirical studies at the local level show that the level of government transparency, measured through access to public information, correlates directly with investment flows, as investors often use transparency as an indicator of corruption risk and policy predictability. On a broader level, international data analyses confirm that the rule of law, including corruption control, effective regulation, and the degree of government openness, has a positive impact on FDI. (Dobrev, 2024) . At the same time, the World Bank emphasizes that a clear and consistent legal framework will help guide the right types of investment and minimize political risks (Farole & Kweka, 2011; Zeng, 2021) . Furthermore, UNCTAD argues that the legal framework for special economic zones needs to be designed in coordination with national policies and the international context to ensure long-term stability (Freisler, 2022b; UNCTAD, 2019) .

Besides attracting investment, the legal framework also plays an intermediary role in balancing economic development and local governance capacity. The theory of fiscal decentralization shows that empowering local governments improves the efficiency of resource allocation and enhances community participation (Lekettey et al., 2025). However, in practice, specific legal regimes can lead to the formation of parallel legal systems, thereby increasing fragmentation and making it difficult to coordinate authority (Chatterji et al., 2025). The relationship between central law and local regulations reflects the multi-layered nature of modern governance, in which elements of cooperation and conflict coexist. Local governments tend to expand their autonomy, while the central government needs to ensure policy consistency. To limit conflict and improve governance efficiency, the Council of Europe recommends clearly defining the powers of different levels of government and ensuring the principle of subsidiarity.

Overall, the legal framework is a decisive factor in the effectiveness of the special urban model, as it must simultaneously ensure economic efficiency, legal consistency, and adaptability in multi-level governance.

3. The legal framework in Japan

3.1. Overview of the model and special regulatory mechanisms

The special urban system in Japan was formed through two successive legislative phases. The foundational phase began with Law No. 189/2002 on Restructuring Special Zones, subsequently amended by Law No. 33/2009. This document established the fundamental principle that regulatory reforms are tested within a limited geographical area before being evaluated and expanded nationwide. This mechanism reflects a geographically-based testing approach, allowing the state to verify the effectiveness of policy models before institutionalizing them at the national level.

The advanced phase was established with Law No. 107/2013 on National Strategic Zones, enacted in the context of Abenomics economic reforms. This document created larger and more ambitious pilot zones, targeting key economic centers. A key difference from the 2002 mechanism lies in the proactive role of the central government in selecting zones and directing the content of reforms, whereas the previous model was primarily based on proposals from local governments.

Theoretically, the special economic zone system in Japan simultaneously performs two basic functions. First, it promotes regional economic development by allowing the flexible implementation of new economic activities within a regulated legal environment. Second, it functions to innovate and coordinate policies between different levels of government, creating

a space for policy experimentation and promoting institutional reform. This second function is a key difference between the Japanese model and many traditional special economic zone models in Asia, which primarily focus on economic incentives.

Law No. 189/2002, in Article 4, paragraph 1, stipulates that local governments may submit proposals for regional plans. The Prime Minister is responsible for approving them within three months if the plan meets basic conditions, including being consistent with national policy directions, expected to have a positive economic and social impact in the region, and feasible for practical implementation. Furthermore, this law lists a series of legal exceptions from Articles 11 to 36, including exceptions to the School Education Act of 1947, the Elderly Welfare Act of 1963, the Customs Act of 1954, and the Alcohol Industry Act of 2000 (Harada, 2011) .

In the next phase, Law No. 107/2013 established a special geographical regulation mechanism with a broader scope of application and greater flexibility. In National Strategic Zones, this mechanism allows for the testing of new technologies such as autonomous vehicles, drones, artificial intelligence, the Internet of Things, and blockchain technology by reducing legal barriers in the pre-approval phase and strengthening supervision in the post-approval phase. Article 8, paragraph 2, stipulates projects designated in regional plans and identifies priority areas and corresponding special regulatory measures. Article 13 allows for exceptions to the Hotel Business Law to legalize new accommodation models. Article 16-4, paragraph 1, amends the Law on Immigration Control and Refugee Recognition, facilitating the entry of highly skilled foreign workers. Article 40 grants the authority to issue guiding regulations and implementing documents to ensure synchronized implementation.

In practice, in major cities like Tokyo, a one-stop support model is established to coordinate with ministries, departments, and local law enforcement agencies, helping businesses quickly access necessary administrative procedures. This mechanism not only reduces compliance costs but also promotes policy testing and enhances the flexibility of the legal system.

3.2 Management structure and delegation of authority

***The role of the National Strategic Area Council**

Unlike the mechanism established under Law No. 189/2002, in which the Cabinet Office acted as the focal point representing local governments when working with central ministries and agencies, Law No. 107/2013 establishes the National Strategic Regional Council with a tripartite composition including representatives from the central government, local governments, and the private sector. This mechanism is designed as an independent

coordinating institution, ensuring flexibility in the planning and implementation of specific policies in the designated region.

A significant institutional innovation is the formation of a Working Group comprising independent academics and business representatives. This group is empowered to directly participate in exchanges and negotiations with relevant ministries and agencies, instead of allowing negotiations to take place entirely between state agencies (Harada, 2011) . This mechanism enhances objectivity and reduces stagnation in the institutional reform process. However, in terms of power, the central government still retains the power to approve or reject local reform proposals, thus demonstrating the continued concentration of power within the institutional structure of the special economic zone model (Basedow, 2016) .

***Relations between the Central Government, Provinces, and Cities**

Constitutionally, Articles 92 and 94 of the Japanese Constitution recognize local autonomy and the right to enact regulations within the scope of national law. However, a fundamental legal principle dictates that local regulations cannot lower the minimum standards stipulated in national law, as national standards are considered the lower limit of the legal system. According to the precedent set by the Supreme Court on September 10, 1975, concerning the Tokushima Police Regulations case, the scope of application of local regulations must be determined based on the purpose of national law and the purpose of the local regulations.

The consequence of this structure is that if local governments wish to exempt or relax certain national legal regulations to promote local economic development, they cannot do so independently through the issuance of their own regulations. Instead, adjustments can only be made through special zone mechanisms stipulated by national law. This explains the existence of the special zone legal system in Japan, where special zones serve as an institutional mechanism to overcome the limitations of the unitary state model, in which local legislative power is restricted. (Harada, 2011) .

3.3. Practical application

***This applies to Tokyo, Osaka, and Fukuoka.**

In the initial phase, starting in March 2014, the Japanese government designated the Greater Tokyo area and the Kansai region, encompassing Osaka, Narita, Fukuoka, and Okinawa, as the first areas to implement the National Strategic Zone mechanism. The selection of the country's largest economic and political centers as testing grounds for institutional reform presents a notable political paradox. Established interest groups in these areas often possess a high degree of organization and strong policy-influence capabilities, potentially increasing the risk of hindering the reform process even during the testing phase (Harada, 2011) .

In the case of Fukuoka, it is one of the typical areas associated with the special zone mechanism under Law No. 189/2002. A prime example is the special zone for traditional sake production, which is exempt from the minimum production requirement of six kiloliters per year as stipulated in Article 7, paragraph 2 of the 2000 Alcohol Industry Law. This relaxation removed a significant market entry barrier for small-scale producers, and this model was subsequently expanded in 2008 to include special zones for fruit wines and liqueurs (Basedow, 2016) .

Results and limitations

In terms of results, the special zone mechanism has shown a significant impact on institutional reform. Of the 1,149 proposals approved for special zones, 815 cases, equivalent to about 71%, led to regulatory reforms at the national level. This shows that the policy testing mechanism based on geographical areas has played a crucial role as an important channel for promoting legal reform nationwide (Harada, 2011) .

However, practice also reveals some structural limitations. Firstly, no region simultaneously applies all three groups of measures: regulatory exemptions, tax incentives, and financial support. Secondly, the number of proposals to establish special zones tends to stagnate because some reforms, after being successfully tested, have been implemented nationwide, causing the competitive advantages of special zones to quickly diminish. Thirdly, the legal nature of the special zone mechanism remains unclear theoretically, especially the relationship between the special zone mechanism and the principle of local autonomy within the framework of a unitary state, which remains a subject of debate.

4. The legal framework in South Korea regarding special cities.

4.1. Model Overview

***Law on Free Economic Zones**

The legal framework for the special urban area system in South Korea is formed through three layers of legislation. The first layer is the Foreign Investment Promotion Act of 1998. The second layer is the Free Trade Zone Designation Act of 2000. The third and most important pillar is Law No. 6718/2002 on the Designation and Management of Free Economic Zones, enacted on November 30, 2002, and effective from July 2003. A notable amendment in 2013 expanded the number of free economic zones from three to eight, adding Hwanghae, Daegu–Gyeongbuk, and Saemangeum in 2008, and further expanding with Chungbuk and East Coast in 2013 (Song, 2015) .

Article 1 of the Law outlines four overall objectives: promoting foreign investment, attracting domestic businesses to reinvest, enhancing national competitiveness, and promoting balanced

regional development. These objectives are realized through improving the business environment and living conditions for foreigners in designated areas. A noteworthy legislative point is that when the bill was published in 2002, its initial name was the Law on Special Economic Zones, not the Law on Free Economic Zones. This indicates that, in essence, free economic zones in South Korea are a form of the special economic zone model.

Law on Jeju and Sejong Special Administrative Regions

Besides the free economic zone system, Korean law also establishes two particularly important models of self-governance. The first is the Special Act on the Establishment of Jeju Special Self-Governing Province and the Development of a Free International City, passed on February 9, 2006, and effective July 1, 2006. According to Article 2 of this law, Jeju was granted new legal status with four basic autonomous rights, including legislative autonomy, administrative autonomy, organizational and personnel autonomy, and financial autonomy (Special Act on the Establishment of Jeju Special Self-Governing Province, 2006) .

Secondly, there is the Special Act on the Establishment of Sejong City. Article 1 of the law defines the main objective as overcoming the excessive concentration of power in the Seoul metropolitan area and promoting balanced national development by establishing Sejong as a multi-functional administrative city. Article 3 stipulates that the State is responsible for continuously improving the legal system to strengthen local autonomy for Sejong, thereby consolidating the city's role in the national governance structure. (Special Act on the Establishment of Sejong City, 2014) .

4.2 Management structure and delegation of authority

***The Free Economic Zone Committee is under the Ministry of Commerce.**

The Free Economic Zones Commission is currently under the management of the Ministry of Trade, Industry and Energy, responsible for site planning, attracting foreign investment, and developing infrastructure within free economic zones (Koh, 2014) . However, this is a significant institutional weakness, as the Commission's direct involvement from a single ministry means it lacks the authority to coordinate with other ministries and agencies such as the Ministry of Land or Finance on large projects requiring inter-ministerial cooperation. Therefore, there have been proposals to place the Commission under the Prime Minister's direct authority or grant it powers equivalent to Singapore's economic development agency model, including the power to decide on tax incentives, business licensing, investment policy formulation, and inter-sectoral coordination (Koh, 2014) .

Regarding financial resources, according to the 2009 national audit report, total investment in the first three free economic zones—Incheon, Busan–Jinhae, and Gwangyang Bay—reached

23.73 trillion won, of which over 25% came from the central government budget and over 65% from the private sector. This structure shows a strong orientation towards mobilizing resources outside the state budget to develop special zones (Song, 2015) .

***A unique self-governance model in Jeju**

Jeju is the most decentralized model in the South Korean administrative system. In the more than a decade since its establishment as a special autonomous province in 2006, 4,660 types of authority have been transferred from the central government to Jeju, creating an unprecedented level of autonomy in the history of decentralization in South Korea. Unlike typical free economic zones, Jeju is also granted autonomy in education and police work, two areas previously under central authority according to Article 117 of the Korean Constitution (IPA) .

Furthermore, Jeju enjoys numerous special preferential mechanisms such as tax exemptions, visa exemptions, and the right to establish its own tax system. These mechanisms far exceed the scope of incentives applied in typical free economic zones (FEZs), which mainly focus on exemptions from certain economic regulations. With such a high degree of decentralization and unique mechanisms, Jeju is positioned as a prime example of decentralization and internationalization in South Korea's governance structure.

4.3. Practical Application

The first three free economic zones designated in 2003 represented three different development orientations. Incheon was identified as the area attracting the largest amount of foreign direct investment, followed by Busan–Jinhae and Gwangyang Bay Area (C. Kim, 2007) . Quantitative analyses using the double difference method showed that businesses operating in free economic zones experienced significant improvements in revenue, productivity, and exports. Specifically, the estimated revenue growth coefficient reached 0.22 in Incheon and 0.20 in Busan–Jinhae, which were statistically significant, while Gwangyang showed no significant impact (J. Kim & Lee, 2025) .

Regarding infrastructure investment and capital attraction, Incheon continues to maintain stable growth in attracting foreign investment for many years, reflecting its advantageous geographical location near Incheon International Airport and access to South Korea's largest consumer market (Shuhrat-ugli & Baxtiyor ugli, 2024) .

Evaluating the effectiveness of investment attraction and urban governance

Practical implementation has revealed several significant structural limitations in the free economic zone model in South Korea. Firstly, out of the 448 km² of land designated in the eight free economic zones, only 46.4 km² (10.4%) has been developed, while 249 km²

(55.6%) remains undeveloped. In response, the authorities revoked the designation decisions for 14 areas in 2011 and 2014, reducing the total area of free economic zones to 335.84 km².

Secondly, the proportion of foreign-invested enterprises present in free economic zones accounts for less than 4% of the total FDI enterprises in South Korea. At the same time, over 90% of enterprises in free economic zones are domestic companies, showing a significant discrepancy compared to the foreign investment attraction target set in Article 1 of the relevant law.

Thirdly, quantitative analyses based on regression and trend point matching methods show that there is no convincing evidence to prove that FDI enterprises operating in free economic zones outperform domestic enterprises in terms of labor productivity or profitability.

One significant reason cited is the geographical disadvantage compared to regional financial and commercial centers such as China, Hong Kong, and Singapore. In addition, the limited availability of specialized human resources is also a notable factor. The majority of managers in free economic zones are civil servants seconded from central government ministries and agencies for a maximum term of about five years, leading to instability, limited expertise, and a lack of long-term motivation. This creates a clear difference from Singapore's economic development management model, where managers are recruited from world-leading training institutions and have long-term career orientations.

5. Lessons for Vietnam from the experiences of Japan and South Korea

5.1. Current status of special economic zone system in Vietnam

Before drawing comparative lessons, it is necessary to outline the development context of special economic zones in Vietnam. Since the establishment of the Tan Thuan Export Processing Zone in 1991, the number of economic zones and industrial parks in Vietnam has increased rapidly, from about 50 to nearly 500 in 2022, distributed across many geographical regions. Of these, industrial parks account for about 70%, coastal economic zones about 20.8%, and border economic zones about 5% (Nguyen et al., 2025) .

Recent empirical studies have shown the positive impact of economic zones on business operations. Based on data from over 900,000 businesses between 2007 and 2019, results show that businesses operating in economic zones experienced an average increase in employment of approximately 18.3%, a revenue increase of approximately 55.3%, and a labor productivity increase of approximately 25.9% compared to the control group (Nguyen et al., 2025) . These results indicate that economic zones play a crucial role in promoting production activities and business expansion.

However, the technology gap challenge remains a significant barrier. Domestic businesses tend to improve productivity faster when operating in the same geographical area as foreign direct investment (FDI) businesses from developing countries, while the diffusion of technology from multinational corporations from high-income economies is relatively limited. This suggests that the readiness of corporations from developed countries to transfer technology remains modest.

Regarding the legal framework, Vietnam's current legal system has laid the foundation for the development of special administrative-economic zones. Article 3 of the Draft Law on Special Administrative-Economic Zones, along with Article 74 of the 2015 Law on Organization of Local Government, are important bases for shaping the organizational and operational model of these zones. However, the complexity and overlap of the current legal documents remain a significant obstacle to attracting genuine investment and improving the operational efficiency of these special zones.

5.2. Lessons on Legal Design

***Based on the Japanese model: a systematic legal testing mechanism is needed.**

The most important lesson from Japan's model lies not in the specific content of the incentives, but in the legislative method. This model is based on enacting a separate law granting exemptions with a defined time limit, geographical scope, and clear application conditions, instead of issuing scattered incentives across numerous sub-laws. The Special Zone for Structural Reform Act, enacted as Law No. 189/2002, clearly defines each type of industry-specific exemption in Articles 11 to 36, helping businesses anticipate the legal environment from the investment planning stage.

This approach makes a significant difference because Vietnam's current legal system lacks a unified legal framework that specifically regulates the list of special measures by sector. As a result, investors have to independently review each specialized legal document, increasing compliance costs. Furthermore, a key condition for a regional plan to be approved is demonstrating a positive socio-economic impact. This mechanism forces proposals to undergo a thorough evaluation, thereby limiting the widespread and unfounded requests for special measures.

***From the Korean model: avoiding the trap of legal fragmentation**

South Korea's experience shows that the risk of overlapping and fragmented legal frameworks among specialized laws is a major obstacle. Free economic zones have faced difficulties because the Free Economic Zone Management Committee is under the authority of only one ministry, lacking the power to coordinate with other ministries and agencies. This leads to

investors still having to work separately with each ministry, even when their projects are located within a free economic zone.

The lesson for Vietnam is that the special economic zone's management agency needs to be given sufficient authority to coordinate inter-ministerial activities. Otherwise, the special economic zone will only exist in name without creating any real difference in investment procedures. Therefore, decentralization needs to be designed to empower the special economic zone's management agency, allowing it to directly regulate, remove institutional constraints, and decide on related procedures.

5.3. Lessons on management structure and delegation of authority

***Establish a specialized management agency with inter-ministerial authority.**

Comparative experiences from both Japan and South Korea show that the governing body of the special economic zone must be placed at a sufficiently high level to ensure inter-ministerial coordination. In Japan, the Act on National Strategic Special Zones stipulates that the National Strategic Zone Council, with the participation of the Prime Minister, has the final say on matters related to regulatory reform. In South Korea, many proposals suggest that the Free Economic Zone Management Committee should be placed directly under the Prime Minister and granted authority equivalent to Singapore's economic development agency model, including the power to decide on tax incentives, business licensing, and investment policy planning.

For Vietnam, the special economic zone management agency, whether organized as a management board or a council, needs to have clear legal authority to handle administrative procedures through a one-stop mechanism, instead of merely acting as an intermediary transferring documents between ministries and agencies.

***Substantive decentralization, not just formal decentralization**

In unitary state models, such as Japan, South Korea, and Vietnam, local governments, in principle, cannot exempt themselves from national regulations through written laws. Therefore, the special economic zone mechanism is a constitutional legal tool to create a distinct institutional space. This means that the autonomy of the special economic zone must be clearly defined in national law, instead of simply leaving it to the local authorities to "handle matters themselves," in order to avoid legal conflicts between the decisions of the special economic zone's management board and specialized laws.

Experience from Jeju Island shows that effective decentralization requires a detailed listing of each authority being transferred. According to Article 2 of the Special Act on the Establishment of Jeju Special Self-Governing Province, a total of 4,660 authorities were

transferred from the central government to the local level, including educational autonomy and police autonomy. This approach demonstrates that effective decentralization needs to be based on detailed regulations, rather than vague pronouncements.

5.4. Lessons on practical effectiveness

Scale and location selection determine success or failure.

A key lesson from South Korea is the risk of the "special economic zone on paper" model. Of the total 448 km² designated for eight free economic zones, only 10.4 percent was actually developed. The main reason lies in the selection of too many locations lacking a solid economic foundation.

For Vietnam, proposed areas such as Van Don, Bac Van Phong, and Phu Quoc have advantages in terms of coastal location, tourism, and international trade. However, without a pre-established industrial base and supply chains, the economic impact may be limited compared to special economic zones in China during their initial development phase.

Furthermore, empirical studies show that special economic zones in Vietnam are most effective when established on vacant land, forcing businesses to relocate their operations to take advantage of incentives, rather than simply labeling existing industrial parks as "special economic zones."

***The quality of management personnel is a key factor.**

The most important lesson from South Korea, and also the biggest challenge, relates to the quality of its personnel. The majority of managers in free economic zones are seconded from various ministries and departments, with a maximum term of about five years, leading to limitations in in-depth expertise and long-term motivation. This is a stark contrast to Singapore's governance model, where managers are recruited from top educational institutions and receive long-term career guidance.

Experience from Japan also shows that the effectiveness of special economic zones depends significantly on the coordination capacity and reform commitment of the head of government in promoting coordination among ministries and agencies, a factor that is difficult to fully institutionalize through legal documents. For Vietnam, the requirement is to build a team of special economic zone managers with professional expertise, modern management skills, and the ability to operate according to international standards.

REFERENCES

- Basedow, J. (2016). Boosting the Economy – Special Economic Zones or Nationwide Deregulation? *Special Economic Zones – Law and Policy Perspectives* , 3–19.
- Chaisse, J., & Dimitropoulos, G. (2021). Special Economic Zones in International Economic Law: Towards Unilateral Economic Law. *Journal of International Economic Law* , 24 (2), 229–257.

- Chatterji, S., Samaddar, S., Mishra, R., Bagree, V., Roy, A., Islam, S., & Sarkar, P. (2025). The Legal Paradox of Special Economic Zones: Autonomy at the Cost of National Compliance? *International Journal of Sciences and Innovation Engineering* , 2 (6), 869–880. <https://doi.org/10.70849/ijsci>
- Dobrev, G.V. (2024). The Impact of Transparency on FDI Allocation: A Subnational Case Study on Bulgaria. *Essex Student Journal* , 15 (S1). <https://doi.org/10.5526/esj.269>
- Farole, T., & Kweka, J. (2011). *Institutional Best Practices for Special Economic Zones: An Application to Tanzania* (Africa Trade Policy Notes Note #25). The World Bank. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/885991468341087176/pdf/644830BRI0Tanz00Box0361538B0PUBLIC0.pdf>
- Freisler, L. (2022a). Special Economic Zones: A legal framework analysis. *Journal of Special Jurisdictions* , 1 (2). <https://journalofspecialjurisdictions.com/index.php/jsj/article/view/43>
- Freisler, L. (2022b). Special Economic Zones: A legal framework Analysis. *Journal of Special Jurisdictions* , 1 (3), 1–25.
- Harada, H. (2011). *Special Economic Zones as a Governance Tool for Policy Coordination and Innovation* (No. 31). ZjapanR.
- IPA. (nd). *Jeju Special Self-Governing Province* . Invest KOREA Is the Korean National Investment Promotion Agency (IPA).
- Kim, C. (2007). *A Study on the Development Plan of Incheon Free Economic Zone, Korea: Based on a Comparison to a Free Economic Zone in Pudong, China* [Master Thesis]. University of Oregon.
- Kim, J., & Lee, J. H. (2025). Free Economic Zones and Firm Performance: Evidence from Korea. *KDI Journal of Economic Policy* , 47 (2), 81–97. <https://doi.org/10.23895/kdijep.2025.47.2.81>
- Koh, E.-H. (2014). Korea's Free Economic Zone as an Economic Development Strategy and Operational System. *Journal of Distribution Science* , 113–123. <http://dx.doi.org/10.15722/jds.12.9.201409.113>
- Lekettey, E., Gaffar, V., Juliana, J., & Nugraha, N. (2025). Fiscal Decentralization and Local Financial Autonomy: A Bibliometric Review of Global Research Trends. *Journal of Accounting and Strategic Finance (JASF)* , 8 (2), 235–255. <https://doi.org/10.33005/jasf.v8i2.598>
- Nguyen, T.T., Mau, K., & Treibich, T. (2025). Special Economic Zones and Firm Performance: Evidence from Vietnam. *Puey Ungphakorn Institute for Economic Research* .
- Shuhrat-ugli, VO, & Baxtiyor ugli, UJ (2024). The Role of Free Economic Zones (FEZs) in Attracting Foreign Direct Investment (FDI): The Case of South Korea. *Oriental Renaissance: Innovative, Educational, Natural and Social Sciences* , 4 (5), 226–234.
- Song, Y. (2015). *Evaluation of Special Economic Zone Policy and Suggestions for Vitalization of Free Economic Zone* (KDI Focus No.47). Korea Development Institute (KDI), Sejong. <https://doi.org/10.22740/kdi.focus.e.2015.47%0A>
- Special Act on the Establishment of Jeju Special Self-Governing Province (2006).
- Special Act on the Establishment of Sejong City (2014).
- UNCTAD. (2019). *World Investment Report 2019* . UNCTAD. https://unctad.org/system/files/official-document/WIR2019_CH4.pdf
- Zeng, D.Z. (2021). *The Dos and Don'ts of Special Economic Zones* [EQUITABLE GROWTH, FINANCE & INSTITUTIONS NOTES]. The World Bank.

AI STRATEJİK ORTAK OLARAK: MODERN YÖNETİCİLİKTE ZORLUKLAR VE FIRSATLAR

Fatine BENKIRANE

Faculty of Legal, Economic, and Social Sciences, Sidi Mohamed Ben Abdellah University,
Fez, Morocco.

Lamyae HANIDA

Faculty of Legal, Economic, and Social Sciences, Sidi Mohamed Ben Abdellah University,
Fez, Morocco.

Mohamed AIT OUDRA

Faculty of Legal, Economic, and Social Sciences, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez,
Morocco.

Samir ERRABIH

National School of Business and Management, Sidi Mohamed Ben Abdellah University,
Fez, Morocco.

Abdelkarim MOUSSA

Faculty of Legal, Economic, and Social Sciences, Sidi Mohamed Ben Abdellah University,
Fez, Morocco.

ÖZET

Yapay zekanın (YZ) yöneticilik uygulamalarına entegrasyonu, örgütlerin karar alma, süreç optimizasyonu ve stratejik inisiyatif geliştirme biçimlerini yeniden şekillendiriyor. Bu çalışma, YZ'nin modern yöneticilikte hem bir araç hem de bir ortak olarak oynadığı çift rolü inceleyerek karar alma, liderlik ve örgütsel performans üzerindeki etkisini ele alıyor. Araştırma, son literatürün sistematik bir incelemesi ile YZ destekli yönetim sistemlerini uygulayan çok uluslu şirketlerden vaka çalışmalarını birleştiren karma yöntem yaklaşımı ile yürütüldü. Bulgular, YZ'nin operasyonel verimliliği artırabileceğini, öngörü sağlayabileceğini ve veri odaklı stratejik kararları destekleyebileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, çalışma etik kaygılar, algoritmik önyargı, şeffaflık sorunları ve otomatik sistemlere aşırı bağımlılık gibi önemli zorlukları da tanımlamaktadır. Başarılı entegrasyon, yöneticilerin YZ okuryazarlığı, algoritmik çıktıları eleştirel değerlendirme ve uyum sağlayabilen liderlik becerileri gibi yeni yetkinlikler geliştirmesini gerektirir. Çalışma, insan yargısı ile otomatik zekâ arasında dengeyi vurgulayarak yöneticilikte sorumlu YZ benimsemesi için kavramsal bir çerçeve önermektedir. Hem fırsatları hem de riskleri vurgulayarak, bu araştırma YZ'nin stratejik bir ortak olarak nasıl hizmet edebileceğini ve yeniliği teşvik ederken örgütsel karar alma süreçlerinde profesyonel sorumluluk ve eleştirel düşüncenin korunmasını sağlamaya katkıda bulunur.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zeka, Yöneticilik, Stratejik Karar Alma, Liderlik, Sorumlu YZ

AI AS A STRATEGIC PARTNER: CHALLENGES AND OPPORTUNITIES FOR MODERN MANAGEMENT

ABSTRACT

The integration of artificial intelligence (AI) into management practices is reshaping how organizations make decisions, optimize processes, and develop strategic initiatives. This study investigates the dual role of AI as both a tool and a partner in modern management, focusing on its impact on decision-making, leadership, and organizational performance. Using a mixed-methods approach, the research combines a systematic review of recent literature with case studies from multinational firms implementing AI-driven management systems. Findings indicate that AI can enhance operational efficiency, provide predictive insights, and support data-driven strategic decisions. However, the study also identifies significant challenges, including ethical concerns, algorithmic bias, transparency issues, and the potential over-reliance on automated systems. Moreover, successful integration requires managers to develop new competencies, including AI literacy, critical evaluation of algorithmic outputs, and adaptive leadership skills. The study proposes a conceptual framework for responsible AI adoption in management, emphasizing the balance between human judgment and automated intelligence. By highlighting both opportunities and risks, this research contributes to understanding how AI can serve as a strategic partner, fostering innovation while preserving professional responsibility and critical thinking in organizational decision-making.

Keywords: Artificial Intelligence, Management, Strategic Decision-Making, Leadership, Responsible AI.

SİBER GÜVENLİK, DİJİTAL RİSKLERLE KARŞI KARŞIYA KALAN KURULUŞLARIN EKONOMİK DİRENCİ İÇİN BİR KALDIRAÇ OLARAK

Fatine BENKIRANE

Faculty of Legal, Economic, and Social Sciences, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco.

ORCID: 0009-0002-2125-7190

Fatima Zahrae HAMDANI

Faculty of Legal, Economic, and Social Sciences, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco

ORCID: 0009-0002-7038-273X

Mohamed AIT OUDRA

Faculty of Legal, Economic, and Social Sciences, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco.

Samir ERRABIH

National School of Business and Management, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco.

Hayat EL BOUKHARI

Faculty of Legal, Economic, and Social Sciences, Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Morocco.

ORCID: 0009-0004-6829-6204

ÖZET

Dijital dönüşümün hızlanması ve siber tehditlerin artması bağlamında, siber güvenlik organizasyonlar için önemli bir ekonomik mesele haline gelmiştir. Teknik boyutlarının ötesinde, artık ekonomik dayanıklılığın temel bir unsuru olarak öne çıkmakta; iş sürekliliğini, performansı ve paydaş güvenini doğrudan etkilemektedir. Bu çalışma, siber güvenliğin ekonomik boyutlarını analiz etmeyi ve dijital riskler karşısında örgütsel dayanıklılığı güçlendirmedeki rolünü incelemeyi amaçlamaktadır.

Araştırma, önemli siber risklerle karşı karşıya olan organizasyonlar üzerinde yürütülen bir vaka çalışmasına dayanan nitel bir metodolojik yaklaşım benimsemektedir. Veri toplama sürecinde, bilgi sistemleri, risk yönetimi ve yönetişimden sorumlu yöneticilerle yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilmiş ve iç belgeler ile kurumsal raporlar analiz edilmiştir.

Bulgular, siber güvenliğe yapılan yatırımların kapsamlı bir yönetim ve risk yönetimi stratejisi içinde entegre edildiğinde, organizasyonların ekonomik dayanıklılığına önemli katkı sağladığını göstermektedir. Bu yatırımlar, siber olayların maliyetlerini azaltmakta, tehditlere karşı önceden tahmin ve yanıt kapasitesini artırmakta ve ekonomik paydaşların güvenliğini güçlendirmektedir. Bununla birlikte, çalışmada bütçe ve örgütsel kısıtların, siber güvenlik önlemlerinin etkinliğini sınırlayabileceği de vurgulanmaktadır.

Bu araştırma, siber güvenlik, ekonomik performans ve örgütsel dayanıklılık arasındaki ilişkilerin daha iyi anlaşılmasına katkıda bulunmakta ve dijital risk yönetiminde stratejik ve ekonomik bir yaklaşımın önemini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Siber güvenlik; Ekonomik dayanıklılık; Örgütsel performans; Risk yönetimi; Dijital riskler; Yönetişim

CYBERSECURITY AS A LEVER FOR ECONOMIC RESILIENCE OF ORGANIZATIONS FACING DIGITAL RISKS

ABSTRACT

In a context characterized by the acceleration of digital transformation and the growing proliferation of cyber threats, cybersecurity has become a major economic issue for organizations. Beyond its technical dimensions, it now represents a key factor of economic resilience, conditioning business continuity, performance, and stakeholder trust. This paper aims to analyze the economic challenges of cybersecurity and to examine its role in strengthening organizational resilience in the face of digital risks.

The study adopts a qualitative methodological approach based on a case study analysis conducted within organizations exposed to significant cyber risks. Data were collected through semi-structured interviews with managers responsible for information systems, risk management, and governance, complemented by the analysis of internal documents and institutional reports.

The findings show that investments in cybersecurity, when integrated into a comprehensive governance and risk management strategy, significantly contribute to organizations' economic resilience. They help reduce the costs associated with cyber incidents, enhance the capacity to anticipate and respond to threats, and strengthen the trust of economic partners. However, the study also highlights the existence of budgetary and organizational constraints that may limit the effectiveness of cybersecurity mechanisms.

This research contributes to a better understanding of the relationships between cybersecurity, economic performance, and organizational resilience, emphasizing the importance of a strategic and economic approach to digital risk management.

Keywords: Cybersecurity; Economic resilience; Organizational performance; Risk management; Digital risks; Governance.

INCREASED RISK OF CARDIO-VASCULAR DISEASE IN WOMEN WITH POLYCYSTIC OVARY SYNDROME

Rabia Akhtar CHEEMA, Humaira MUZAFFAR, Ghulam HUSSAIN

Department of Physiology, Government College University, Faisalabad, Pakistan.

ABSTRACT

Polycystic ovarian syndrome (PCOS) is one of the common endocrine disorders in women of child-bearing age, characterized by irregular periods, an excess of androgen production, and polycystic ovaries. Women with PCOS have long-term exposure to traditional cardiovascular disease (CVD) risk factors as they often present with obesity, insulin resistance, abnormal glucose metabolism, dyslipidemia and elevated blood pressure (BP) as early as young adulthood or even adolescence. Hence, PCOS women show increased occurrence of common CVD (hypertension, arterial stiffness, atherosclerosis, and cardiovascular event) and metabolic ailments. The underlying pathways linking PCOS to cardiovascular events are complex and involve many interacting cardiovascular and metabolic factors. Insulin resistance is linked to hypertension through the impairment of the insulin specific endothelial pathway, resulting in vasoconstriction through a diminished nitrogen oxide production. Finally, hyperinsulinemia leads to vascular inflammation and water retention in the body which contributes to an elevated blood pressure. Dyslipidemia and elevated blood pressure are important factors in aggravating the process of atherosclerosis eventually leading to cardiovascular events. PCOS treatment largely depends on symptomatic management and lifestyle interventions. Among these, weight reduction in obese PCOS women is a cornerstone for the achievement of better cardiovascular and metabolic outcomes.

Keywords: Polycystic ovary syndrome, Cardiovascular disease, Metabolic factors, Insulin resistance.

THE ROLE OF AUDIT AND PUBLIC ASSET MANAGEMENT IN THE PUBLIC SECTOR - THE CASE OF KOSOVO

Dr.sc. Agim BERISHA

Ministry of Agriculture, Forestry and Rural Development. Director of Internal Audit

ABSTRACT

Within the framework of this paper, the management of public assets in the Public Sector in Kosovo. Assets constitute a very important category, where poor asset management leads to high operating and maintenance costs, or to the purchase of assets that do not meet the needs of the organization. According to the Principles of Financial Management and Control (PMFK), accounting officers, among others, are responsible for ensuring that resources, including assets, are used efficiently, effectively and economically. Internal audit is an independent activity to provide objective and advisory assurance designed to add value and improve the operations of the organization. In this context, auditing helps to identify weaknesses, strengthen internal control and increase accountability in the management of public assets. The research is based on an analytical and comparative approach, taking into account, in addition to legal requirements, international auditing standards and annual financial reports. The main goal consists of analyzing the role of auditing and public asset management in the Public Sector in Kosovo. Within the framework of this study, in order to achieve the objectives, tabular and graphical analysis methods, as well as comparative methods, will be used. Through this study, we consider the results and recommendations given to be taken into account by the relevant institutions.

Keywords: Internal audit, public assets, Asset management, Financial management and control, public sector.

Introduction

According to the Institute of Internal Auditors (IIA), Internal auditing is an independent, objective assurance and consulting activity designed to add value and improve an organization's operations (IIA, 2023). The Institute of Internal Auditors (IAB) (whose standards are the basis of the Internal Audit Standards of the Republic of Kosovo and which are included in the PIFC Law, as well as the Internal Audit Manual), describes internal audit as: An independent and objective advisory activity in providing reasonable assurance, aimed at adding value and improving the functioning of the public sector entity, and which assists the entity in meeting its objectives, by providing a systematic, disciplined approach, to assess and improve the effectiveness of risk management, control and governance processes

(Ministry of Finance, Labor and Transfers, Fundamentals of Internal Audit, 2025). Internal audit provides independent and objective assurance to the manager of the public sector entity on the adequacy and effectiveness of the financial management and control system, and provides advice for its improvement. Asset management in the public sector is one of the most important aspects of financial management, as it is an essential process and all budgetary organizations are obliged to take the necessary measures to document, preserve, record, dispose of and report non-financial assets in order to manage them more effectively, efficiently and economically, in order to protect non-financial assets from damage and misuse. The asset management process includes managing the life cycle of various assets, from acquisition and use to their maintenance and disposal.

The methodology used

For the finalization of this paper, the presented material has support including scientific literature, as well as reports and publications from the Ministry of Finance, the Central Harmonizing Unit of Internal Audit where issues related to internal audit are addressed. The local statistical source, analysis, synthesis, tabular and comparative methods were also used.

Literature review

Internal audit in Kosovo as an activity has started to function according to UNMIK Regulation No. 1999/16 since 2000. Based on this regulation, an Internal Audit Department was established within the Central Fiscal Authority of Kosovo. After the transfer of competences from UNMIK to the local authorities in 2003, the issue of internal audit was regulated by Law No. 2003/2, On Public Financial Management and Accountability - LPFMA. The LPFMA requires that an Internal Audit Department be established within the Ministry of Economy and Finance, which will be responsible for creating the legal and sub-legal infrastructure, building audit capacities and conducting audits in all Kosovo institutions. However, due to the numerous requests from Kosovo institutions to conduct internal audits and the inability of the Internal Audit Unit within the Ministry of Economy and Finance, many institutions at the central and local levels have already established their own internal audit units. In June 2007, the Law on Internal Audit was first decreed by the SRSG, following its approval by the Assembly of the Republic of Kosovo on 26 November 2006. The Law on Internal Audit introduced audit practices and required all budget organizations to establish internal audit capacities. At the end of 2009, the Law on Internal Audit was revised, while in 2018, Law No. 06/L-021, on Internal Control of Public Finances, was issued. The Institute of Internal Auditing defines internal auditing as: (Ministry of Finance, Fundamentals of Internal Auditing, 2016) “An independent, advisory activity that provides objective assurance

designed to add value and improve the activities of an organization”. According to K. H. Spencer Pickett (2005) Internal auditing is an independent, objective assurance and consulting activity designed to add value and improve an organization’s operations. It helps organizations accomplish their objectives by bringing a systematic, disciplined approach to evaluate and improve the effectiveness of risk management, control and governance processes. Internal audit is concerned with controls that ensure:

- reliability and integrity of financial and operating information.
- effectiveness and efficiency of operations.
- safeguarding of assets.
- compliance with laws, regulations and contract.

Internal audit in the public sector in Kosovo is carried out based on internal audit standards, code of ethics, methodology approved by the Minister of Finance and in accordance with the following principles:

- 1) Legality;
- 2) Impartiality and integrity;
- 3) Independence and objectivity;
- 4) Professionalism and due professional care; and
- 5) Competence and confidentiality.

The legal and reporting basis of assets in the Government of Kosovo is regulated by Regulation No. 02/2013 on Asset Management in Budgetary Organizations, which establishes standard procedures for the documentation, storage and disposal of non-financial assets, the accurate maintenance of data on non-financial assets through the systematic maintenance of the Register of Non-Financial Capital Assets, as an integral part of the KFMIS, and the Register of Non-Financial Non-Capital Assets for the purpose of assessing and reporting their value, as well as adequate, efficient, effective and transparent processes for the disposal of non-financial assets. Each budgetary organization must create and update the register of non-financial assets under its management. The register of assets includes capital assets (individual value over €1,000 and useful life of more than one year), non-capital assets (individual value less than €1,000 and useful life of more than one year) and stocks. Asset management is carried out through two systems: the SIMFK accounting register, an integrated system within the MFPT, where capital assets worth over €1,000 are registered, maintained, valued and reported, as well as the e-Asset system/application, an integrated system within the Ministry of Internal Affairs-MIA, where all budget organizations must register, manage and report on non-capital assets under €1,000 and stocks.

Results and discussions

The internal audit activity must be independent and internal auditors must be objectively impartial in performing their work. Internal auditing is an independent, objective assurance and consulting activity designed to add value and improve an organization's operations. It helps an organization accomplish its objectives by bringing a systematic, disciplined approach to evaluate and improve the effectiveness of risk management, control, and governance processes (Internal Audit Standards for Government Departments and Offices, 2018).

In Kosovo, audit independence is regulated by the Law on Internal Control of Public Finances (Law No. 06/L-021). Internal audit in Kosovo is subordinated and reports to the highest level of management within the Public Sector Entity. Planning is an essential part of internal audit. For the preparation of the strategic and annual internal audit plan, international IA standards are applied (Ministry of Finance, Internal Audit Methodology in Practice, 2016). The strategic plan, annual plan and audit program are compiled based on risk assessment. Regarding the planning of general internal audit activities (strategic and annual planning), risk assessment is carried out at least once a year. The risk assessment for the strategic and annual plan focuses on the risks to achieving the organization's goals. The risk assessment for each specific audit task focuses on the objectives and risks associated with the process/activity being audited. Internal Audit Standards require internal auditors to plan their activities: (Ministry of Finance, Internal Audit Methodology in Practice, 2016).

- a) based on the risk assessment and
- b) in accordance with the organization's goals.

Risk assessment is performed at two levels:

- At strategic/annual planning; and
- At audit planning levels.

The difference between these two levels is reflected in the table below:

Table 1: Risk assessment at two levels - strategic/annual planning and audit planning.

Risk assessment during strategic and annual planning.	Risk assessment in audit planning.
It covers the whole institution.	Covers the process(es) selected for audit.
Uses more general information about risks.	Uses the most detailed information available on risks.
Risk information may not be up to date.	Updated risk information is collected by the auditor.
Risks can be assessed by the auditor alone, or together with management.	Risks are assessed only by the auditor.
The auditor is interested in the level of strategic risks associated with high-level processes.	The assessed risks are more operational in nature and group (eg lower level) or activity level processes.
Risk assessment should not consider the strength of internal controls, e.g. Only inherited risks are assessed.	The assessment of risks is a part of the evaluation of the internal control systems of the selected process.

Source: Ministry of Finance, Internal Audit Methodology in Practice, Pristina, 2016.

According to K. H. Spencer Pickett (2005) Internal audit is now a full-blown profession. This means it has a clear set of professional standards and is able to work to best practice guidelines in delivering a quality service. One measure of this professionalism is that the organization can expect its auditors to apply a systematic and disciplined approach to its work.

Auditing plays a key role in the management of government assets, by: Ensuring compliance with rules and standards. This is because regular audits ensure that asset management practices are in line with relevant laws and regulations, and that they are being managed according to established guidelines. Audit processes provide a high level of transparency by assessing how public funds have been used to manage assets and by ensuring that financial data is accurate and reliable. Auditing helps strengthen internal control in managing assets more effectively.

Conclusions

Public sector organizations, including those at the central and local level, are very complex and spend public funds to provide their services to citizens. Their complexity makes it impossible for senior managers to personally check whether the organization is operating effectively. Within this, the function and role of internal audit in accordance with the law is important to ensure that the organization functions effectively.

REFERENCES

1. The Institute of Internal Auditors, (2018). Internal Audit Standards for Government Departments and Offices.
https://www.google.com/search?q=internal+audit+standards+for+government+departments+and+offices&rlz=1C1CHZN_enXK1013XK1013&oq=Internal+Audit+Standards+for+Government+Departments+and+Offices&aqs=chrome.0.69i59i512.2895j0j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8
2. The Institute of Internal Auditors, (2023). The Definition of Internal Auditing.
<https://www.theiia.org/en/standards/what-are-the-standards/definition-of-internal-audit/>
3. K. H. Spencer Pickett, (2005). THE ESSENTIAL HANDBOOK OF INTERNAL AUDITING.
<https://ahmadladhani.files.wordpress.com/2008/12/the-essential-handbook-of-internal-auditing.pdf>
4. Ministry of Finance, (2020). Internal audit manual, Part I.
<https://mf.rks-gov.net/desk/inc/media/EED4345A-14DA-4777-8EE3-A9F0EED0F5B4.pdf>
5. Ministry of Finance, (2011). Internal audit manual, Part II
<https://mf.rks-gov.net/desk/inc/media/859BBEE1-D831-4632-89A8-67D283E1D38E.pdf>
6. Ministry of Finance, (2025). Basics of internal audit.
<https://mfpt.rks-gov.net/Page/81>
7. Ministry of Finance, (2016). Internal audit methodology.
<https://mf.rks-gov.net/desk/inc/media/3B3B5BB3-95CA-4110-807D-0B6B9EA8411B.pdf>
8. Assembly of Kosovo, (2018). Law No. 06/L-021. For Internal Control of Public Finances.
<https://gzk.rks-gov.net/ActDetail.aspx?ActID=16267>
9. Regulation MF-No. 02/2013 – On the management of non-financial assets in budgetary organizations.

CORRELATION STUDY ON ETIOLOGICAL FACTORS OF HEART DISEASE IN DIABETIC PATIENTS IN LAHORE, PAKISTAN

Taskeen FATIMA

Anas ZAHoor

Hajvery University, Lahore, Pakistan

ABSTRACT

Diabetes is a chronic disorder and inability to process and regulate blood glucose levels. This disorder may arise from excessive secretion of insulin by pancreas in our body. Type I diabetes is a chronic autoimmune disease characterized by deficiency of insulin, resulting in an increase in blood glucose level in body. This dysfunction includes autoimmune destruction of beta cells in pancreas leads to complete lack of insulin production. Type 2 diabetes is most prevalent metabolic disorder characterized by inadequate insulin production and impaired response of tissues to insulin. Global burden of diabetes mellitus represents a significant public health challenge. Heart disease is a serious health condition that affects millions of people. Heart diseases include coronary artery disease (CAD), myocardial infarction, angina, heart failure, congenital heart disease, Atrial fibrillation and heart valve disorder. Etiological factors of heart disease are modifiable factors, conventional factors, environmental factors, non- traditional factors and psychological factors that collectively contribute to diabetes prevalence. Modifiable factors include high blood pressure, obesity and metabolic syndrome while conventional factors include age, gender and family history. Complications related to diabetes like liver cirrhosis, alcohol related liver disease and renal disease also promote cardiovascular disorders. Different risk factors show different level of correlation with each other. Age limit, duration of diabetes and high level of cholesterol has significant level of positive correlation. Moreover, high levels of cholesterol in diabetic patients correlate with normal systolic blood pressure which is also an indication of prevalence of heart disease in diabetic patients. Treatment and preventions focus on stress management, lifestyle interventions and balanced diet.

Key Words: Heart Patient, CAD, T2DM, Correlation Study

MEASURING BODY COMPOSITION OF PRIMIGRAVIDA FEMALES WITH BIOELECTRICAL IMPEDANCE ANALYSIS- A RANDOMIZED CONTROL TRIAL

Kalsoom TARIQ

Biochemistry department, Khyber Girls Medical College, Peshawar, Pakistan
Associate Professor Biochemistry department Khyber Girls Medical College, Peshawar, Pakistan

ABSTRACT

Background: In order to identify nutritional problems and direct prenatal care, a quick and reasonably priced evaluation of the mother's body composition is essential. Although bioelectrical impedance analysis (BIA) is frequently utilized in non-pregnant persons, little is known about its usefulness during pregnancy.

Objective: To evaluate body composition changes (body mass, bone mass, fat mass, hydration, and BMI) during pregnancy in primigravidas using bioelectrical impedance analysis.

Methodology: A total of 40 primigravida females included in a singleblinded randomized controlled trial conducted in the tertiary care hospitals of KPK. They were further divided into a placebo and lipid based nutritional supplement (LNS)group of 20 each from ≤ 12 weeks' gestation (first antenatal checkup). Sample size calculation was done using openEp ®software. Wholebody composition was measured with a foottofoot eightelectrode, single-frequency bioelectrical impedance analysis (BIA) scale (50 kHz reference) at ≤ 12 weeks (V1), 16-20 weeks (V2) and postnatally (V3). Data were analyzed using IBM SPSS Statistics (version20). Repeatedmeasures ANOVA was used to assessed time effects and within group effects. ($\alpha = 0.05$).

Results: Across both groups, a significant time effect was observed for weight ($F = 36.3$, $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.51$), BMI ($F = 44.8$, $p < 0.001$; $\eta^2 = 0.57$). Mean weight ($F = 3.180$, $p < 0.048$; $\eta^2 = 0.086$) and bone mass estimate ($F = 3.63$, $p = 0.05$; $\eta^2 = 0.096$) differed between the supplement and placebo groups. Fatmass and hydration displayed the expected trimester specific trends but did not reach statistical significance after correction.

Conclusion: BIA showed reliable changes in weight, BMI, and bone mass during pregnancy. When properly used, it can be a useful tool in routine antenatal settings, especially where resources are limited.

Key words: Pregnancy; bioelectrical impedance; body composition; bone mass; gestational weight gain; maternal nutrition.

Trial registration: ClinicalTrials.gov Identifier: ISRCTN 10088578. Registered on 27 March 2018. <https://www.isrctn.com/ISRCTN10088578>.

HARNESSING MICROBIAL INDICATORS FOR MONITORING ECOSYSTEM HEALTH AND QUALITY: AN OVERVIEW

Shamsudeen MUHAMMAD MUHAMMAD

Kebbi State University, Faculty of Life Science, Department of Microbiology, Kebbi State, Nigeria

ORCID ID: 0000-0003-3328-6685

Abubakar MUHAMMAD SANI

ORCID ID: 0000-0003-0854-4646

Kebbi State University, Faculty of Life Science, Department of Microbiology, Kebbi State, Nigeria

Ph.D., Murtala SAADU

Kebbi State University, Faculty of Life Science, Department of Microbiology, Kebbi State Nigeria

ORCID ID: 0000-0001-8720-2403

Lauratu Samaila MUNGADI

Kebbi State University, Faculty of Life Science, Department of Microbiology, Kebbi State, Nigeria

ABSTRACT

Environmental pollution and ecosystem degradation pose significant challenges to public health, food security, and biodiversity. Traditional physicochemical methods for environmental monitoring often fail to capture the biological impact of pollutants.

Microorganisms, due to their sensitivity to environmental changes, short generation times, and functional diversity, serve as effective bioindicators for assessing soil, water, and air quality. This paper explores the application of microbial bioindicators in monitoring environmental conditions across different ecosystems. Specific examples include *Pseudomonas* and *Rhizobium* species as indicators of soil fertility, *Escherichia coli* and *Enterococcus* spp. as markers of faecal contamination in water, and airborne fungi such as *Cladosporium* and *Aspergillus* as indicators of air pollution. By analyzing shifts in microbial community composition, abundance, and activity, scientists can detect early signs of ecological disturbance and assess the effectiveness of restoration interventions. Advances in molecular tools, including metagenomics and 16S rRNA sequencing, have enhanced the capacity to utilize microbial communities for environmental monitoring. The paper concludes by highlighting the importance of integrating microbial bioindicators into environmental policy and restoration programs, particularly in resource-limited settings where cost-effective, biologically relevant monitoring is essential.

Keywords: Microbial bioindicators; ecosystem; environmental monitoring; microbial ecology; metagenomics

KATI HAL ELEKTRONİĞİNDE ORGANİK YARI İLETKEN TABANLI KİMYASAL SENSÖRLERİN MODELLEMESİ VE İNCELENMESİ

Doktorant Mirsədi Mustafayev Mirqoşun oğlu

Milli Aviasiya Akademiyası, Fizika-Teknoloji Fakültesi, Havacılık ve Uzun Cihazları Bölümü
Bakı, Azərbaycan

ORCID: 0009-0000-5766-7939

Teknik Bilimler Doktoru Şehla Zeynalova Hamlet kızı

Milli Aviasiya Akademiyası, Fizika-Teknoloji Fakültesi, Havacılık ve Uzun Cihazları Bölümü
Bakı, Azərbaycan

ORCID: 0000-0002-6353-4371

ÖZET

Bu çalışma, çevresel izleme uygulamaları için nanoyapılı organik yarı iletken tabanlı sensörlerin sentezi ve performans analizine odaklanmaktadır. Organik yarı iletkenler, düşük enerji tüketimi, esneklik ve çeşitli gazlara karşı yüksek duyarlılık göstermeleri nedeniyle umut verici malzemeler olarak değerlendirilmektedir. Bu araştırmada, geliştirilmiş yüzey özelliklerine sahip nanoyapılı malzemeler elde etmek amacıyla uygun sentez yöntemleri kullanılmıştır. Yüzey morfolojisi incelenerek nanoyapı oluşumu ile algılama performansı arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Nanoskobik mimarinin yüzey/hacim oranını önemli ölçüde artırdığı, bunun da gaz moleküllerinin adsorpsiyonunu güçlendirerek sensör duyarlılığını yükselttiği gözlemlenmiştir. Algılama mekanizması esas olarak malzeme yüzeyinde gerçekleşen adsorpsiyon ve yük transferi süreçlerine dayanmakta olup, bu süreçler elektriksel iletkenlikte ölçülebilir değişimlere yol açmaktadır. Elde edilen sonuçlar, nanoyapılı organik yarı iletken sensörlerin hızlı tepki verdiğini, yüksek duyarlılık ve iyi kararlılık sergilediğini göstermektedir. Bu bulgular, söz konusu sensörlerin gerçek zamanlı çevresel izleme ve zararlı gazların tespiti için son derece uygun olduğunu, aynı zamanda modern algılama teknolojileri için verimli ve ekonomik bir çözüm sunduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: nanoyapılı malzemeler, organik yarı iletkenler, gaz sensörleri, adsorpsiyon, sensör performansı.

SYNTHESIS AND PERFORMANCE ANALYSIS OF NANOSTRUCTURED ORGANIC SEMICONDUCTOR SENSORS FOR ENVIRONMENTAL MONITORING

ABSTRACT

This study focuses on the synthesis and performance analysis of nanostructured organic semiconductor-based sensors for environmental monitoring applications. Organic semiconductors are considered promising materials due to their low energy consumption, flexibility, and high sensitivity to various gases. In this research, appropriate synthesis techniques were employed to develop nanostructured materials with enhanced surface

properties. The surface morphology was analyzed to understand the relationship between nanostructure formation and sensing performance. It was observed that the nanoscale architecture significantly increases the surface-to-volume ratio, which improves the adsorption of gas molecules and enhances the overall sensitivity of the sensor. The sensing mechanism is primarily based on adsorption and charge transfer processes occurring at the material surface, leading to measurable changes in electrical conductivity. Performance evaluation was carried out by examining key parameters such as sensitivity, response time, and recovery time under different environmental conditions. The results demonstrate that nanostructured organic semiconductor sensors exhibit fast response, high sensitivity, and good stability. These findings indicate that such sensors are highly suitable for real-time environmental monitoring and detection of hazardous gases, offering an efficient and cost-effective solution for modern sensing technologies.

Keywords: nanostructured materials, organic semiconductors, gas sensors, adsorption, sensor performance.

INTRODUCTION

Environmental monitoring has become a critical requirement due to the increasing concentration of hazardous gases and pollutants in the atmosphere. Accurate and real-time detection of these substances is essential for protecting human health and maintaining ecological balance. In this context, gas sensors based on advanced materials have gained significant attention, particularly those utilizing organic semiconductors with nanostructured architectures. Organic semiconductors offer several advantages over conventional inorganic materials, including low-cost fabrication, mechanical flexibility, and tunable electrical properties. However, their sensing performance is strongly influenced by surface characteristics. The introduction of nanostructuring techniques significantly enhances the surface-to-volume ratio, which directly improves gas adsorption efficiency. As a result, nanostructured organic semiconductors demonstrate higher sensitivity and faster response compared to bulk materials. The sensing mechanism in these systems is primarily governed by adsorption and charge transfer processes. When gas molecules interact with the active surface of the sensor, they alter the charge carrier concentration, leading to measurable changes in electrical conductivity. This effect enables precise detection of low gas concentrations. The performance of such sensors is typically evaluated through key parameters including sensitivity, response time, recovery time, and stability under varying environmental conditions.

Synthesis methods play a crucial role in determining the structural and functional properties of nanostructured materials. Techniques such as solution processing, spin coating, and vapor deposition are commonly employed to control morphology and optimize sensor performance. Proper selection of synthesis conditions ensures uniform nanostructure formation, which is essential for achieving reliable and reproducible sensing behavior. In general, nanostructured organic semiconductor sensors represent a promising solution for efficient environmental monitoring, combining high performance with scalable and cost-effective fabrication technologies. Organic semiconductor-based chemical sensors in solid-state electronics operate through the interaction between the active semiconductor layer and chemical species present in the environment. In such systems, the sensing response is directly related to changes in charge transport behavior within the solid material. When gas molecules are adsorbed on the surface of the organic semiconductor, they modify the distribution and concentration of charge carriers, which leads to measurable variations in electrical resistance, conductivity, or current. From this perspective, the sensor can be analyzed as a solid-state electronic structure in which the active layer, electrode configuration, and interfacial processes together determine the output signal. The modeling of these sensors is therefore based on the relationship between surface adsorption, charge transfer, carrier transport, and electrical response. In addition, the performance of the device is evaluated through parameters such as sensitivity, response time, recovery time, and stability.

MATERIAL AND METHODS

The nanostructured organic semiconductor material was prepared using a solution-based method. The active layer was deposited onto a suitable substrate using spin-coating, to ensuring uniform film formation. After deposition, the samples were dried under controlled temperature conditions to achieve stable nanostructured morphology. The sensor device was fabricated by integrating the organic semiconductor layer between source and drain electrodes. A dielectric layer was used to isolate the gate electrode and control the charge transport within the semiconductor. Gas sensing measurements were carried out under controlled environmental conditions. The sensor was exposed to target gas molecules, and the changes in electrical resistance were recorded in real time. The response and recovery characteristics were evaluated by switching between air and gas environments.

RESULTS AND DISCUSSION

The obtained results demonstrate that the nanostructured organic semiconductor exhibits enhanced gas sensing performance due to its increased surface area and improved charge transport properties. The nanostructured morphology facilitates efficient adsorption of gas

molecules on the surface, which directly influences the electrical characteristics of the sensor. The sensing mechanism is based on the interaction between gas molecules and the semiconductor surface. Upon exposure to gas, the resistance of the sensor changes due to charge transfer processes. This change is more pronounced in nanostructured materials compared to bulk structures, confirming the importance of morphology in sensor performance. The response and recovery behavior indicates that the sensor reacts rapidly to gas exposure and returns to its initial state within a short period. This confirms the high reversibility and operational stability of the sensing process. The improved response speed is attributed to the reduced diffusion path and increased active sites provided by the nanostructure. In addition, the device structure ensures effective charge transport between source and drain electrodes, contributing to stable and repeatable electrical signals.

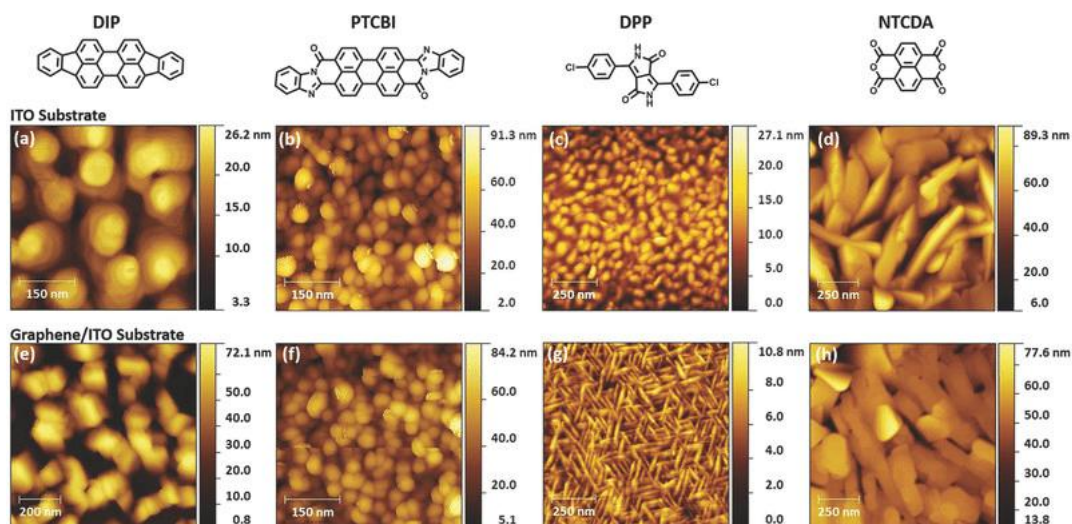


Figure 1. Nanostructured Organic Semiconductor Morphology (AFM Images)

Figure 1 shows the surface morphology of nanostructured organic semiconductor thin films obtained by AFM, presented in subfigures (a–d). In (a), large and sparsely distributed nanoparticles are observed, indicating a relatively low surface area and limited interaction sites for gas molecules. In (b), the particles are more densely packed, forming a more uniform surface, which improves surface coverage and enhances adsorption capacity. In (c), smaller and closely arranged nanostructures are formed, significantly increasing the surface area and providing a higher number of active sites for gas adsorption. This morphology facilitates stronger interaction with gas molecules and promotes efficient charge transfer processes. In (d), elongated and directionally aligned structures are observed, which support continuous pathways for charge carrier transport and improve electrical conductivity. These

morphological variations arise from different synthesis conditions and play a critical role in determining the sensing performance. Increased surface area enhances adsorption, while improved structural connectivity facilitates charge transport, directly affecting sensitivity, response, and overall sensor efficiency. The performance of nanostructured organic semiconductor sensors can be evaluated using several key parameters expressed by the following equations.

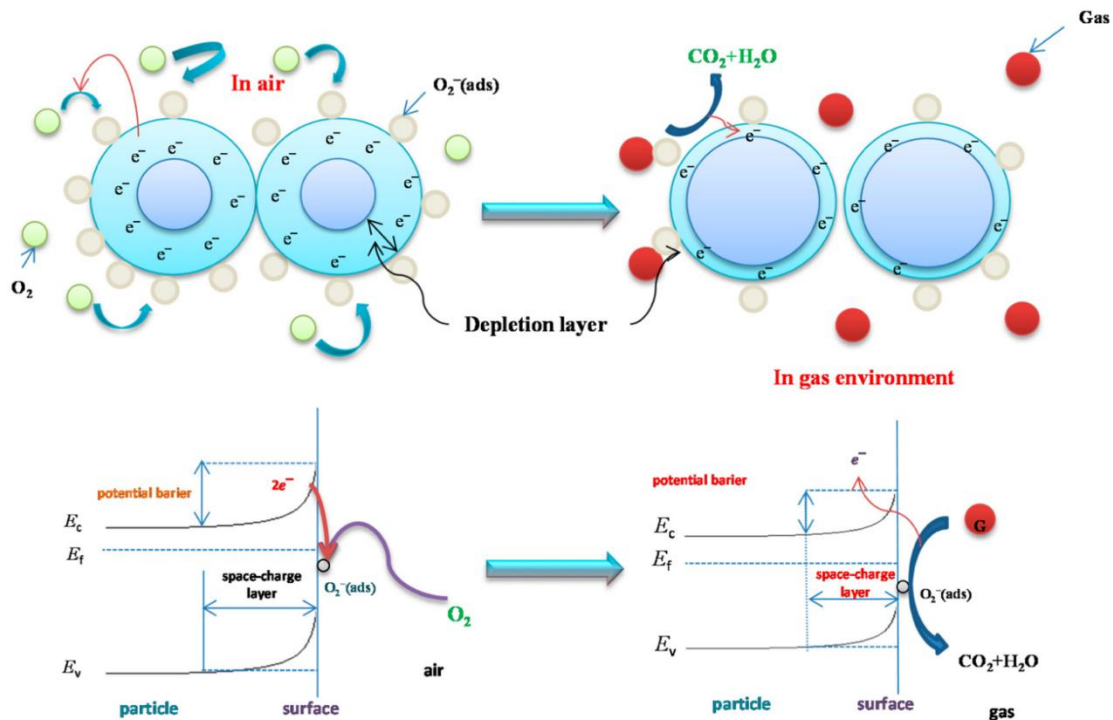


Figure 1.2. Gas sensing mechanism of a nanostructured organic semiconductor sensor

Figure 1.2 shows the gas sensing mechanism of a nanostructured organic semiconductor sensor governed by surface adsorption and charge transfer processes. In air, oxygen molecules are adsorbed on the surface and form (ads), capturing electrons from the semiconductor. This electron trapping reduces the carrier concentration near the surface and leads to the formation of a depletion layer, which is also represented as a space-charge layer in the energy diagram. The growth of this region increases the potential barrier, restricting electron transport in the conduction band (E_c) and decreasing electrical conductivity. When gas molecules are introduced, they interact with the adsorbed oxygen species (ads). This reaction produces and H_2O and releases the previously trapped electrons back into the semiconductor. The return of electrons increases the surface carrier concentration and reduces the thickness of the depletion

(space-charge) layer. As a result, the potential barrier decreases, allowing easier electron movement around the.

Fermi level (E_f) and between the conduction band (E_c) and valence band (E_v), which leads to an increase in electrical conductivity. The energy band diagrams directly reflect these changes: a higher potential barrier corresponds to limited charge transport, while a lower barrier facilitates electron flow. The nanostructured semiconductor represents the sensing material, while its surface defines the active region where O_2 adsorption and gas reactions occur. Since these processes are surface-dominated, the nanostructured morphology formed during synthesis enhances the active surface area, increases (ads) formation, and accelerates charge transfer, thereby determining the overall sensing performance. Organic semiconductor-based chemical sensors occupy an important place in solid-state electronics because their operation is based on measurable electrical changes occurring in the active material under chemical exposure.

In these devices, the organic semiconductor layer functions as the main sensing element, while the electrode configuration and interfacial structure determine the transport path of charge carriers. When target gas or chemical molecules are adsorbed on the semiconductor surface, they influence the carrier concentration, mobility, and conductivity of the material. As a result, the output signal of the sensor changes in the form of resistance, current, or conductivity variation. From this viewpoint, the modeling of chemical sensors is based on the relationship between surface interaction, charge transfer, carrier transport, and electrical response. Such an approach allows the sensor to be examined not only as a material system, but also as a functional solid-state electronic structure. Therefore, the study of organic semiconductor-based chemical sensors requires both structural analysis and electrical performance evaluation through parameters such as sensitivity, response time, recovery time, and stability.

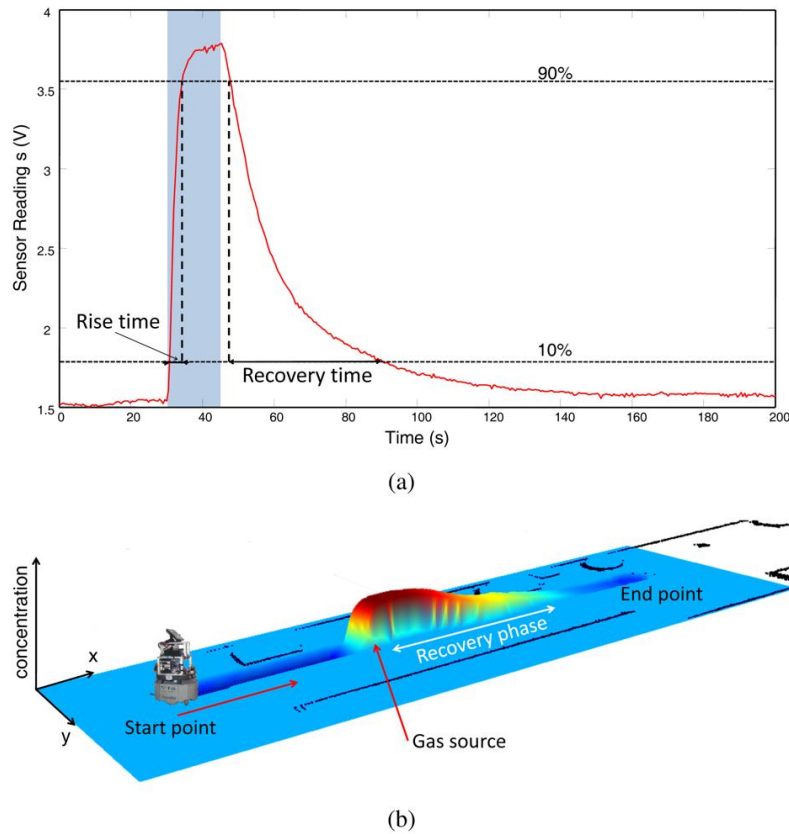


Figure 1.4. Sensor response–recovery characteristics

Figure 1.4 shows the performance characteristics of a gas sensor in terms of sensitivity and response–recovery behavior. The graph presents the variation of the sensor signal as a function of time during gas exposure and removal. Initially, the sensor signal remains stable under baseline conditions. When the gas is introduced, the signal increases sharply, indicating rapid interaction between gas molecules and the sensing material. This stage corresponds to the rise time, which represents the time required for the sensor to reach a significant portion of its maximum response, typically defined at 90% of the peak value. After reaching the maximum response, the signal begins to decrease once the gas is removed from the environment. This stage is defined as the recovery time, representing the duration needed for the sensor signal to return close to its initial baseline level, often taken as 10% of the maximum response. The steep increase in the signal reflects high sensitivity and fast response of the sensor, while the gradual decrease indicates the desorption process of gas molecules from the sensor surface. The difference between rise time and recovery time demonstrates the dynamic behavior of the sensor and its ability to operate under repeated gas exposure cycles.

Table 1. Performance comparison of nanostructured and bulk organic semiconductor sensors

Parameter	Nanostructured sensor	Bulk sensor
Surface area	High	Low
Gas adsorption	Enhanced	Limited
Sensitivity	High	Lower
Response time	Fast	Slower
Recovery time	Short	Longer

Table 1 presents a comparison of key parameters affecting sensor performance. Nanostructured sensors exhibit higher surface area and enhanced gas adsorption, resulting in improved sensitivity, faster response, and shorter recovery time compared to bulk sensors. Nanostructured organic semiconductor sensors exhibit enhanced performance due to the increased surface area formed during synthesis, which strengthens interaction with gas molecules and improves sensitivity. Adsorption and charge transfer processes at the surface lead to measurable changes in electrical conductivity. The combined analysis of structure, sensing mechanism, and performance parameters shows that nanostructuring results in faster response, shorter recovery time, and improved overall efficiency. These characteristics make such sensors highly suitable for real-time environmental monitoring and the detection of hazardous gases.

Table 2. Comparative overview of reported organic semiconductor gas sensors

Reference	Device / sensing material	Analyte gas	Reported performance indicators
This study	Nanostructured organic semiconductor sensor	Not specified	Qualitative description only no numerical data yet
Ryu et al. (2015)	DPP-based OFET	NH ₃	Response 8 s recovery 103 s
Nketia-Yawson et al. (2017)	Printed OTFT with ultrathin PDFDT	NH ₃	Detection limit 1 ppm sensitivity up to 56%
Darshan et al. (2021)	DNTT OFET porous film	NH ₃	Detection 100 ppb nearly 2× sensitivity at 1 ppm recovery about 2 min
Zhuang et al. (2019)	Nanofibrillar TIPS-pentacene OTFT	NO ₂	Responsivity 31.9–221.5% at 30 ppm sensitivity 44.3% at 250 ppb response about 35× at 1 ppm
Sun et al. (2020)	α-6T/p-6P OTFT	NO ₂	Detection 1 ppm recovery 28 s sensitivity 998%/ppm responsivity 2645%

Table 1.2 presents organic semiconductor gas sensors developed by different authors in a single comparative format. Each row describes a separate sensor, including the material used, the target gas, and the main reported results. The comparison is mainly based on parameters

such as detection limit, sensitivity, response time, and recovery time. This table brings the reported sensor results together and makes it easier to see the differences in their performance.

CONCLUSION

In conclusion, the synthesis of nanostructured organic semiconductor sensors leads to the formation of structures with increased surface area, which enhances interaction with gas molecules and improves sensitivity. Adsorption and charge transfer processes occurring at the surface result in measurable changes in electrical conductivity, forming the basis of sensor operation. The combined analysis of structure, sensing mechanism, and performance parameters demonstrates that nanostructuring improves response time, shortens recovery time, and enhances overall efficiency. These characteristics make such sensors highly effective for real-time environmental monitoring and the detection of hazardous gases.

REFERENCES

1. Wetzelaer, G. J. A. H., & Blom, P. W. M. (2014). Diffusion-driven currents in organic-semiconductor diodes. *NPG Asia Materials*, 6(7), e110. <https://doi.org/10.1038/am.2014.41>
2. Chambon, S., Schatz, C., Sébire, V., Pavageau, B., Wantz, G., & Hirsch, L. (2014). Organic semiconductor core-shell nanoparticles designed through successive solvent displacements. *Materials Horizons*, 1, 431–438. <https://doi.org/10.1039/C4MH00030K>
3. Schwarz, K. N., Farley, S. B., Smith, T. A., & Ghiggino, K. P. (2015). Charge generation and morphology in P3HT:PCBM nanoparticles prepared by mini-emulsion and reprecipitation methods. *Nanoscale*, 7, 19899–19904.
4. Duan, H., Guan, C., Xue, J., Malesky, T., Luo, Y., Lin, Y., & Qin, Y. (2022). Facile synthesis of water-dispersible poly(3-hexylthiophene) nanoparticles with high yield and excellent colloidal stability. *iScience*, 25, 104220. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2022.104220>
5. Yu, Y., Luszczynska, B., & Szymanski, M. Z. (2020). Organic bulk heterojunction photodetectors based on polymer blends with unbalanced mobilities. *Semiconductor Science and Technology*, 35(10). <https://doi.org/10.1088/1361-6641/abaaeb>
6. Darshan, V., Rajeev, V. R., & Unni, K. N. N. (2021). *Enhanced performance of room temperature ammonia sensors using morphology-controlled organic field-effect transistors*. *Organic Electronics*, 98, 106280. <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2021.106280>
7. Nketia-Yawson, B., Jung, A.-R., Noh, Y., Ryu, G.-S., Tabi, G. D., Lee, K. K., Kim, B., & Noh, Y.-Y. (2017). *Highly sensitive flexible NH₃ sensors based on printed organic transistors with fluorinated conjugated polymers*. *ACS Applied Materials & Interfaces*, 9(8), 7322–7330. <https://doi.org/10.1021/acsami.6b14220>
8. Ryu, G.-S., Park, K. H., Park, W.-T., Kim, Y.-H., & Noh, Y.-Y. (2015). *High-performance diketopyrrolopyrrole-based organic field-effect transistors for flexible gas sensors*. *Organic Electronics*, 23, 76–81. <https://doi.org/10.1016/j.orgel.2015.04.001>
9. Sun, Y., Xie, Q., Zhu, Y., Wang, L., Sun, Q., & Wang, L. (2020). *High recovery NO₂ sensors of α -6T organic thin film transistors based on interface inducing growth*. *Applied Surface Science*, 505, 144436. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2019.144436>
10. Zhuang, X., Han, S., Huai, B., Shi, W., & Yu, J. (2019). *Sub-ppm and high response organic thin-film transistor NO₂ sensor based on nanofibrillar structured TIPS-pentacene*. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 279, 238–244.

SURFACE CONDITIONS AND OPTICAL PROPERTIES OF COLLOID CADMIUM CHALCOGENIDE NANOCRYSTALS

Dr. Seyfaddin JAFAROV

Nakhchivan State University, Faculty of Physics and Mathematics, Nakhchivan city, Azerbaijan

ORCID: 0009-0000-1609-0387

ABSTRACT

A number of methods have been developed for studying luminescence centers and electron traps in cadmium chalcogenide nanocrystals. This method is based on measuring a number of spectra and luminescence kinetics at different temperatures, as well as modeling the processes of electron excitation energy transfer and relaxation taking into account the contribution of surface states. Previously unobserved luminescence bands with maxima at 2.15 eV and 1.37 eV were found in CdS;0.5%Ho nanocrystals passivated with oleic acid. These bands correspond to the donor level separated from the bulk states by a potential barrier of 18.2 meV. Surface electron traps were discovered in CdSe;0.5%Ho nanocrystals with a flat geometry, demonstrating a cascade mechanism of electron emission and capture at the corresponding levels, passing through the intermediate level of the excited state. The density of excited states of such traps in energy CdSe;0.5%Ho nanocrystals was determined. It is shown to have characteristic maxima in the region of 100 meV and 280 meV and a width of about 50 meV. Surface electron traps discovered in the ensemble of CdSe;0.5%Ho nanocrystals with spherical geometry may lead to the formation of additional non-radiative relaxation channels generated by the Oje recombination mechanism during the capture of one of the charge carriers. It is shown that this mechanism may lead to a decrease in the luminescence intensity of the nanocrystals under continuous excitation

Keywords: Cadmium chalcogenide, electron emission, donor level, donor level

ORIGIN AND EVOLUTION OF THE TERM EPISTEMOLOGY

Hassan ZARIOUH

Department of Mathematics (CRMEFO), Oujda 60000, Morocco.

Mounia MOUZOURI

Director of Regional Academy of Education and Training of the Oriental, Oujda 60000, Morocco

ABSTRACT

Origin and Evolution of the Term Epistemology

“Epistemology is the study of the circumstances that enabled the production of scientific knowledge. It seeks to describe and explain the development of the intellectual tools that allow humankind to decipher, understand, and transform nature: language, symbolic thought, formal thought, the hypothetico-deductive method, and the experimental method, in connection with the evolution of techniques and technologies.” (Glaeser, 1979).

In a more succinct style, the Petit Larousse Illustré (1980 edition) restricts itself to “the study of the sciences, whose object is to assess their value for the human mind.”

From these definitions, it emerges that epistemology comprises two aspects that are, however, inseparable:

- seeking “positive knowledge” (what is the scientist talking about? how do they talk about it?)
- making scientific practice the object of judgment (what is a scientific truth? under what conditions is there truth? within what limits can we speak of scientific truth?)

It seems, nevertheless, that the meaning of the word has broadened in recent years. This evolution owes much to the development of fields such as the history of science and/or cognitive science, which maintain close ties with epistemology.

The usage introduced by Piaget in the expression “genetic epistemology” testifies to this broadening.

REFERENCES

- [1] **H. Besse** : Remarques sur le statut de la didactique des langues étrangères dans le champ des sciences humaines et sociales. Bulletin de l'ACLA, 7, 7–27. (1985)
- [2] **M.Artigue – R.Douady** : La didactique des mathématiques en France. Revue Française de Pédagogie N° 76 (1986) P.69-88.
- [3] **G.Brousseau** : Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. Recherche en Didactique des Mathématiques, Vol 7 n°2 (1986) P33-115.
- [4] **E.N.Ivantsyna** : Achieving skill in solving geometry problems – in : soviet studies in the psychology of learning mathematics – vol/4 : problem solving in geometry – University of Chicago, 1970.

SPECTRUM AND COMPUTATION ANALYTICAL FUNCTIONAL IN A REAL OR QUATERNIONIC CONTEXT

Hassan ZARIOUH

Department of Mathematics (CRMEFO), and laboratory (L.A.N.O), Faculty of Science, Mohammed I University, Oujda 60000, Morocco.

Zakariae AZNAY

Laboratory (L.A.N.O), Department of Mathematics, Faculty of Science, Mohammed I University, Oujda 60000, Morocco.

ABSTRACT

Elements of spectral theory of real linear operators are used as a model for a valid spectral theory for quaternionic operators.

Keywords: quaternionic operators.

REFERENCES

[1] F. Colombo, J. Gantner et D. P. Kimsey, Spectral theory on the S-spectrum for quaternionic operators. Birkhauser, 2018.

APPLICATION OF TWO-ANTENNA CONFIGURATIONS FOR MICROWAVE TISSUE ABLATION

Marija RADMILOVIĆ-RADJENOVIC

Branislav RADJENOVIC

Nikola BOŠKOVIĆ

Institute of Physics, University of Belgrade, Serbia

ABSTRACT

Microwave ablation (MWA) emerges as a powerful thermal modality for minimally invasive treatment of unresectable tumors and cardiac arrhythmias, neuromodulation, endometrial ablation, and other applications. MWA system is composed of high-power MW sources, ablation applicators for delivering power from the generator to the target tissue, cooling systems, energy-delivery control algorithms, and imaging guidance systems. A critical component of MWA systems is the applicator consists of an antenna for coupling applied microwave (MW) power from a generator to the targeted tissue. It was shown that two-antenna configurations lead to less invasive microwave ablation than using the single-antenna configuration. Ablation zones created using two antennas are smaller causing less damage to the healthy tissue as compared to those created using a single antenna. For this study, three-dimensional simulations were carried out by using the COMSOL Multiphysics software package for two-antenna thermal ablation of tissue. The obtained simulation results reveal that two-antenna configurations produce more uniform thermal profiles and higher peripheral tissue temperatures.

Keywords: Two-antenna configuration, microwave ablation, ablation zone, tissue

Acknowledgements. This study was supported by the Science Fund of the Republic of Serbia, The Program IDEAS, GRANT No. 7739583, SimSurgery.

PERCEPTION OF AGRICULTURAL STUDENTS OF UNIVERSITY OF NIGERIA, NSUKKA TOWARDS AGRICULTURE AS A MEANS OF LIVELIHOOD

Ojo, O. F.
Ezeugwu, J. N.

Department of Agricultural Extension, University of Nigeria, Nsukka

Abstract

The study ascertained the perception of Agricultural students particularly the final year students towards agriculture as a means of future livelihood. Proportionate random sampling was used to select 145 respondents for the study. Data were collected using structured questionnaire, presented and analyzed using percentages, frequency and mean scores. The findings showed that 86.1% of the respondents were between the ages of 21-25 years. The findings revealed that the respondents had a positive perception towards agriculture as a means of future livelihood based on the following perception statements: Agriculture has potential of feeding a large growing population ($\bar{x}=3.79$), career in agriculture is appealing and sustainable ($\bar{x}=3.26$), and agriculture has potential of contributing to national development ($\bar{x}=3.79$). Livelihood preferences of respondents showed that the majority preferred to engage in non-agricultural business/entrepreneurship (84.1%), agriculture (rearing of animals, growing of crops etc) (71.7%), tech industry (70.3%), health and medical sciences (48.3%). Majority (85.5%) of the respondents were willing to establish an agricultural business after graduation. The major challenges perceived by the respondents include; unavailability of land, low level of technology and infrastructure, lack of access to credit and financial institutions, herder's farmers conflict, etc. The following were revealed to be ways to improve youth involvement in agriculture, availability of land (98.6%), initiating youth friendly agricultural programmes, easy access to credit facilities etc. Therefore, the study recommends that the government, agricultural lecturers, agricultural entrepreneurs and other stakeholders in agriculture should encourage agricultural students to take up agriculture as a means of livelihood, as this will not only increase food availability but will drastically reduce the level of unemployment in the country.

Keywords: Perception, Agricultural students, Means of livelihood, Students of Faculty of Agriculture

EVALUATION OF THE DURABILITY OF FIBER CERAMIC MORTAR IN AGGRESSIVE ENVIRONMENTS

Belouadah MESSAOUDA

Geomaterials Development Laboratory, Civil Engineering Department, Faculty of Technology, M'sila
University, M'sila, Algeria

Rahmouni Zine EL ABIDINE

Geomaterials Development Laboratory, Civil Engineering Department, Faculty of Technology, M'sila
University, M'sila, Algeria

Tebbal NADIA

Institute of Technical Urban Management, M'sila University, M'sila (28000), Algeria,

ABSTRACT

This research highlighted the possibility of introducing brick waste into mortars. The enlistment of brick waste was performed by substitution of the cement in two percentages 5 % and 10 %. This mortars was reinforced with metallic fibers (FM) with dosages of 1% and 2% in order to improve their mechanical characteristics, in particular their resistance to bending and cracking. The effect of these two additions as well as their combined effect on the physico-mechanical characteristics of the concretes have been studied. It is of: density, subsidence, speed of spread of ultrasounds, resistance to compression and to traction at the age of 7 and 28 days. These physico-mechanical characteristics were compared with those of a reference mortar made without brick waste and without FM.

Key words: mortar, mechanical and physical properties, brick powder, metal fibers.

A HYBRID SECURITY MECHANISM FOR ATTACK MITIGATION AND NETWORK EFFICIENCY

Dr. Jogendra KUMAR

Assistant Professor, Department of Computer Science and Engineering
Govind Ballabh Pant Institute of Engineering & Technology, Ghurdauri
Pauri Garhwal, Uttarakhand, India

Abstract

Integration of both Wireless Sensor Network (WSNs) and the Internet of Things (IoT) has facilitated the multiplicity of smart applications however; it has also brought in new security risks and performance limitations. The nature of resources in sensor nodes does not support traditional security strategies without loss of efficiency in the network. The study suggests a hybrid mechanism of security where the lightweight cryptographic technique will be merged with anomaly detection to counter the existence of both an internal and external threat within IoT-enabled WSNs. The described solution utilizes a multi-defensive approach with the addition of secure routing, energy-efficient encryption, and behavior-based attack detection to alleviate the sinkhole, Sybil, and selective forwarding. The results of the simulation and performance analysis prove that the hybrid mechanism considerably improves the network lifetime, packet loss and the rate at which malicious behavior is detected with a minimal processing overhead. The article adds value to emerging secure, scalable, and performance-efficient WSN architectures of IoT application in dynamic and hostile environments.

Keywords: Wireless Sensor Network (WSNs), Internet of Things (IoT), Security , Hybrid Mechanism , Sensor Nodes.

INCREASING MURDERS IN HOTELS IN NIGERIA IN LIGHT OF JUDGES 4:17-19

Favour C. UROKO (Ph.D)

Department of Religion and Cultural Studies, Faculty of the Social Sciences
University of Nigeria, Nsukka

Abstract

This study investigates the rising trend of murders occurring in hotels across Nigeria, examining the phenomenon through the lens of the biblical passage Judges 4:17–19, which recounts the deceptive murder of Sisera by Jael in a seemingly safe domestic setting. The aim of the research is to draw parallels between ancient narrative warnings and modern incidents to highlight how trust and hospitality can be manipulated to facilitate violent crimes in private accommodations like hotels. The problem lies in the increasing number of reported hotel-related homicides in Nigeria, which reflects a growing threat to public safety and trust in the hospitality industry, with limited effective preventive measures in place. The methodology involves a qualitative approach combining biblical hermeneutics, content analysis of media reports, and interviews with hotel managers, law enforcement officers, and criminologists. The study also reviews secondary data from newspapers, police records, and online news platforms covering hotel-related murders between 2015 and 2024. Findings reveal that poor security protocols, inadequate guest screening, corruption among hotel staff, and the lack of digital surveillance are major enablers of these crimes. Moreover, just as in Judges 4:17–19 where false trust led to a fatal outcome, the illusion of safety in hotel environments often blinds victims to lurking dangers. The study recommends the enforcement of stricter hotel guest identification protocols, staff training in security awareness, installation of surveillance systems, and stronger collaboration between hotel associations and law enforcement agencies. Additionally, the paper suggests public enlightenment through religious and moral teachings to raise awareness about the deceptive nature of evil, as illustrated in the biblical narrative.

NUTRITIONAL DIET ON FERTILITY OF HUMAN REPRODUCTION: A CONCISE UPDATE

K. R. PADMA

Assistant Professor, Department of Biotechnology, Sri Padmavati Mahila Visvavidyalayam (Women's) University, Tirupati, AP. India (Corresponding author)

ORCID ID: 0000-0002-6783-3248

K. R. DON

Reader, Department of Oral Pathology and Microbiology, Sree Balaji Dental College and Hospital, Bharath Institute of Higher Education and Research (BIHER) Bharath University, Chennai, Tamil Nadu, India

ORCID ID: 0000-0003-3110-8076

ABSTRACT

Over the past ten years, there has been a significant increase in the body of knowledge regarding the connection between diet and human fertility, leading to the discovery of a few distinct patterns. Supplemental folic acid consumption, especially at dosages higher than those advised for the protection of neural tube abnormalities, has repeatedly been linked to reduced rates of infertility, a lower risk of miscarriage, and better outcomes in the treatment of infertility. But despite encouraging results from animal models, vitamin D does not appear to play a significant impact in human reproduction when there is no deficit. Antioxidant supplementation does not seem to aid women receiving infertility therapy, but it does seem to help when the male spouse is taking antioxidants. Several studies have examined the public health effects of this link in the United States (U.S.), despite mounting evidence that nutrition has an effect on human fertility. This narrative review analyses the difficulties facing the public health system in relation to infertility, summarises the most recent research on connections between dietary intake and fertility, and offers evidence-based suggestions to address these problems. Unsaturated fats, whole grains, vegetables, and seafood have all been linked to higher fertility in both men and women. Soy and dairy, which were once thought to be poisonous to the uterus, have not consistently been linked to infertility. Soy and soy supplements actually seem to have a positive impact on women receiving infertility therapy. Similar to this, as data from big, high-quality research continue to mount, the case for a potentially harmful impact of moderate alcohol and caffeine consumption on the capacity to conceive appears less compelling than it once did. The understanding of how nutrition affects fertility is far from complete, but great progress has been achieved.

In this article, we reevaluate the potential effects of various lifestyles and unsatisfactory nutritional practices on the reproductive health of women and the potential benefits of proper nutritional support on fertility, as found in research by various clinical investigators as well as our personal observations.

Keywords: Dietary Intake, Lifestyles, Fertility, Reproductive health, Vegetables, Infertility, Seafood.

APPLICATIONS OF WATERSHEDS MANAGEMENT IN INDIA FOR THE DEVELOPMENT OF THE COUNTRY

Subhashish DEY

Department of Civil Engineering, Gudlavalleru Engineering College, Andhra Pradesh, India

ABSTRACT

The word 'watershed' has different meanings. In British English it means a ridge line or a line which shows slopes in two different directions on its either sides. A ridge line is also a line connecting the points of highest elevation in a terrain. Therefore, ridge line is also known as 'watershed line' or a 'surface water divide'. In colloquial language the word 'watershed' is used to describe a path breaking event. In American English, the word 'watershed' is used as a synonym for 'catchment' or 'basin' wherein rainwater or storm water gets collected from an area enclosed by a ridge line. This water eventually flows through the various drainage channels which merge with one another to form one or rarely more than one outfall(s) of a stream. Thus, 'watershed' is defined as an area enclosed within a watershed line. In this course, the word 'watershed' is used for a small basin or a small catchment representing a hydrological unit which drains all its rainwater into a stream. Therefore, it is independent in terms of its water in general and surface water in particular. A watershed is a physical entity consisting of the natural elements in it such as plants of various sizes and types which grow over various types of soil or rock layers. Additionally, watershed also comprises of all the artificial elements such as roads, bridges, tunnels, buildings, and burrow holes etc. which are mostly introduced in it by human beings and sometimes by other animals. In the next section, we shall discuss about the scope of watershed management.

Keywords: Water sheds Catchment, Basins, and Streams, Terrain, Solis and rock layers.

AI-BASED FAULT DETECTION AND DIAGNOSIS IN HYBRID WIND-PV ENERGY SYSTEMS

Zouhir BOUMOUS, Hadia BELHOUCHE,

Med Mounir ABBAS, Rayane Yasmine MAHFOUDI, Med Abd Errezak GHELLOUCI

Laboratory of Electrical Engineering and Renewable Energy, University of Souk Ahras, Route Annaba
B.P. 1553, Souk Ahras, Algeria.

Abstract

The integration of artificial intelligence (AI) in fault detection and diagnosis enhances the reliability and efficiency of hybrid wind-photovoltaic (PV) energy systems. This study explores AI-based techniques to identify, classify, and predict faults in wind turbines and PV panels, ensuring optimal performance and reduced downtime. Machine learning (ML) algorithms such as Support Vector Machines (SVM), Random Forest (RF), and Artificial Neural Networks (ANN) are employed for fault classification based on real-time operational data. Deep learning (DL) models, including Convolutional Neural Networks (CNN) and Long Short-Term Memory (LSTM) networks, are used for anomaly detection and predictive maintenance by analyzing sensor data and thermal imaging. Additionally, fuzzy logic and expert systems enhance decision-making under uncertain conditions, while wavelet transform and Fourier analysis improve fault signal processing. The proposed AI-driven framework enables early fault detection, predictive diagnostics, and real-time system optimization, leading to enhanced stability, reduced maintenance costs, and increased energy efficiency in hybrid renewable energy systems.

Keywords: hybrid system, energy efficiency, reliability, Fault control , AI driven.

PRODUCTION OF BIOGAS IN ALGERIA: METHODS AND CHALLENGES

**Toumi MERIEM, Abdelli Islem SAFIA,
Abdelmalek FATIHA, Addou AHMED**

27000, Abdelhamid Ibn-Badis University, Mostaganem, Algeria

Abstract

Algeria, a country rich in conventional energy resources, has significant potential for developing renewable energy, including biogas. Biogas, produced from the anaerobic digestion of organic waste, offers a sustainable alternative for energy diversification and environmental protection. The country's large agricultural sector, livestock industry, and municipal waste provide ample raw materials for biogas production. Despite its potential, biogas development in Algeria faces challenges such as limited infrastructure, lack of policy incentives, and low public awareness. However, initiatives promoting waste-to-energy projects, rural electrification, and environmental sustainability are gaining traction. This paper explores Algeria's biogas potential, current projects, challenges, and future prospects. It highlights the need for government support, technological advancements, and private-sector involvement to fully harness biogas as a clean and sustainable energy source.

Key words: Algeria, biogas, waste, renewable energy.

DISCUSSION ON THE NEED FOR SUSTAINABILITY MEASURES DUE TO OVER USE OF NATURAL RESOURCES: WITH REFERENCE TO TECHNOLOGICAL INNOVATIONS AND INDIVIDUAL RESPONSIBILITIES

Junaid NISAR

Research scholar school of studies in geography, Shri Venkateshwara University U.P

Towseef Mohi Ud DIN

Research scholar school of studies in economics, vikram university ujjain M.P

ABSTRACT

The study determines the need of sustainability and the measures to be taken by different agencies around the world. As we know it is not an issue of a particular region or area, it's the matter of whole world. So that the sustainability is a common issue for all, government level, international level, agencies, NGOs and other originations take this issue very seriously. As per the current data we find that due to the increase in population and urbanization there is a huge burden on our fixed natural resources especially forests, soil and water. And in recent time due to technology we observe poor quality of air and excess burden on our primary sector. So it is the responsibility of every individual to maintain sustainability of natural resources.

Key words: sustainability, natural resources, innovations, technological

Introduction

According to Merriam-Webster, "sustainability is the ability to be sustained or to continue for a long time without being completely used up or destroyed". It is the method of utilization of resources not in extinct manner. Natural resources which are considered as gift from God have been utilized in two different ways qualitative and quantitative, in this research paper we discuss about quantitative use only. Before we discuss the quantitative aspect of natural resources these resources have their qualitative aspects like we find peace when we visit some natural places like (woods, hill stations, beside rivers and seas sides etc).

As population increases day by day the demand for their basic needs also increase (food, shelter and cloths) and also increase the lust for more land not only for agriculture but also for the industries. There has been excessive exploitation of natural resources which cause negative externality on our health and calamite.

Technology innovation and industrialization sought profound social and economic changes, with this technology based cities were came up and countries are shifted from labour intensive to capital intensive (where most of the work was done by machines).

If we consider the whole population of the world as one society, an individual is the member of this society, who enjoys through the use of all the natural resources which are available in

his/her region. So it is the duties of every individual on their own level to do some positive efforts for protect the natural resources from over exploitation and should be devoted to the welfare of the society.

Literature review

The environment is one of the basic public assets of a human system, and it must be therefore specially protected. The sustainability is necessary for all human systems and it is necessary to invoke the sustainable development principles in all human system assets. Sustainable development is understood as a development that does not erode ecological, social or politic systems on which it depends, but it explicitly approves ecological limitation under the economic activity frame and it has full comprehension for support of human needs¹. There is growing interest in sustainability and sustainable development in the academic and policy literature. These two concepts have dominated the international development policy arena for over two decades now. In the policy arena, recent events such as climate change, the race to reduce fossil fuel emission, the transition to renewable energy, and the transition to a circular economy, have intensified the push towards sustainability and sustainable development². Sustainable development has a very broad meaning depending on the dimensions being considered. Sustainable development has received much attention from policy makers and academics for four main reasons. Firstly, sustainable development is considered to be the end-goal of the United Nation's plan for the planet, and many countries have agreed to achieve the sustainable development goal³. Environmental sustainability is a global issue requiring contribution from and collaboration between various parties, which can include businesses, individuals, and also governments if seen from a larger perspective. It involves a multitude of various activities which include water treatment, waste reduction, pollution control, resource conservation by using renewable methods etc. This goal of sustainability can be achieved by moving away from the present model of unlimited and unmonitored growth, consumption and wastage, to a model of monitored usage, savings, wastage and other factors without compromising on growth for a better future⁴. Sustainability is a topic of growing significance for companies just like the contribution of companies is becoming essential for sustainable development⁵. Sustainable development is the key for overall prosperity of the world. The word sustainable development has many definitions and the most popular definition had been coined by report of "Brundtland", which defines sustainable development as "development that meets the needs of present without compromising the ability of future generations to meet their own needs". To achieve sustainable development of prosperity and for protecting planet by 2030, SDG, i.e. Sustainable Development Goals had been developed⁶. Establishing the

groundwork for sustainability is a task that will take discipline and commitment from all stakeholders. One of the ways to successfully implement a sustainability charter is through the effective reporting of EHS (environmental, health and safety) aspects and impacts⁷. In recent decades, society has faced environmental challenges which can jeopardize the long-term life on the planet. On one hand, the current rising of greenhouse gas emissions can cause a temperature rise of 5°C which means major differences for the Earth. Since this is the temperature difference between our present time and the last ice age, it is perfectly understandable the importance of this problem⁸. Creative drama can be adapted to the education for sustainable development and it can be used as an effective instructional strategy. The use of creative drama can be an effective teaching method for students to acquire new information and raise their awareness of the education for sustainable development. Though the number and severity of the local, national and global problems are rapidly increasing, the number of materials to be used to help students to achieve sustainable living gains in the class is limited⁹. Given the complexity involved in the interactions between economy and resources, the problem of management of resources must be seen through the lens of complex systems. Unlike optimizing problems, which lend themselves to analytic solutions, complex systems may be best understood using dynamic simulation techniques¹⁰.

Objectives

- ✓ To know the sustainability and its need
- ✓ To recognize about the diversification of natural resources
- ✓ To know the measures taken by government, NGOs and different national and international bodies
- ✓ To distinguish the relation between the technology, individual and sustainability

Materials and Methods

The current study is based on secondary source of data, which has been collected from different books, journals, newspapers, and various search engines are also used. Mostly reports and surveys of national and international bodies are employed.

Main idea

Man is very important constituent of the ecosystem, he learns a lot from his environment. Environment provide him a lot of natural gifts which are free and abundant quantity to satisfy his wants and make his life easy and comfortable. An individual cannot produce these resources himself. All the natural resources provided to an individual by nature or natural

environment free and in abundance like (solar energy, air, land, water, soil, natural vegetation, wildlife, minerals and free products fish, grass, roots and other natural products).

From last four decades it was observed that technology and industrialization shows an increasing trend in the world with positive economic growth. Apart from its positive side it has also a negative aspect. Like all human beings of the world have dream of comfortable life style, for that he is in search of best opportunity to earn handsome money. This opportunity was in big metropolitan cities all over the world, much working forces are migrate from rural or under developed nations towards the urban or developed nations. This led the rapid growth of population of cities; such a thing has led to various problems.

When more and more people will migrate to cities they would naturally expanded beyond limits leads to various problems. The congestion in cities would have a very bad impact on environment. Too much smoke of numerous vehicles would lead to suffocation, not only this need for more land for housing would have very bad effect on greenery. Every green field around cities would be devoured within no time resulting in ecological imbalance. Cities are mostly congested but when more and more people flock them they become too much congested and prone to accidents. Overcrowding adds to pollution which is both dangerous and health hazarding.

In order to cope with the increasing requirements of the rapidly growing population natural resources are being exploited irrationally. As a result the natural resources are exhausted and the physical environment has become polluted. In order to meet the increasing demand of food grains for the rapidly growing population, the forests are being cut and used as agricultural fields. Nowadays forest area is only 31% (FAO's Global Forest Resources Assessment 2020) of the total area which has disturbed the balance of the world.

At present total land under the meadows, pastures and grasslands were decreased day by day. This has created problem for developing the cattle resources of the country, the forest lands are used for cattle grazing. To check this problem separate land is being ear marked for meadows during the process of consolidation of holdings.

The pressure on agricultural land is increasing with the rapid growth of population. As a result the per capita agricultural land has fallen per hectare. The remedy of this problem lies in checking the growing population.

Mineral wealth is exhaustive. Large scale mining has caused mineral wealth famine. The need of the hour is to minimize the exploitation and adopt measures to conserve these resources so that we may keep them for the generations to come.

In order to get maximum production, two or three crops are grown annually. Excessive cropping has resulted in the decrease of the fertility of the soil. Chemical fertilizers are being used to check it; it is bringing about a change in the chemical structure of the soil causing several other implications. In order to solve this problem, stress is being laid on the scientific use of chemical fertilizers.

With the rapid growth of population water, air, soil and even the sound is polluted. The ecological balance has been disturbed due to the decline of vegetation cover, thus pollution is to be checked, we do this by checking the rapid use of natural resources as raw material in industries.

Need to conserve natural resources

There is no denying the fact that natural resources have great importance in our lives, that is why they should be conserved at any cost. The need to conserve it arises all the more because of its following usefulness.

- 1) Natural resources (forests, rivers, grasslands etc.) add the beauty of the earth.
- 2) It provides habitat and food to human and animals. In the absence of natural resources our coming generation will be deprived.
- 3) Most of the modern industries are directly dependent on natural resources like coal and petroleum, timber industries etc.

So it becomes quite evident that natural resources play an important role in the life of all the nations of the world. Natural resources make a great contribution in the creation of economic structure of the nations. It is no exaggeration of the fact that the natural resources are the national wealth of all nations of the world. Hence there is a great need of conserving the natural resources.

Sustainability measures

Sustainability is one of the main global issues, the fast industrial growth acquisition of automobiles by a large number of people cutting and felling of trees indiscriminately and discharging chemical wastes in the rivers and such other development are dangerous and harmful to human life. This is a matter of grave concern for the entire humanity. Immediate effective steps must be taken to minimise such pollution of environment as under:

- Recycling and renewing resources of energy.
- Cutting down vehicular pollution and testing of nuclear weapons.
- Initiating projects for producing biogas and providing modern sewage disposal system.
- Reasonable restrictions should be imposed on the use of public goods.

- Educate public about the importance of sustainability.
- Using resources carefully and giving them time to get renewed.
- Each person can contribute by reducing consumption, recycling and reusing things.
- The future of our planet and its people is linked with our ability to maintain and preserve the life support system that nature provides. Therefore it is our duty to ensure that all uses of renewable resources are sustainable.
- Conserve the diversity of life on the earth.
- Minimize the damage to natural environmental system is minimized.

Conclusion

Looking at the present scenario there is a tremendous role of technology and innovation in the fields of industrial growth, economic development, modernisation in cultivation etc. besides this it has negative externalities on our environment in the form of pollution and land degradation which cause climate change as observed from past decades. It is necessary for all on individual, national and international level that the use of natural resources through efficient manner. It's the need of hour to educate the common masses about the sustainability by using media (social media, news, and news papers/ magazines) so that we can achieve our target of balanced use of natural resources.

References

- R. Miroslav, P. Dana (2011). Solution to the problems of the sustainable development management, faculty of materials science and technology in Trnava Slovak university of technology in Bratislava, no.31, pp 77.
- T. Aven (2020). 'Climate Change Risk –What Is It and How Should It Be Expressed?' Journal of Risk Research, no. 23 (11), pp 1387-404.
- O.B. Linner, and H. Selin (2013). 'The United Nations Conference on Sustainable Development: Forty Years in the Making.' Environment and Planning C: Politics and Space, no. 31 (6) pp 971-87.
- Dr. S. Asha, A. Vyshnavi, T. Shlok, A.Patnala (2023). A Study on Environmental Sustainability- Growth, Trends and Concerns. International Journal for Multidisciplinary Research, no. 05 (2) pp 01-02.
- Dunphy, Dexter, G. Andrew , B. Suzanne (2023). Organizational Change for Corporate Sustainability: A guide for leaders and change agents of the future. London: Routledge.
- Dr. C. Sajjan (2019). A Research on Sustainable Development in India. International Journal of Recent Technology and Engineering, no. 08 (02) pp 1210.
- S. Jennifer, G. Salim, M. Nacer, B. Mervin, M. Joseph, A. Waleed, T. Anthony (2013). Towards Sustainability in the Oil and Gas Sector: Benchmarking of Environmental, Health, and Safety Efforts, no. 03 (03) pp 104.
- F. Harvey (2015). Everything you need to know about the Paris climate summit and UN.
<http://www.theguardian.com/environment/2015/jun/02/everything-you-need-to-know-about-the-paris>.
- K. Özgül (2015). Creative Drama in the Teaching of Education for Sustainable Development: Sample Activity about Sustainability and Sustainable Production. Journal of Environmental Sustainability, no. 4 (4) pp 01
- R. Hoffman (2010). A Cybernetic Approach to Economics. Cybernetics and Human Knowing, no. 17 (4) pp 89-97.

THE USE OF LOCAL BIOMASS FOR THE REMOVAL OF METHYLENE BLUE

**Salima ATTOUTI, Mourad TERMOUL, Anissa ZERHOUNI, Mokhtar Benallou BENZEKRI
Benaouda BESTANI, Nouredine BENDERDOUCHE**

Abdel Hamid Ibn Badis University, Faculty of Sciences and Technology, Department of
Process Engineering, Mostaganem, Algeria

ABSTRACT

The dyes present in the rejects of the textile industry represent a real danger for the man and his environment, because of their weak biodegradability and their toxicity. This work concerns the study of the adsorption of the methylene blue dye and Rhodamine B on wild reeds which are a natural and available adsorbent.

The adsorption tests have shown remarkable elimination. The influence of different experimental parameters was analyzed: equilibrium time, pH, adsorbent mass, initial concentration of dye and temperature. The isothermal study shows that the Langmuir model describes the adsorption process of BM on our adsorbent well and the Temkin model is best suited for the adsorption isotherm of RHB. Kinetic study has shown that adsorption follows the second-order pseudo for the two dyes

<https://www.paytr.com/link/jG9DePh?lang=en>

Topics related: protection of environment, development of natural resources, water quality

References

Attouti S, Bestani B, Benderdouche N, Duclaux L, Application of *Ulva lactuca* and *Systoceira stricta* algae based activated carbons to hazardous cationic dyes removal from industrial effluents. *Wat. Res.* 2013;47:3375–3388.

Benallou Benzekri M, Benderdouche N, Bestani B, Douara N, Duclaux L. Valorization of olive stones into a granular activated carbon for the removal of Methylene blue in batch and fixed bed modes. *J. Mater. Env. Sci.* 2018;9:272-284.

MEMBRANES USED IN SEPARATION TECHNIQUES

Dr. Ghanshyam BARMAN
C G P I T, Uka Tarsadia University, India
ORCID ID: 0000-0002-2611-0801

ABSTRACT

Membranes are successfully used for separation in industries as favourable obstruction to prevent unwanted solutes to pass the membrane. Thus the unwanted component is separated from the required one. Separation depends on pore sizes, thus the membranes were given names as microfiltration, ultrafiltration, and nanofiltration membranes. Membranes may be porous or nonporous and the separation depends on sizes, generally porous and semipermeable membranes are used. Pervaporation has the preferable class among above membranes as the separation criteria are attractive. Pervaporation membranes are nonporous and widely employed for separation of liquid mixtures. The separation property depends on affinity of membrane materials and thus the molecule having higher affinity is adsorbed and diffuses through the membrane while the membrane retains molecules having low affinity. The choice of membrane with respect to the size of particles encountered. In pervaporation, the hydrophilic membranes were the first to introduce in the industrial applications and were applied for the organic solvent dehydration. The main industrial applications in separation are pervaporation even in the present time is the dehydration of organic liquids. The change in the active layer of the membranes with various chemical structures and compositions. The membranes are enabled to separate water in wide range of flowrate and selectivity. Commercially, polyvinyl alcohol (PVA), polymeric membrane materials such as polyimides, polymaleimides, Nafion, and polyacrylonitrile (PAN) were used to made hydrophilic membranes.

Keywords: separation, membranes, pervaporation, ultrafiltration

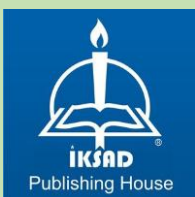
ROLE OF FUNCTIONAL GROUP IN THE KINETICS OF FERROCENE DERIVATIVES: COMPARATIVE STUDY

Assistant Professor Dr. Rozina KHATTAK

Department of Chemistry, Shaheed Benazir Bhutto Women University, Peshawar 25000, Pakistan

ABSTRACT

The electronic structure of any compound creates its specific identity with defined physical and chemical properties. Consequently, a small variation in the structure causes considerable change in the reactivity of any compound and therefore the derivatives of ferrocene show different characteristic properties. If the reactivity pattern changes, the reaction mechanism and uses of compounds may be affected. This work reveals the kinetics of the two reactions where the oxidant and the reaction medium are same and the reductant is different only in the functional group such as derivatives of ferrocene with ketone and alcoholic group i.e., ferrocenylethan-one/ol. The reactions were discovered to have a complex kinetics. The pathway of each redox reaction was split into two parts. A reaction is in the first phase when its overall order is zero. The rate of reactions in the second phase follows an overall second order. The rate of reactions was different and the effect of experimental parameters has shown different effects. The comparative analysis of the two reactions enabled to surface the effect of functional group on the redox kinetics of the selected ferrocene derivatives.



Issued: 01.05.2026
ISBN: " 978-625-378-642-7 "

